

1	Noviembre 2022			
0	Julio 2022			
<b>Versión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 <b>Grupo Energía Bogotá</b> <b>UPME 04-2014 REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 kV</b> <b>PROYECTO LA VIRGINIA – ALFÉREZ</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>				
<b>Capítulo 5.1 MEDIO ABIÓTICO (NUMERALES 5.1.1 a 5.1.4)</b> 				
<b>ESCALA</b> <b>SIN</b>	<b>FORMATO</b> <b>Carta</b>	<b>CÓDIGO GEB:</b> <b>EEB-U414-CT102150-L380-HSE-2006</b>		
		<b>CÓDIGO CONTRATISTA:</b> <b>04517.01-INF-LL-EAMB-CAP5.1.1-5.1.4-0011</b>		

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1 OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
<b>2 GENERALIDADES</b>	<b>16</b>
<b>3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>16</b>
<b>4 ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>16</b>
<b>5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>17</b>
5.1 MEDIO ABIÓTICO	17
5.1.1 Geología	17
5.1.1.1 Caracterización litológica	17
5.1.1.1.1 Contexto Regional del área de caracterización	17
5.1.1.1.2 Condiciones litológicas del área de caracterización	19
5.1.1.2 Formaciones de edad Jurásico - Cretácico	22
5.1.1.2.1 Macizo Ofiolítico de Ginebra (JKoga)	22
5.1.1.2.2 Batolito de Buga (Kcd-t)	29
5.1.1.3 Formaciones de edad Paleógena	32
5.1.1.3.1 Formación Cinta de Piedra (Tocp)	32
5.1.1.4 Formaciones de edad Neógena	41
5.1.1.4.1 Formación La Paila (Tmp)	41
5.1.1.4.2 Formación La Pobreza (TMpo)	51
5.1.1.4.3 Formación Zarzal (TPz)	58
5.1.1.5 Cuaternario	64
5.1.1.5.1 Depósitos de flujos de lodo y cenizas recientes (Qto)	64
5.1.1.5.2 Depósitos de Terraza (Qt)	66
5.1.1.5.3 Conos Aluviales (Qca)	67
5.1.1.5.4 Depósitos Aluviales (Qal)	69
5.1.1.5.5 Depósitos de Derrubio (Qd)	71
5.1.1.6 Caracterización de las unidades geológicas superficiales	73
5.1.2. Geología Estructural/Téctónica	79
5.1.2.1 Fallas y lineamientos	79
5.1.2.1.1 Sistema de Fallas de Romeral	80
5.1.2.1.2 Fallas con dirección preferente N 60°-70° E	83

5.1.2.1.3 Lineamientos	84
5.1.2.2 Plegamientos	84
5.1.2.3 Fracturamiento	86
5.1.2.3.1 Taludes Rocas Sedimentarias	87
5.1.2.3.2 Taludes Rocas Ígneas	90
5.1.3 Sismicidad	94
5.1.3.1 Marco tectónico nacional y fallas o sistemas activos	94
5.1.3.2 Análisis de catálogos sísmicos históricos e instrumentales	97
5.1.3.2.1 1 Análisis de catálogo de sismicidad histórica	97
5.1.3.2.2 2 Análisis de catálogo de sismicidad instrumental	100
5.1.3.3 Definición de las aceleraciones de diseño y caracterización del corredor	103
5.1.4. Geomorfología	108
5.1.4.1 Contexto Geomorfológico Regional	108
5.1.4.2 Análisis de pendientes	110
5.1.4.3 Unidades y subunidades Geomorfológicas	116
5.1.4.3.1 Ambiente Denudacional	118
5.1.4.3.2 Ambiente Fluvial	134
5.1.4.3.3 Ambiente Estructural	149
5.1.4.3.4 Ambiente Volcánico	163
5.1.4.3.5 Ambiente Antropogénico	167
5.1.4.4 Procesos Morfodinámicos	170
5.1.4.4.1 Procesos morfodinámicos imagen año 2016	171
5.1.4.4.2 Procesos morfodinámicos imagen año 2020	179
5.1.4.5 Susceptibilidad a procesos de remoción en masa	193
5.1.4.5.1 Análisis y ponderación de variables	197
5.1.4.5.2 Resultados de la Evaluación de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa	219
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>223</b>

---

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Unidades litológicas presentes en el área de caracterización

Tabla 2. Tabla resumen de las unidades geológicas con sus respectivas áreas en el área de caracterización

Tabla 3. Resumen de las unidades geológicas con sus respectivas áreas en el AI Física

Tabla 4. Nomenclatura Sugerida para Unidades Geológicas, Superficiales (Suelos)

Tabla 5. Caracterización de las unidades geológicas superficiales

Tabla 6. Familias de discontinuidades encontradas en las rocas sedimentarias. Datos obtenidos en afloramientos: 4675157,839 E, 2058076,918 N; 14671768,829 E; 2053446,267 N

Tabla 7. Familias de discontinuidades encontradas en las rocas ígneas. Datos obtenidos en afloramientos: 4640770,256 E; 1945131,479 N; 4643436,707 E; 1995026,339 N

Tabla 8. Eventos sísmicos del catálogo histórico nacional cercanos al proyecto de análisis.

Tabla 9. Valores de aceleración en roca (PGA) para los tramos de la línea de transmisión Virginia-Alfárez, de acuerdo con AIS (2009) y SGC (2018)

Tabla 10. Tabla de zonas y porcentajes de las pendientes en el área de caracterización y el área de influencia física.

Tabla 11. Unidades geomorfológicas y procesos morfodinámicos asociados a las unidades geológicas del área de caracterización

Tabla 12. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente denudacional

Tabla 13. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente fluvial

Tabla 14. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente estructural

Tabla 15. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente volcánico

Tabla 16. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente antropogénico

Tabla 17. Principales procesos morfodinámicos identificados en el área de caracterización

Tabla 18. Características principales de los procesos morfodinámicos identificados en el área de influencia física.



---

Tabla 19. Procesos morfodinámicos actuales en el área de caracterización

Tabla 20. Procesos de remoción en masa dentro del AI Física.

Tabla 21. Características adicionales de los procesos morfodinámicos.

Tabla 22. Ponderación de las unidades geológicas para la evaluación de la susceptibilidad de los movimientos en masa

Tabla 23. Clasificación de los grados de susceptibilidad respecto a la pendiente del terreno en el área de caracterización

Tabla 24. Propuesta de clasificación morfogenética de las formas del terreno en el área de caracterización.

Tabla 25. Calificación ponderada a los ambientes morfogenéticos de las formas del terreno en el área de caracterización.

Tabla 26. Calificación final del componente geomorfológico a la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

Tabla 27. Ponderación de las diferentes coberturas vegetales para la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

Tabla 28. Clasificación de textura de suelos.

Tabla 29. Clasificación del drenaje natural del suelo.

Tabla 30. Clasificación de profundidad.

Tabla 31. Ponderación de las categorías de susceptibilidad en relación con las áreas que ocupan en el área de caracterización del proyecto.

Tabla 32. Susceptibilidad a los movimientos en masa

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Contexto geológico regional del área del trazado de la Línea de transmisión.
- Figura 2. Localización del área de caracterización de la línea de transmisión en el contexto regional de los principales sistemas tectónicos de Colombia.
- Figura 3. Sección estratigráfica de las formaciones Jurásicas y Cretácicas en la zona de estudio.
- Figura 4. Plano de distribución de las formaciones Cretácicas - Jurásicas en el área de caracterización
- Figura 5. Columna estratigráfica tipo de la sección tipo en el área de formación entre las Torres TVA037 a TVA046.
- Figura 6. Sección estratigráfica A - A' en el sector del municipio de Cartago y B - B' en el municipio de La Victoria.
- Figura 7. Distribución de la unidad Cinta de Piedra en el área de caracterización
- Figura 8. Difractograma de abundancia relativa de los minerales arcilla más abundantes en la roca.
- Figura 9. Diagrama de muestra desorientada 100 $\mu$ m.
- Figura 10. Columna estratigráfica tipo de la sección tipo en el área de formación La Paila, en el sector de la vía que conduce del municipio de Cartago a la Hacienda La Herradura.
- Figura 11. Localización de la formación La Paila en el área de caracterización.
- Figura 12. Microfotografías de la sección delgada. Izquierda. Estructura granular con niveles altos de oxidación y granos de cuarzo, líticos, micas y ferromagnesianos de 300 $\mu$ m máximo. Derecha. Granos de cuarzo (flechas amarillas) y plagioclasas y feldespatos en estructura granular (flechas verdes).
- Figura 13. Difractograma de abundancia relativa de los minerales arcilla más abundantes en la roca.
- Figura 14. Diagrama de muestra desorientada 100 $\mu$ m de la muestra de la formación La Paila.
- Figura 15. Difractograma de abundancia relativa de los minerales arcilla más abundantes en la roca.

Figura 16. Diagrama de muestra desorientada 100 $\mu$ m de la muestra de la formación Pobreza.

Figura 17. Columna estratigráfica esquemática local de la Formación Zarzal. Tomada en corte de vía que conduce de Cartago a Obando.  
E 4678283,2942; N 2083543,699

Figura 18. Difractograma de abundancia relativa de los minerales arcilla más abundantes en la muestra de roca CV-AV-11.

Figura 19. Diagrama de muestra desorientada 100 $\mu$ m de la muestra de la formación Zarzal.

Figura 20. Columna estratigráfica esquemática de depósito de flujo de lodo y cenizas recientes. E 4680558.750; 2092840.829 N

Figura 21. Columna estratigráfica esquemática de Depósitos de Terraza.

Figura 22. Columna estratigráfica esquemática de Conos Aluviales.

Figura 23. Columna estratigráfica esquemática local de depósito Aluvial.

Figura 24. Columna estratigráfica esquemática de Depósitos de derrubio.

Figura 25. Plano geológico con las unidades cuaternarias distribuidas espacialmente en el área de caracterización.

Figura 26. Identificación de estructuras principales (fallas y lineamientos) en el área de caracterización de la línea de transmisión

Figura 27. Principales plegamientos en el área de caracterización, en rocas sedimentarias y volcánico clásticas.

Figura 28. Diagrama de fracturamiento junto con los polos y planos de las diferentes familias de discontinuidades.

Figura 29. Diagrama de fracturamiento junto con los polos y planos de las diferentes familias de discontinuidades.

Figura 30. Configuración de la amplia zona de unión triple de las tres placas convergentes oblicuamente en la esquina noroccidental de Suramérica. Orientación del campo de esfuerzos a partir de mecanismos focales.

Figura 31. Localización de los eventos sísmicos que conforman el catálogo histórico nacional (SGC, 2020)

Figura 32. Catálogo sísmico RSNC (1993-2020), sismos con magnitud mayor e igual a

3,0 y con profundidad entre a) 0 y 30 km, b) 30 y 70 km.

Figura 33. Catálogo sísmico RSNC (1993-2020), sismos con magnitud mayor e igual a 3,0 y con profundidad entre a) 70 y 120 km, b) 120 y 150 km.

Figura 34. Catálogo sísmico RSNC (1993-2020), sismos con magnitud mayor e igual a 3,0 y con profundidad mayor a 180 km

Figura 35. Amenaza sísmica en la zona de estudio de acuerdo con el AIS (2009)

Figura 36. Amenaza sísmica en la zona de estudio de acuerdo con el SGC (2018)

Figura 37. Geomorfoestructura y provincias geomorfológicas regionales identificadas en la zona de análisis del trazado energético

Figura 38. Mapa de rangos de pendientes para el área de influencia geo-esférica del proyecto

Figura 39. Mapa de unidades y subunidades geomorfológicas de la zona de estudio

Figura 40. Mapa de la principal zona donde se localizan las geoformas de origen denudacional

Figura 41. Áreas de las principales zonas donde se identificaron las unidades de origen fluvial

Figura 42. Área donde se localizan las principales geoformas de origen estructural del área de caracterización.

Figura 43. Zona donde se localizan las unidades geomorfológicas de origen volcánico

Figura 44. Zona donde se localizan las unidades geomorfológicas de origen Antropogénico

Figura 45. Análisis de procesos morfodinámicos - Año 2016

Figura 46. Mapa de procesos morfodinámicos recientes en la zona de análisis

Figura 47. Metodología usada en la zonificación de susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

Figura 48. Metodología general para el desarrollo de la zonificación por susceptibilidad por movimientos en masa.

Figura 49. Proceso de implementación y uso del software para el análisis estadístico de susceptibilidad por movimientos en masa.

Figura 50. Valores ponderados de las variables utilizadas en la generación de la

zonificación de susceptibilidades por movimientos en masa.

Figura 51. Diagrama de Jerarquía para la elaboración del mapa de susceptibilidad y con sus respectivos pesos por importancia de criterio.

Figura 52. Mapa de rangos de susceptibilidad de las unidades litológicas a la generación de movimientos en masa

Figura 53. Diagrama de atributos dentro de la variable Geomorfología, con sus respectivos porcentajes.

Figura 54. Mapa de rangos de susceptibilidad del atributo morfométrico a la generación de movimientos en masa

Figura 55. Mapa de rangos de susceptibilidad del atributo morfogenético a la generación de movimientos en masa.

Figura 56. Mapa de susceptibilidad geomorfológica para la generación de movimientos en masa del área del proyecto

Figura 57. Calificación del componente coberturas vegetales a la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

Figura 58. Diagrama de atributos de calificación de la variable suelo.

Figura 59. Calificación del componente suelos a la susceptibilidad a procesos de remoción en masa

Figura 60. Mapa de Zonificación de la Susceptibilidad por procesos de erosión y movimientos en masa del área de caracterización

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Afloramiento del Macizo Ofiolítico de Ginebra. E 4641238; N 1974990

Fotografía 2. Muestra de mano tomada en afloramiento

Fotografía 3. Izquierda. Minerales ferromagnesianos pero con alteración a micas. Ampliación a 4X en nicoles paralelos. Derecha. La textura holocristalina formada por cristales de anfíboles y piroxenos alargados y orientados de variadas formas y tamaño. Ampliación a 4X en nicoles cruzados.

Fotografía 4. Izquierda. textura fanerítica homogénea con zonas de cristales fracturados y presencia de opacos. Nicoles paralelos a 4X. Derecha. Fenocristales de plagioclasas y anfíboles y piroxenos formando la estructura granular de grano medio-groeso. Ampliación a 4X en nicoles cruzados.

Fotografía 5. Contacto entre Macizo Ofiolítico de Ginebra y Depósitos Coluviales. 4641172; N 1975555

Fotografía 6. Granodioritas del Batolito de Buga. E 4643431; N 1995011

Fotografía 7. Muestra de mano de las rocas del Batolito de Buga en la zona de estudio.

Fotografía 8. Izquierda. Nicoles paralelos 4X. Anfíboles-Hornblenda, a la izquierda la plagioclasa alteradas a micas. Derecha. Nicoles cruzados 4X. Roca de textura fanerítica holocristalina formada por cristales de cuarzo y plagioclasa.

Fotografía 9. Izquierda. Nicoles paralelos 4X. Zonas predominando minerales de cuarzo, magnetita y plagioclasas de grano grueso, en estructura granular muy ajustada y poco fracturamiento. Derecha. Nicoles cruzados 4X. Se observan plagioclasas, feldespato alterándose a sericita y sausruta.

Fotografía 10. Afloramiento de areniscas ligeramente conglomeráticas con meteorización esferoidal. E 4675151; N 2058078.

Fotografía 11. A. Capas delgadas de arenitas de color café con estratificación plana paralela de la Formación Cinta de Piedra. E 4675151; N 2058078

Fotografía 12. Análisis petrográfico de la muestra de arenisca de la formación Cinta de Piedra. Izquierda. Se observa ajuste intergranular es bastante fuerte, solo algunos cristales de micas, cuarzo y líticos interrumpen la continuidad óptica de la matriz arcillosa con contactos borde-borde. Derecha. La roca presenta un arreglo entre granos (cuarzo, micas, líticos) más ajustado donde la matriz arcillosa aparece en menor proporción.

Fotografía 13. Conglomerados polimícticos de la formación La Paila, en corte vial

localizado en E 4657491; N 2025096.

Fotografía 14. Alternancia de arenitas y conglomerados de la Formación La Paila. E 4657491; N 2025096

Fotografía 15. Facies conglomeráticas de la Formación La Paila. E 4657491; N 2025096

Fotografía 16. Facies arenosas ligeramente conglomeráticas de la Formación La Paila. E 4656888; N 2018962

Fotografía 17. Muestra de roca de la formación La Paila analizada petrográficamente.

Fotografía 18. Capas de areniscas tabulares de la Formación La Pobreza. E 4671766; N 2053455

Fotografía 19. Niveles de Ceniza de la Formación La Pobreza. E 4667563; N 2043574

Fotografía 20. Roca sedimentaria clástica de color ocre, suave al tacto, porosa, de baja densidad, tamaño de grano arcilla-limo, con muestras de actividad geomecánica, fractura concoidea y baja litificación.

Fotografía 21. Microfotografías de la muestra analizada. Izquierda. Se observa la estructura en matriz con niveles altos de oxidación y algunos cristales de ferromagnesianos muy alterados de 30µm máximo. Derecha. Se observa el pleocroísmo donde las flechas señalan un plasma arcilloso orgánico con alta oxidación, En la parte superior un micro poro relleno con ferriargilan.

Fotografía 22. Roca sedimentaria clástica con influencia volcánica gris claro, porosa, con actividad microbiomecánica, baja densidad, deleznable, limosa-arenosa. Con minerales oscuros líticos, cuarzo y baja litificación.

Fotografía 23. Microfotografías de la muestra de la formación Pobreza. Izquierda. Se observa la estructura esquelética con niveles altos de oxidación y granos de cuarzo en contacto flotantes de 200µm máximo. Derecha. Se identifican granos líticos, cuarzo y ferromagnesianos (flechas amarillas) y matriz arcillosa oxidada (flechas verdes).

Fotografía 24. Afloramiento de arcillolitas ligeramente arenosas en corte vial, vía que conduce al municipio de La Victoria. E 4682432; N 2094337

Fotografía 25. Arenitas tobáceas de la Formación Zarzal. E 4682467; N 2084288

Fotografía 26. Roca volcano-sedimentaria arenosa de color claro ligeramente oxidada y trazas de materia orgánica, poco litificada de grano medio compuesta con cuarzo, líticos. vidrio y cristales ferromagnesianos.

Fotografía 27. Microfotografías de la muestra. Izquierdo. Estructura esquelética orientada con niveles altos de oxidación, granos de cuarzo y ferromagnesianos con trazas de materia orgánica dando el aspecto clástico. Derecho. Granos de cuarzo y feldespato aislados en una matriz arcillosa oxidada y un macrocristal de anfíbol indicando el carácter volcánico-sedimentario.

Fotografía 28. Expresión geomorfológica de depósitos de Flujo de lodo y cenizas recientes E 4682156; N 2094855

Fotografía 29. Expresión geomorfológica de los Depósitos de Terraza (E 4627449, N 19300290).

Fotografía 30. Expresión geomorfológica de los Conos Aluviales. E 4653358; N 2012544 Fuente: GEB. (2018).

Fotografía 31. Expresión geomorfológica de los Conos Aluviales. Vista desde E 4641302.595; N 1970148.439.

Fotografía 32. Gravas, arenas y arcillas de los Depósitos Aluviales. E 4629625; N 19333660

Fotografía 33. Gravas y arenas del depósito aluvial. Margen derecha río Amaime. E 4638233.829 ; N 1957933.753

Fotografía 34. Expresión geomorfológica de los Depósitos de Derrubio. E 4641288, N 1975118 y E 4641050; N 1976474)

Fotografía 35. Afloramiento de areniscas ligeramente conglomeráticas con meteorización esferoidal. E 4675157,839, N 2058076,918

Fotografía 36. Afloramientos de la formación La Paila arenosas ligeramente conglomeráticas y Alternancia de arenitas y conglomerados.

Fotografía 37. Capas de areniscas tabulares de la Formación La Pobreza E 14671768,829; N 2053446,267

Fotografía 38. Afloramiento del Macizo Ofiolítico de Ginebra E 4640770,256; N 1945131,479 Fuente: Modificado de GEB, 2018.

Fotografía 39. Granodioritas del Batolito de Buga. E 4643436,707; N 1995026,339

Fotografía 40. Fotografía de la unidad geomorfológica colina remanente disectada en la zona de las torres TVA223 y TVA224. E 4652864; N 2009779

Fotografía 41. Escarpe de erosión menor (Deeme). E 4645478,75; N1993535,36

Fotografía 42. Vista panorámica a la unidad de Loma denudada en el sector de las



torres TVA271 y TVA272. E 4641581; N 1987189

Fotografía 43. Laderas denudadas en el sector que conduce a la torre TVA027  
E 4679339; N 2085419

Fotografía 44. Unidad geomorfológica (Dldebl) Lomo denudado bajo de longitud larga  
ubicado al este de la Torre TVA262. E 4644924; N 1992020

Fotografía 45. Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm).  
E 4656119,52; N 2018118,41. Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

Fotografía 46. Vista panorámica de la unidad Lomeríos disectado en sector del Alto de la  
Julia. E 4639674; N 1978313

Fotografía 47. Unidad geomorfológica Ladera erosiva ubicada en el sector del Alto de la  
Julia. E 4639605; N 1977775

Fotografía 48. Ladera ondulada. E 4656874,39; N 2017824,36

Fotografía 49. Lomeríos poco disectados E 4656974,53; N 2017844,12

Fotografía 50. Unidad geomorfológica Montículo y ondulaciones denudacionales ubicada  
en el sector de Vallejuelo. E 4664843; N 2040075

Fotografía 51. Vista panorámica de la unidad Sierra denudada en la vía que conduce a  
la torre TVA267. E 46440732; N 1989088

Fotografía 52. Sierra Residual E 4642867,10; N 1969121,58  
Fuente: GEB. (2018).

Fotografía 53. Abanicos Aluviales coalescentes no diferenciados.  
E 4855077,77; N 2183509,53

Fotografía 54. Abanico Fluvio-torrencial. E 4833926,803; N 2174353,221

Fotografía 55. Identificación de barra puntual en quebrada de la zona aledaña a la torre  
TVA082. E 4674830; N 2057918

Fotografía 56. Cauce fluvial del río Tuluá en el sector de Platanares  
E 4649938; N 2022986

Fotografía 57. Registro de las lagunas identificadas en el área de caracterización.

Fotografía 58. Vista a la geoforma Planicie aluvial confinada

Fotografía 59. Vista a la geoforma de Llanura de inundación. Tomada con vista al oeste  
desde el punto E 4645548; N 1947458.

- Fotografía 60. Planicie y delta lacustrino (Fpla). E 4758772,807; N 2161071,134
- Fotografía 61. Fotografía con vista a la geoforma Terraza de acumulación. Tomada desde el punto E 4671218,89; N 2051511,66
- Fotografía 62. Escarpe de terraza de acumulación (Ftae) E 4652697,24; N 2008644,68
- Fotografía 63. Vista a la geoforma Terraza de acumulación subreciente. E 4654691,47; N 2016765,70
- Fotografía 64. Fotografía con vista a la geoforma Espolón
- Fotografía 65. Fotografía con vista a la geoforma Ladera contrapendiente.
- Fotografía 66. Escarpe de falla. E 4646782,59; N 1957224,00
- Fotografía 67. Fotografía con vista a la Sierra anticlinal.
- Fotografía 68. Vista panorámica de la geoforma de Sierra de barras estructurales en el sector del Alto de Guacas. E 4638300; N 1982269
- Fotografía 69. Sierra y lomo de presión. E 4671611,02; N 2052334,03
- Fotografía 70. Sierra sinclinal. E 4658652,94; N 2026786,61
- Fotografía 71. Vista panorámica de la geoforma Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal en el sector de San Isidro. E 4677737; N 2064014
- Fotografía 72. Vista panorámica de la geoforma Ladera estructural de sierra anticlinal
- Fotografía 73. Ladera estructural de sierra sinclinal. E 4680736,44; N 2078854,01
- Fotografía 74. Vista panorámica de la geoforma Plancha. E 4667696,04; N 2044469,53
- Fotografía 75. Flujo lahárico aterrazado. E 4681977,84; N2095379,84
- Fotografía 76. Embalse (Aemb). E 4621018,94; N 1975631,69

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Índice de susceptibilidad a movimientos en masa.

Ecuación 2. Ecuación para la generación de la susceptibilidad final, producto de la combinación lineal ponderada de las variables de análisis.

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo D1. Análisis Geológicos

Anexo D2. Análisis Geomorfológicos

## 5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

### 5.1 MEDIO ABIÓTICO

#### 5.1.1 Geología

Con la finalidad de dar un contexto más amplio de la litología de la zona y las condiciones estructurales, se presenta la caracterización para un área definida bajo los parámetros de ambientes litológicos teniendo como límites divisorias de aguas, valles y cierres de cuencas la cual se denominará en el presente documento “área de caracterización”, y abarca una mayor extensión que la definida para el área de Servidumbre o área de influencia del medio abiótico (AI Física).

##### 5.1.1.1 Caracterización litológica

###### 5.1.1.1.1 Contexto Regional del área de caracterización

Las condiciones geológicas de la zona de la línea de transmisión se caracteriza por atravesar diferentes litologías de la Cordillera Central y en la cuenca intramontana del Cauca – Patía. La Cordillera Central se caracteriza por la presencia de complejos ígneo-metamórficos. La Cuenca Cauca-Patía se comporta como un graben, está limitada en los dos flancos (oriental y occidental) por rocas de origen oceánico dominadas fundamentalmente por derrames basálticos y sedimentos marinos, de edad Cretácica.

A nivel regional en el área de caracterización se presentan litologías que se extienden sobre el flanco occidental de la cordillera Central y valle aluvial del río Cauca. En este sector se sugiere la existencia de dos provincias corticales, una con afinidad continental que corresponde a la zona norte del trazado hasta el municipio de Cerrito y el sector final en el valle del río Cauca donde las unidades superficiales corresponden a unidades cuaternarias de origen aluvial.

En la zona occidental presenta rocas correspondientes a una secuencia de basaltos afectada por silos y diques doleríticos de las formaciones Amaime y rocas volcánicas compuestas por gabros, anfibolitas y rocas ultramáficas; y rocas sedimentarias suprayacentes.

A lo largo del trazado de norte a sur en la línea de transmisión se pueden encontrar rocas de origen continental tanto volcánico-clásticas como sedimentarias de edades Paleógeno y Neógeno las cuales se disponen en franjas alargadas controladas por la tectónica de la zona. En la parte media se identifican rocas ígneas plutónicas máficas y félsicas a intermedias y al sur rocas sedimentarias y sedimentos coluviales, aluviales y de terraza (Figura 1).

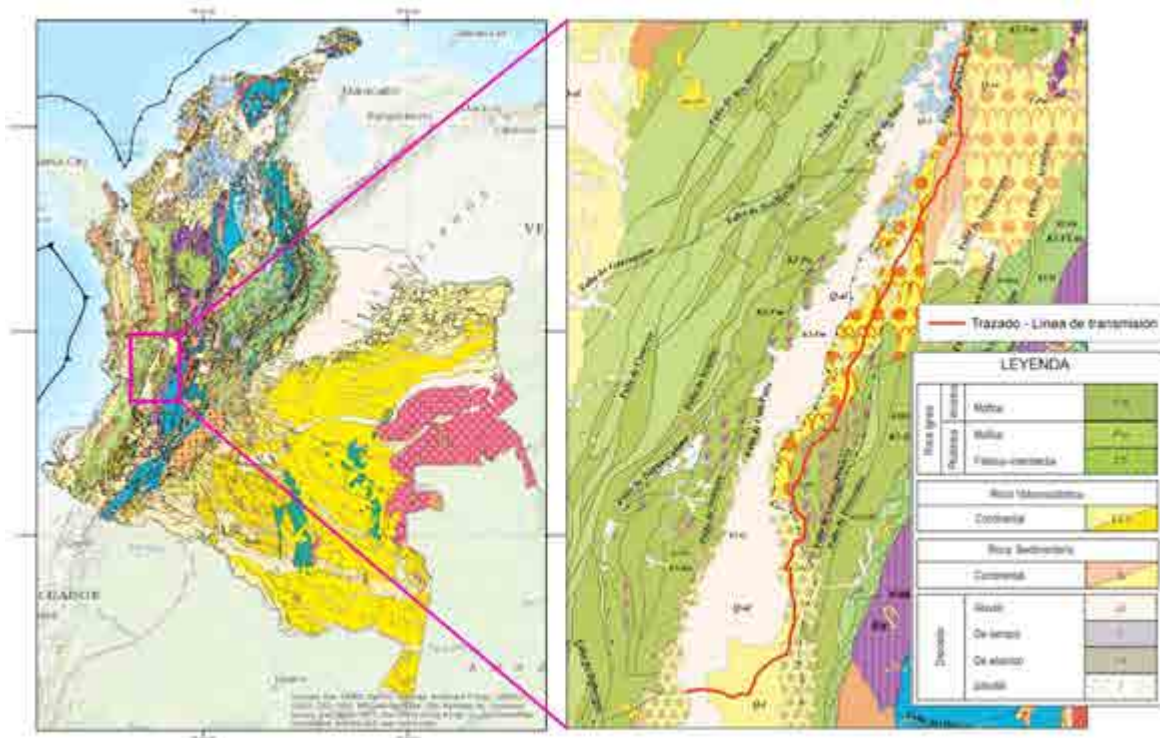


Figura 1. Contexto geológico regional del área del trazado de la Línea de transmisión.  
 Fuente: Tomado del mapa geológico de Colombia, SGC 2018

Estructuralmente la zona de análisis se encuentra enmarcada en el Graben Interandino del Río Cauca. El trazado presenta al oeste como límite regional estructural el Sistema de Fallas Cauca - Patía y al este el Sistema de fallas de Romeral (Figura 2).

El sector manifiesta la actividad tectónica principalmente reflejada en las rocas cretácicas de la Provincia litosférica oceánica cretácica occidental, la cual se evidencia por la presencia de fallas con dirección preferencial NNE que siguen la tendencia de las fallas regionales principales y el plegamiento con la misma dirección, reflejada principalmente en rocas terciarias los cuales son amplios con vergencia al oeste.

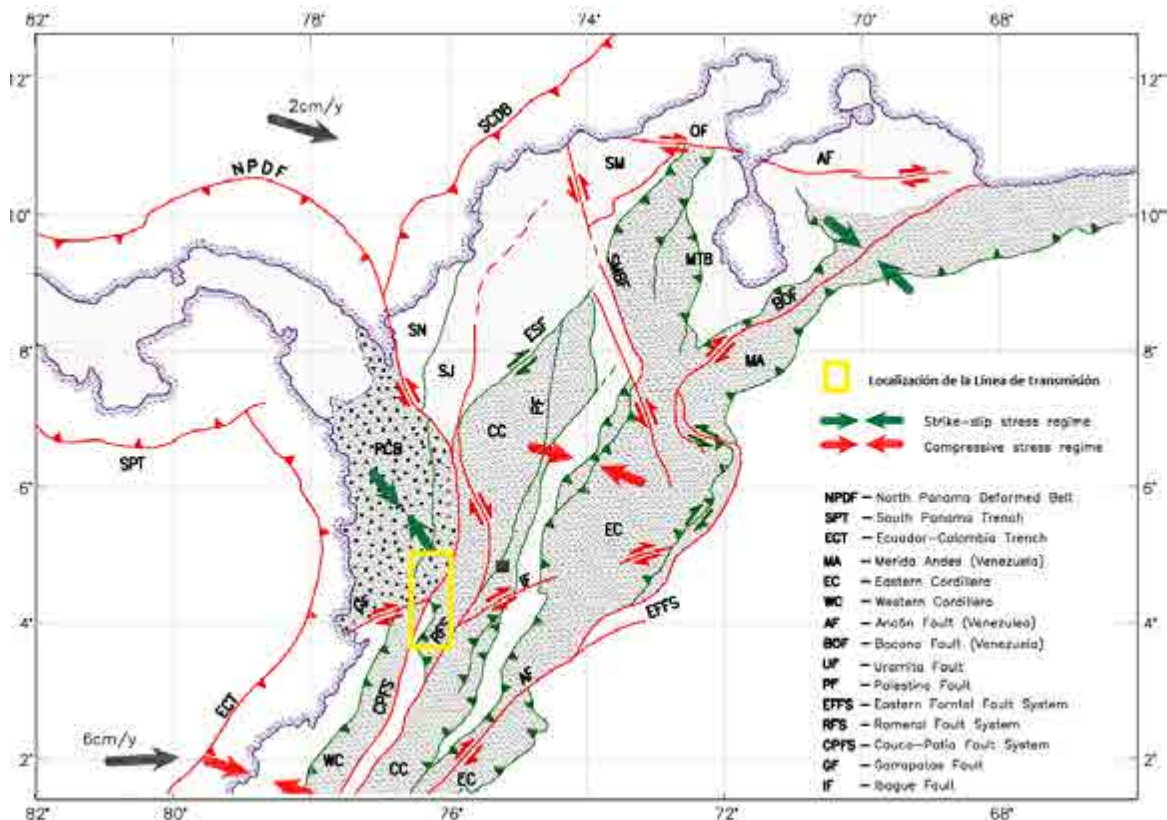


Figura 2. Localización del área de caracterización de la línea de transmisión en el contexto regional de los principales sistemas tectónicos de Colombia.

Fuente: Modificado de Cediell et al, 2003 y Cortés y Angelier, 2005

#### 5.1.1.1.2 Condiciones litológicas del área de caracterización

El trazado de la línea de transmisión entre las subestaciones La Virginia y Alferez atraviesa el sur del departamento de Risaralda y el Valle del Cauca. Este corredor de energía eléctrica cruza rocas ígneas plutónicas y volcánicas, volcano-sedimentarias, sedimentarias y depósitos recientes las cuales presentan comportamientos mecánicos y características particulares de meteorización y espesores de suelo.

Geográficamente está localizado en el flanco occidental de la Cordillera Central y la depresión del Valle del Cauca. Tanto el flanco de la cordillera como la zona del valle



presentan características y ambientes geológicos propios, reflejados en rasgos geomorfológicos particulares, como resultado de su ubicación en el suroeste Colombiano, correspondiente a una área tectónicamente activa y de complejas interacciones entre las placas Nazca, Cocos, Caribe y Suramérica.

Las unidades litológicas a intervenir a lo largo del trazado de acuerdo a la localización espacial de las torres corresponden a rocas cristalinas de edades jurásicas, cretácicas, rocas sedimentarias de edades terciarias y suelos transportados de edad cuaternaria. En la Tabla 1 se muestran las unidades en orden cronológico de más reciente a más antigua y en la Tabla 2 y Tabla 3 se indica la extensión de cada unidad geológica dentro del área de caracterización y del AI Física.

Tabla 1. Unidades litológicas presentes en el área de caracterización

FORMACIONES Y DEPÓSITOS RECIENTES				
Eón	Era	Periodo	Unidad Litológica	
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO	Qd	Depósitos de Derrubio
			Qal	Depósitos Aluviales
			Qca	Conos Aluviales
			Qt	Depósitos de Terraza
			Qto	Flujos de lodo y cenizas recientes
		NEÓGENO	TPz	Formación Zarzal
			TMpo	Formación La Pobreza
			TMp	Formación La Paila
		PALEÓGENO	Tocp	Formación Cinta de Piedra
		MESOZOICO	CRETÁCICO	Kcd-t
	CRETÁCICO-JURÁSICO		JKoga	Macizo Ofiolítico de Ginebra

Fuente: Modificado de GEB., 2018



Tabla 2. Tabla resumen de las unidades geológicas con sus respectivas áreas en el área de caracterización

<b>UNIDAD GEOLÓGICA ÁREA DE CARACTERIZACIÓN</b>			
<b>UNIDAD GEOLÓGICA</b>	<b>NOMENCLATURA</b>	<b>ÁREA ha</b>	<b>%</b>
Depósitos de Derrubio	Qd	590,01	1,26
Depósitos Aluviales	Qal	3186,30	6,79
Conos Aluviales	Qca	8429,84	17,95
Depósitos de Terraza	Qt	5933,66	12,64
Depósitos de Flujos de lodo y cenizas recientes	Qto	773,26	1,65
Formación Zarzal	TPz	1690,93	3,60
Formación La Pobreza	TMpo	1028,88	2,19
Formación La Paila	TMp	9065,86	19,31
Formación Cinta de Piedra	Tocp	6790,13	14,46
Batolito de Buga	Kcd-t	2716,30	5,79
Macizo Ofiolítico de Ginebra	Jkoga	6747,14	14,37
<b>TOTAL</b>		<b>46952,29</b>	<b>100</b>

Tabla 3. Resumen de las unidades geológicas con sus respectivas áreas en el AI Física

<b>UNIDAD GEOLÓGICA ÁREA DE INFLUENCIA</b>			
<b>NOMBRE</b>	<b>NOMENCLATURA</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>%</b>
Batolito de Buga	Kcd-t	50,47	4,02
Depósitos Aluviales	Qal	94,64	7,53
Depósitos de Conos Aluviales	Qca	192,83	15,35
Depósitos de Derrubio	Qd	3,51	0,28
Depósitos de Flujos de lodo y cenizas recientes	Qto	23,88	1,90
Depósitos de Terraza	Qt	174,71	13,91
Formación Cinta de Piedra	Tocp	185,20	14,74

UNIDAD GEOLÓGICA ÁREA DE INFLUENCIA			
NOMBRE	NOMENCLATURA	ÁREA (ha)	%
Formación La Paila	TMp	255,49	20,34
Formación La Pobreza	TMpo	34,58	2,75
Formación Zarzal	TPz	59,47	4,73
Macizo Ofiolítico de Ginebra	Jkoga	181,47	14,45
<b>TOTAL</b>		<b>1256,24</b>	<b>100,00</b>

Las condiciones geológicas del área de caracterización involucran las unidades litológicas en roca y unidades geológicas superficiales donde se realizará la implantación de las torres en la línea de transmisión La Virginia - Alférez, así como las estructuras que puedan tener influencia en el mismo.

#### 5.1.1.2 Formaciones de edad Jurásico - Cretácico

Las rocas correspondientes a estas edades son plutónicas y volcánicas, que se encuentran en contacto discordante con las rocas sedimentarias y que han intruido otras rocas de la zona como se observa en la sección C - C" (Figura 3).

##### 5.1.1.2.1 Macizo Ofiolítico de Ginebra (JKoga)

El trazado de la Línea atraviesa las rocas del Macizo Ofiolítico entre las torres TVA251 a TVA272V\*, TVA278 a TVA319VB mostrando una distribución en franjas alargadas en sentido NE-SW como se indica en la (Figura 4 y Anexo D.1.1). Estas rocas están compuestas por tres litologías principales que corresponden a metabasaltos, rocas gabroideas y rocas ultrabásicas (piroxenitas y peridotitas) (INGEOMINAS, 1984).

Hacia la base se presentan rocas ultrabásicas las cuales se representan bajo la sigla JKogu, que corresponden a piroxenitas y peridotitas con texturas afaníticas y meso-granulares, equigranulares, compuestas por olivinos, ortopiroxenos, clinopiroxenos y minerales opacos en diferentes proporciones, que generan una variación en la clasificación de las rocas entre harzburgitas, iherzolitas, wherlitas, piroxenitas websteritas y ortopiroxenitas.

Las rocas correspondientes a metabasaltos y rocas gabroideas, como la parte superior de la secuencia ofiolítica, configurando la mayoría de la extensión del Macizo Ofiolítico de Ginebra, denominado bajo la sigla JKoga (Fotografía 1).

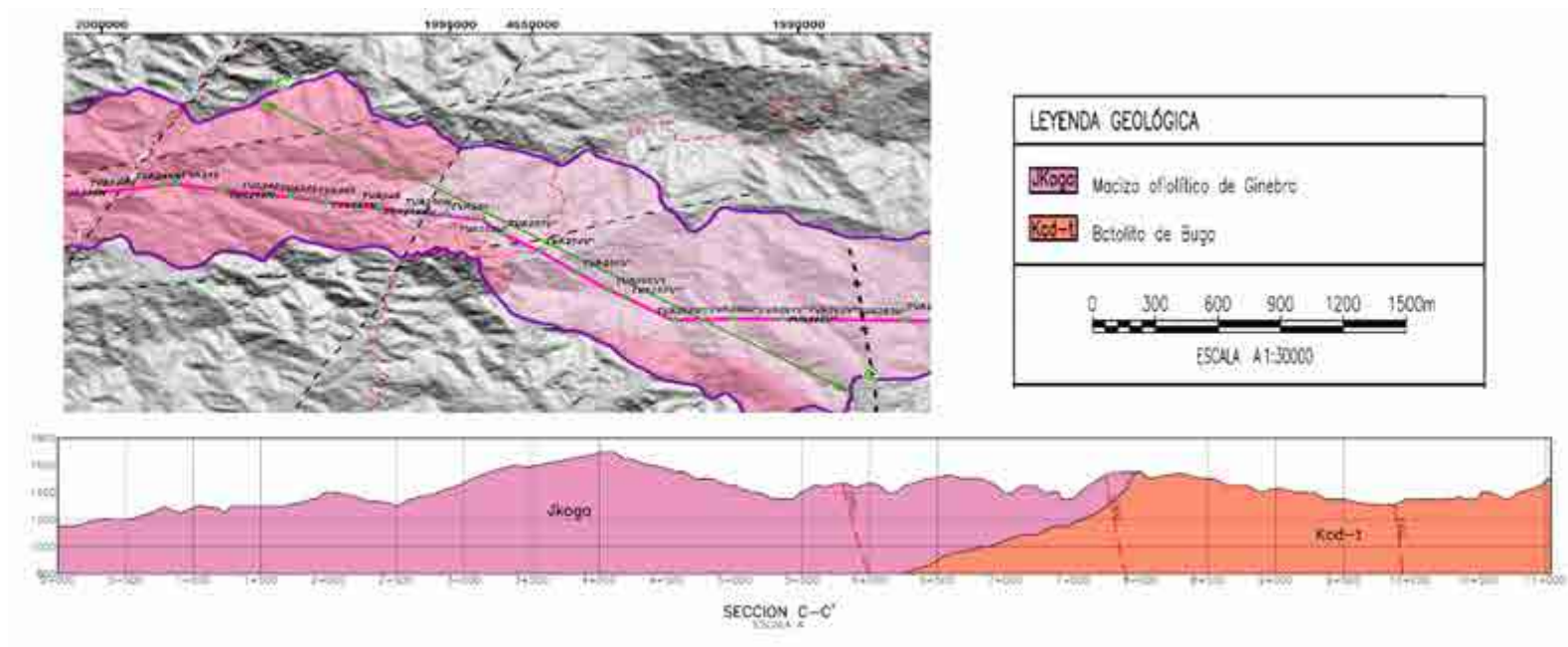


Figura 3. Sección estratigráfica de las formaciones Jurásicas y Cretácicas en la zona de estudio.

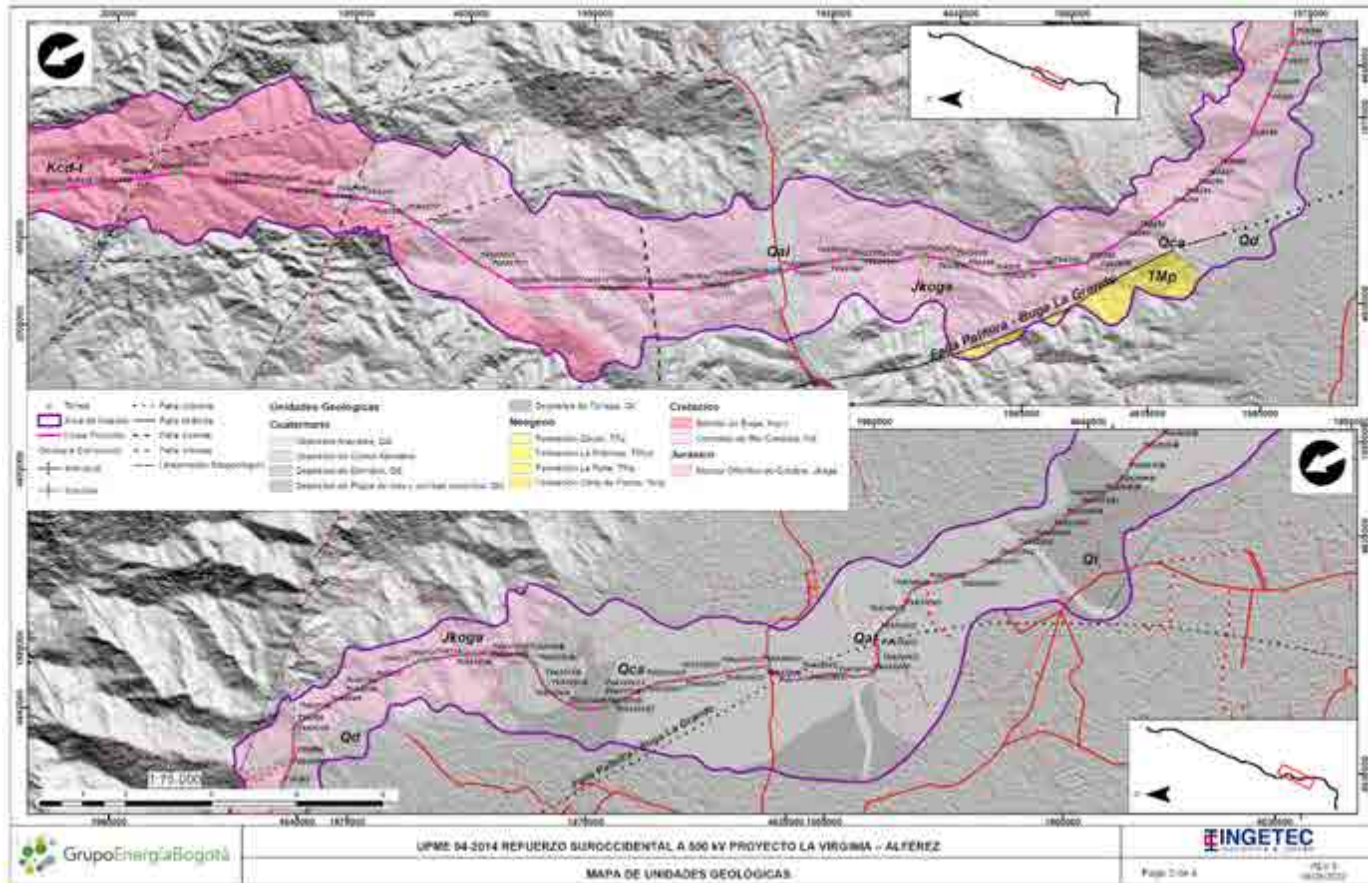


Figura 4. Plano de distribución de las formaciones Cretácicas - Jurásicas en el área de caracterización  
 Fuente: Modificado de Plancha geológica 280 Palmira, 1985.



Está conformada por metabasaltos con recristalización microcristalina de hornblenda y plagioclasa correspondiente a anfibolitas. Las rocas gabroideas, corresponden a troctolitas, gabronoritas, gabros y gabros hornbléndicos, de texturas cumulares y compuestos por plagioclasa, piroxenos y olivinos (INGEOMINAS, 1984).

En el área de influencia se localiza principalmente en los municipios de San Pedro, Buga, Guacari, Monterrey, La María y Ginebra; representada por gabros y gabroides muy meteorizados, textura granular, faneríticos, inequigranulares. (Ver Tabla 1).



Fotografía 1. Afloramiento del Macizo Ofiolítico de Ginebra. E 4641238; N 1974990

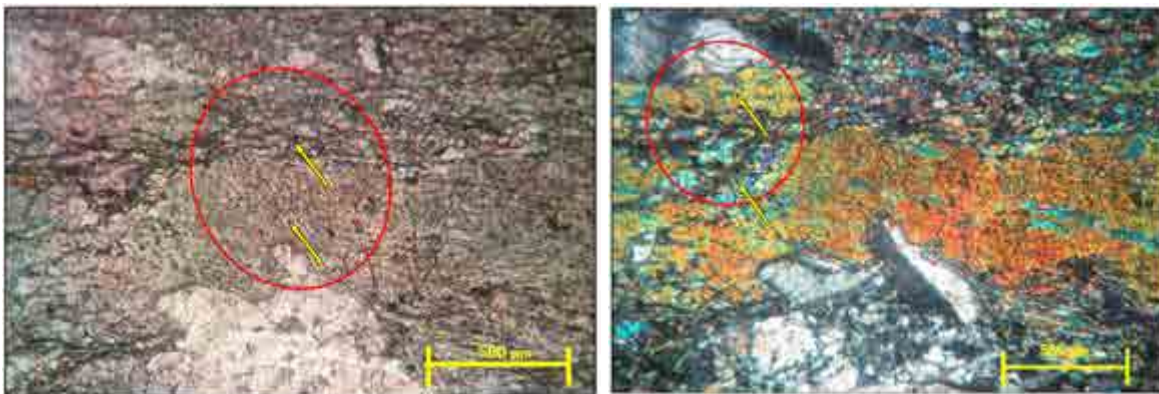
La muestra tomada para análisis mineralógico (CV-AV-55) (Fotografía 2), corresponde a roca de textura holocristalina con cristales de variadas formas, incluyendo micro cristales que determinan la textura fanerítica de grano medio, de acuerdo a su composición corresponde a rocas máficas intrusivas, como gabro, con abundantes cristales equigranulares de plagioclasas, anfíboles, piroxenos y micas (Fotografía 3).

En su composición presenta más del 90% de la plagioclasa con alteración a sausruta, sericita visible la degradación del pleocroísmo de los anfíboles y piroxeno visible en las fotografías en nicols paralelos (Fotografía 4). Esta alteración puede ser por las micro fracturas que transportan fluidos a través algunas de ellas abiertas, que producen rompimiento en los cristales sin desplazamiento. El poco cuarzo presente parece ser de

origen secundario de relleno pues se presenta en forma intersticial no asociado al fracturamiento y visible en venas en muestra de mano.



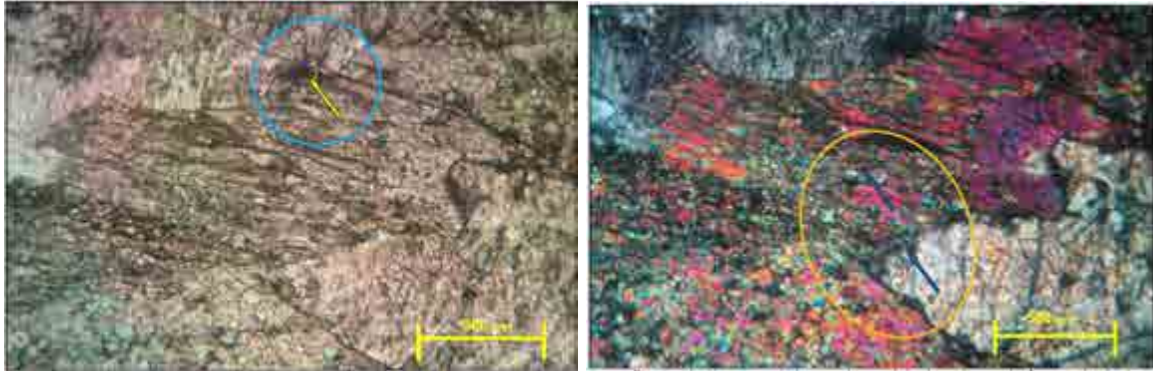
Fotografía 2. Muestra de mano tomada en afloramiento



Fotografía 3. Izquierda. Minerales ferromagnesianos pero con alteración a micas. Ampliación a 4X en nicoles paralelos. Derecha. La textura holocristalina formada por cristales de anfíboles y piroxenos alargados y orientados de variadas formas y tamaño. Ampliación a 4X en nicoles cruzados.

Los minerales opacos (magnetita) presentes, ocupan espacios alargados que rompen la estructura granular ligeramente orientada formada por ferromagnesianos, los cristales de

plagioclasa rectangulares se intercalan con los anfíboles y forman una estructura granular homogénea. La estructura de la roca le da una resistencia alta que disminuye con el fracturamiento. La ausencia de cuarzo le permite desarrollar suelos muy arcillosos.



Fotografía 4. Izquierda. textura fanerítica homogénea con zonas de cristales fracturados y presencia de opacos. Nicales paralelos a 4X. Derecha. Fenocristales de plagioclasas y anfíboles y piroxenos formando la estructura granular de grano medio-grueso. Ampliación a 4X en nicales cruzados.

El Macizo se encuentra en contacto con el Batolito de Buga, Formación Amaime, Formación La Paila y con los Depósitos Aluviales, de Derrubio, Coluviales (Fotografía 5).



Fotografía 5. Contacto entre Macizo Ofiolítico de Ginebra y Depósitos Coluviales.  
4641172; N 1975555



En cuanto a la edad, McCourt interpreta al Macizo Ofiolítico de Ginebra como Jurásico a Cretácico Temprano, ya que se encuentra intruido por el Batolito de Buga datado radiométricamente entre  $113 \pm 10$  Ma. y  $99 \pm 3$  Ma. Además, al ser considerado este macizo como una secuencia ofiolítica, puede relacionarse con los basaltos de la Formación Amaime, considerándolos como la parte más superior de la misma y por lo tanto contemporáneos (INGEOMINAS, 1984).

#### 5.1.1.2.2 Batolito de Buga (Kcd-t)

Esta unidad corresponde a uno de los plutones Cretácicos más antiguos expuestos en la Cordillera Central, donde se implantaron las torres TVA234 a TVA248.

Presenta contacto intrusivo con las rocas del Macizo Ofiolítico de Ginebra y al parecer, también, con la Formación Amaime, aunque con esta última unidad su contacto es fallado en la mayoría del área mediante la Falla Guabas – Pradera. Más específicamente, esta unidad corresponde a un cuerpo intrusivo alargado en sentido S-N, de  $200\text{km}^2$ , localizado en el flanco occidental de la Cordillera Central, en las inmediaciones de los municipios de Buga, San Pedro y Tuluá (INGEOMINAS, 1984).

Las rocas que conforman este batolito corresponden a diorita en su parte oriental hasta cuarzo diorita leucocrática en su parte occidental (Nelson, 1955), o granitoide calco-alcalino de textura hipidiomórfica, cuya composición varía entre cuarzodiorita hornbléndica a tonalita, con apariciones de dioritas hornbléndicas hacia sus bordes (TOUSSAINT, 1978).

En el área de caracterización se presentan como un cuerpo irregular conformado por granodiorita y granitos de color rosado con alto grado de meteorización (Fotografía 6).



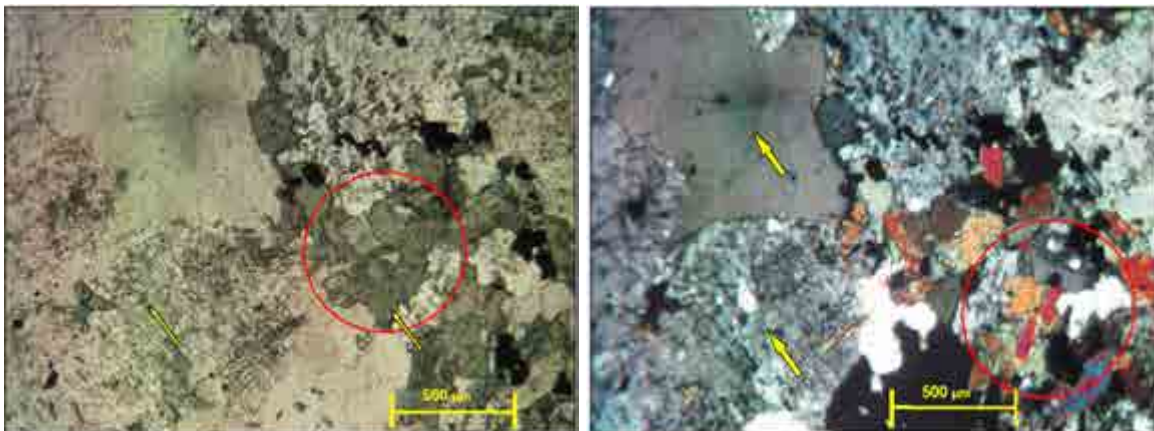
Fotografía 6. Granodioritas del Batolito de Buga. E 4643431; N 1995011

Estas rocas de textura fanerítica - holocristalina con cristales homogéneos - equigranulares incluyendo micro cristales de ferromagnesianos determinan la textura fanerítica, de grano grueso, en composición se ubica en la zona de las rocas ácidas como una cuarzodiorita, con abundantes cristales de plagioclasas rectangulares y micas (Fotografía 7) (Anexo D1.2. Resultados geoquímicos de roca).

En la muestra analizada tomada en la zona de estudio, más del 70% de la plagioclasa presenta alteración a sausrita y a sericita resultado de un proceso de tipo hidrotermal la cual es causa también de la degradación parcial del pleocroísmo en la Hornblenda visible, en las fotografías en nicols paralelos (Fotografía 8).

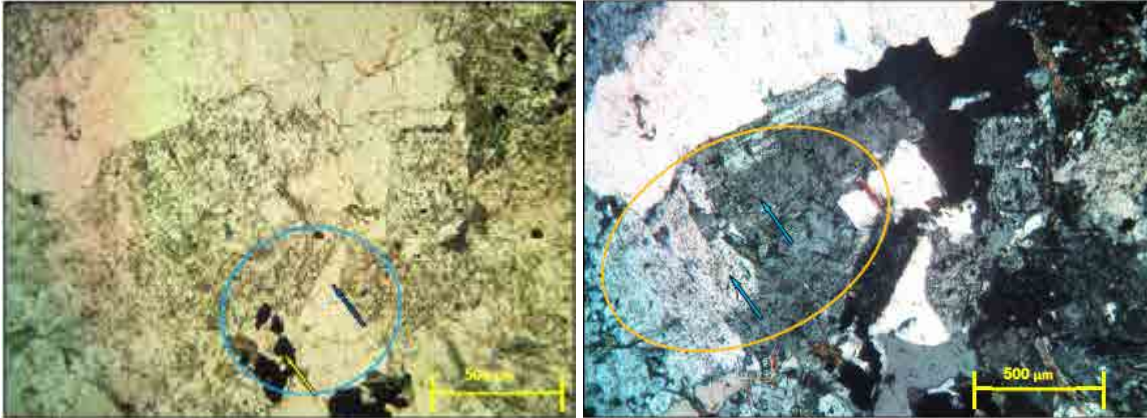


Fotografía 7. Muestra de mano de las rocas del Batolito de Buga en la zona de estudio.



Fotografía 8. Izquierda. Nícoles paralelos 4X. Anfiboles-Hornblenda, a la izquierda la plagioclasa alteradas a micas. Derecha. Nícoles cruzados 4X. Roca de textura fanerítica holocristalina formada por cristales de cuarzo y plagioclasa.

Los minerales opacos presentes en la muestra en su mayoría corresponden a magnetita ocupando espacios que hacen parte de la estructura granular formada por anfiboles, cuarzo y plagioclasas. La estructura de la roca le da una resistencia alta que disminuye con el fracturamiento.



Fotografía 9. Izquierda. Nícoles paralelos 4X. Zonas predominando minerales de cuarzo, magnetita y plagioclasas de grano grueso, en estructura granular muy ajustada y poco fracturamiento. Derecha. Nícoles cruzados 4X. Se observan plagioclasas, feldespato alterándose a sericita y saussurita.

#### 5.1.1.3 Formaciones de edad Paleógena

Las rocas corresponden a sedimentos de origen marino compuestos en orden de abundancia por limolitas, arcillolitas, grauvacas, conglomerados y liditas; donde el componente volcánico se encuentra presente en éstas. Su disposición en la zona de estudio se encuentra ascendiendo estratigráficamente al oeste como se observa en la Figura 6.

##### 5.1.1.3.1 Formación Cinta de Piedra (Tocp)

Estas rocas son atravesadas por la línea de transmisión entre las torres TVA032V\* a TVA080V, TVA110 a TVA113 ( Figura 7 y Anexo D.1.1.). Las torres se cimentarán en una secuencia de areniscas grises a verdes y localmente de color café ocre debido al contenido de hierro en la matriz principalmente en las capas superiores, intercaladas con arcillolitas compactas y horizontes locales de conglomerados, como se observa en la columna esquemática visualizada en el área (Figura 5).

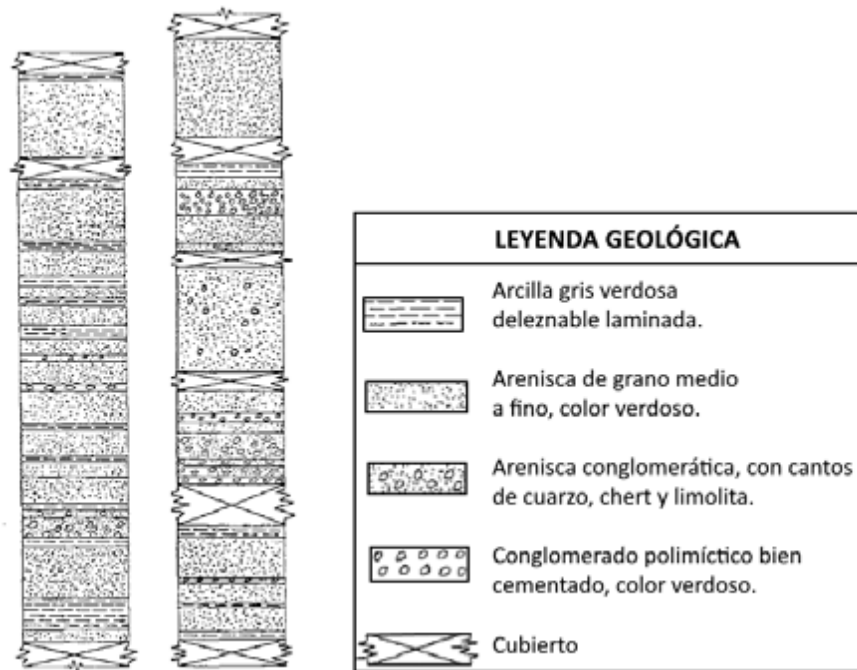
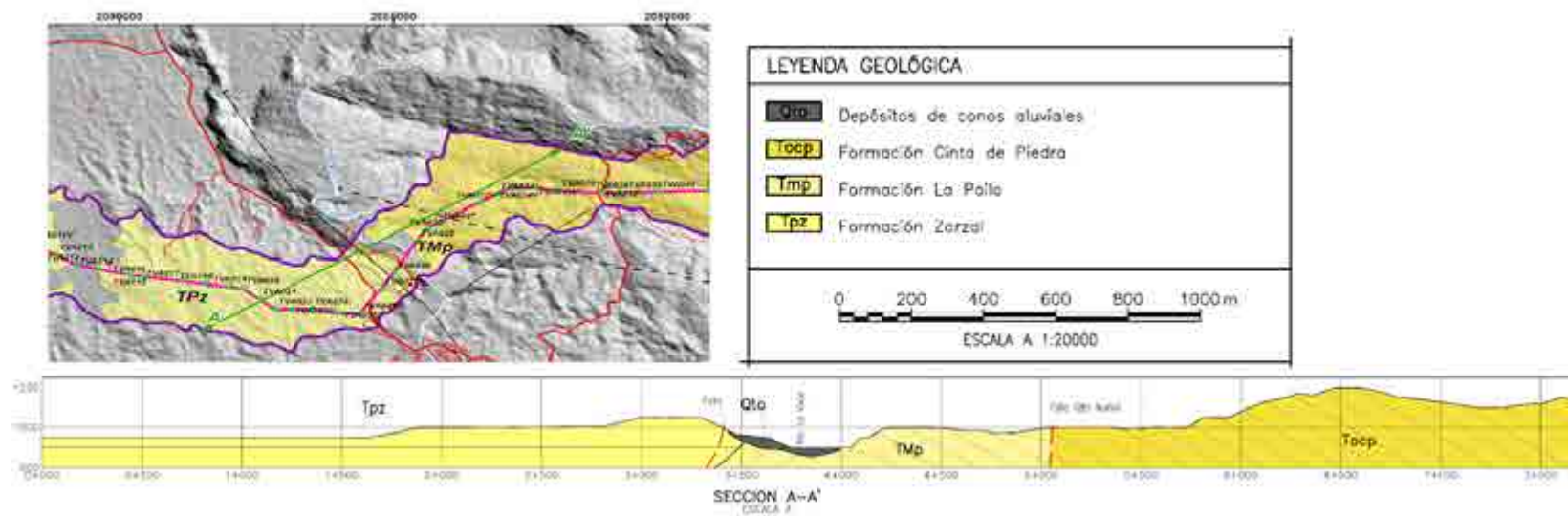


Figura 5. Columna estratigráfica tipo de la sección tipo en el área de formación entre las Torres TVA037 a TVA046.

Fuente: Modificado de INGEOMINAS, 1984. Memoria de la Geología y geoquímica de la Plancha 224 Pereira.





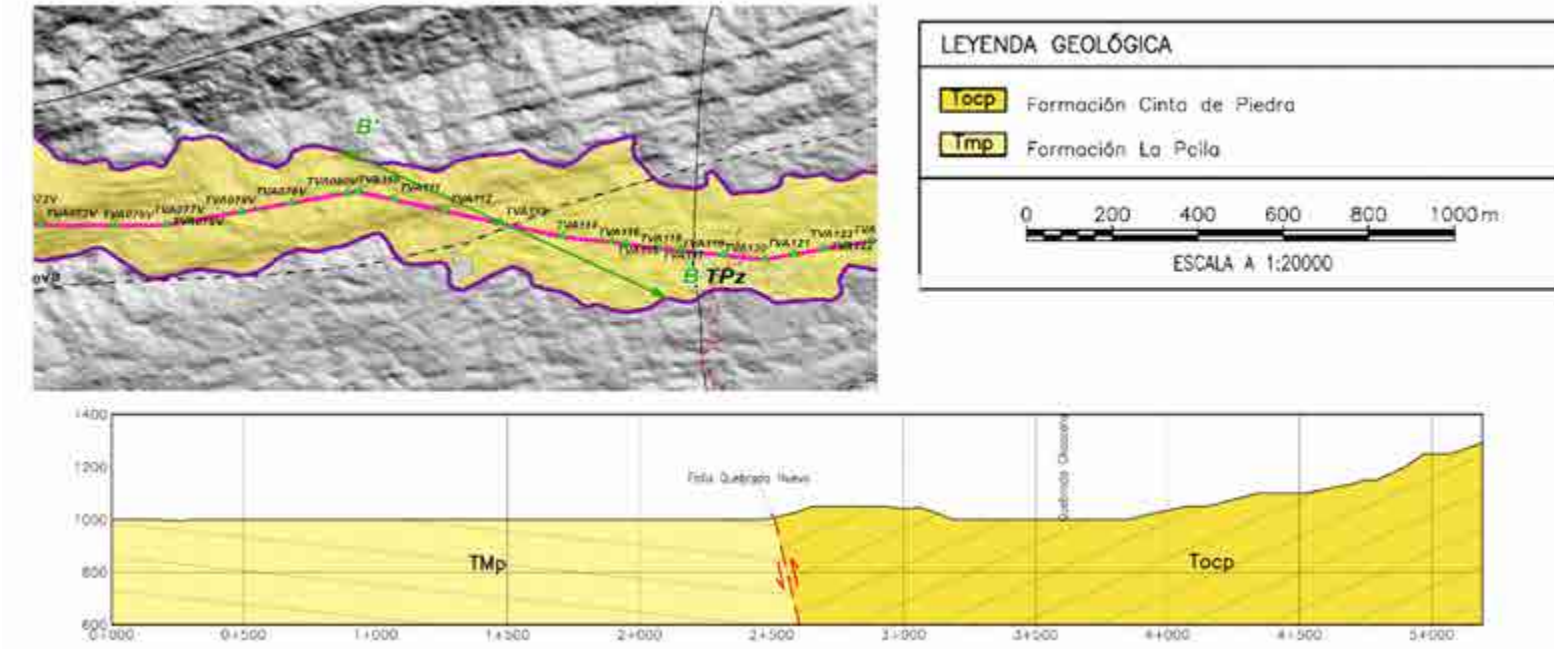


Figura 6. Sección estratigráfica A - A' en el sector del municipio de Cartago y B - B' en el municipio de La Victoria.

Se presenta en capas tabulares gruesas de espesores aproximadamente 4 m, también se observa una alta concentración de hierro en la parte superior de las capas arenosas y de conglomerados con una ligera meteorización esferoidal y fracturamiento lo que ayuda a su erosión (Fotografía 10). Estas rocas presentan un armazón unido por un cemento limoso con contenido ferruginoso susceptible lo que las hace friables, las altas precipitaciones durante el invierno las afectan y aceleran su proceso de meteorización.



Fotografía 10. Afloramiento de areniscas ligeramente conglomeráticas con meteorización esferoidal. E 4675151; N 2058078.

En el área de caracterización se observaron afloramientos de areniscas de grano fino hasta grueso de color café, rojizas, grises, presentan matriz silíceo y limosa, deleznales con estratificación plana paralela, como en capas delgadas a gruesas, intercaladas con conglomerados clasto soportados y matriz soportados, con fragmentos tamaño guijos y guijarros angulares a sub-angulares (Fotografía 11).





Fotografía 11. A. Capas delgadas de arenitas de color café con estratificación plana paralela de la Formación Cinta de Piedra. E 4675151; N 2058078

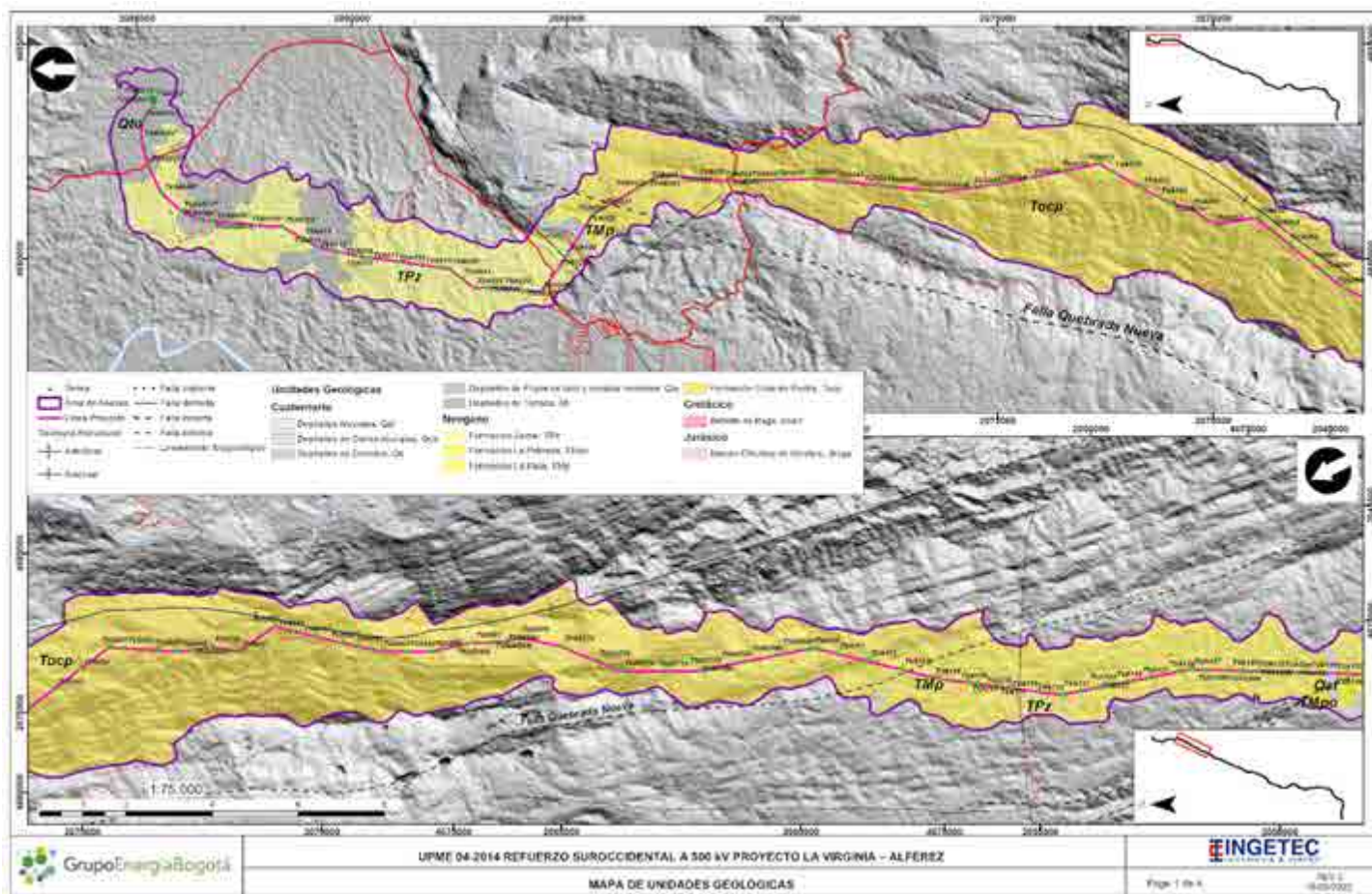
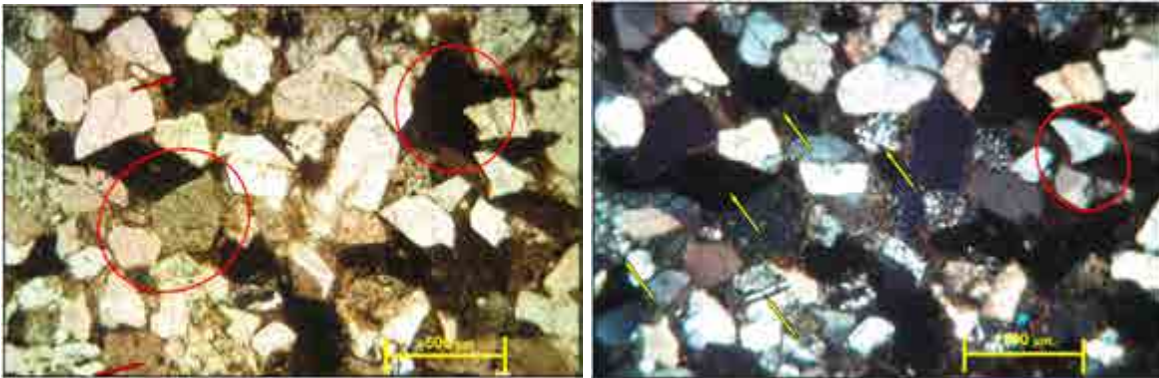


Figura 7. Distribución de la unidad Cintita de Piedra en el área de caracterización  
 Fuente: Modificado de Servicio geológico Plancha 224 y 243, 1985

Las areniscas identificadas en campo son de composición tobácea de color marrón oscuro de grano medio-grueso, estructura granular, clástica-lítica, compuesta por granos de cuarzo (20%), feldespato - plagioclasa (10%), micas (5%), líticos (12%), óxidos (8%) y minerales ferromagnesianos (15%), con porosidad (5%) y baja litificación donde su matriz es arcillosa y ocupa un 25% en la roca.



Fotografía 12. Análisis petrográfico de la muestra de arenisca de la formación Cinta de Piedra. Izquierda. Se observa ajuste intergranular es bastante fuerte, solo algunos cristales de micas, cuarzo y líticos interrumpen la continuidad óptica de la matriz arcillosa con contactos borde-borde. Derecha. La roca presenta un arreglo entre granos (cuarzo, micas, líticos) más ajustado donde la matriz arcillosa aparece en menor proporción.

En referencia a los análisis mineralógicos de arcillas presenta un porcentaje de caolinita de 9,6%, illita 23%, esmectita 15,6 %, clorita 28.8% y un porcentaje de expansión del 30%. En la fase de arcilla total, presenta 52 % en la relación arcilla / feldespato / cuarzo, presentándose mayor y en la relación arcilla / limo / arena, la relación arcilla se presenta con un 52% y arena fina en un 41,6 %.

En el análisis del contenido de arcilla de la roca se identificó en la fracción de (2 $\mu$ m) que contiene los minerales arcillosos para obtener la lámina orientada donde se realiza la difracción de rayos X (DRX), (N-EG-550°) - rutina normal.

En el difractograma EG (Figura 8), se han semi-cuantificado la abundancia relativa: illita y clorita son los minerales más abundantes. El contenido de esmectita (15.6%) indica que a nivel de la mineralogía de arcillas el material tiene un potencial medio de contracción-expansión por cambios de humedad, en relación a los minerales estables como la caolinita, la clorita y la illita. Corresponden a minerales esmectíticos mal cristalizados (V/P-% exp. 30%).



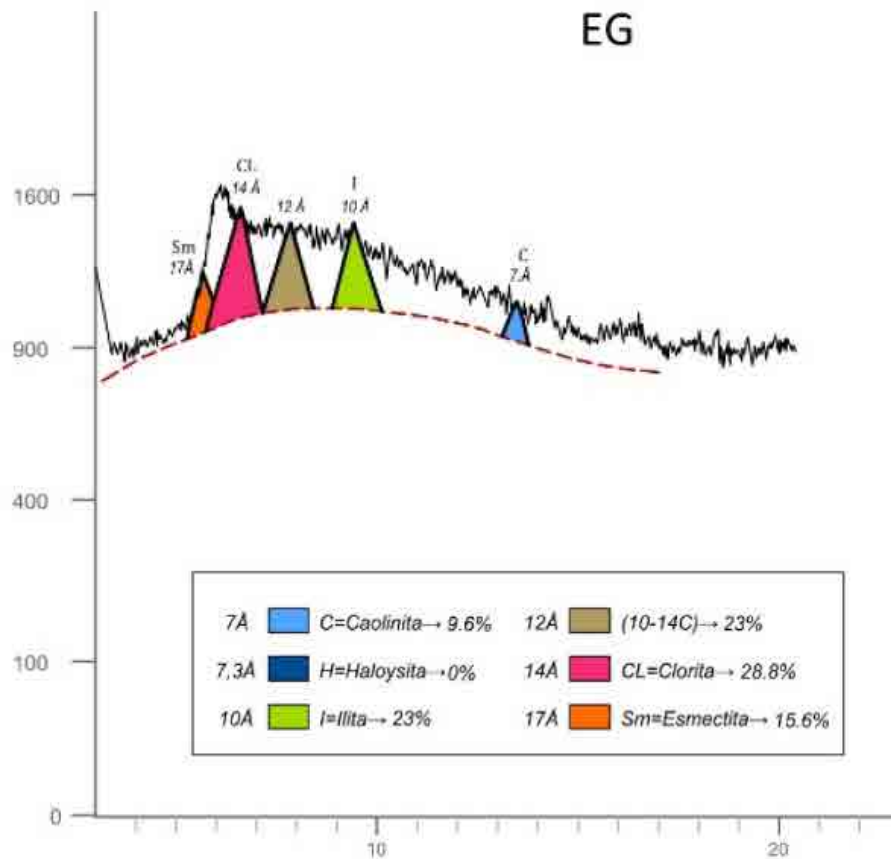


Figura 8. Difractograma de abundancia relativa de los minerales arcilla más abundantes en la roca.

La fracción de 100 µm (Figura 9) obtenida de la muestra presenta contenidos relativos de arcilla, limo y arena fina (Cook 1977), que correlacionados corresponden a un contenido de arcilla del 52 % de la fracción fina.

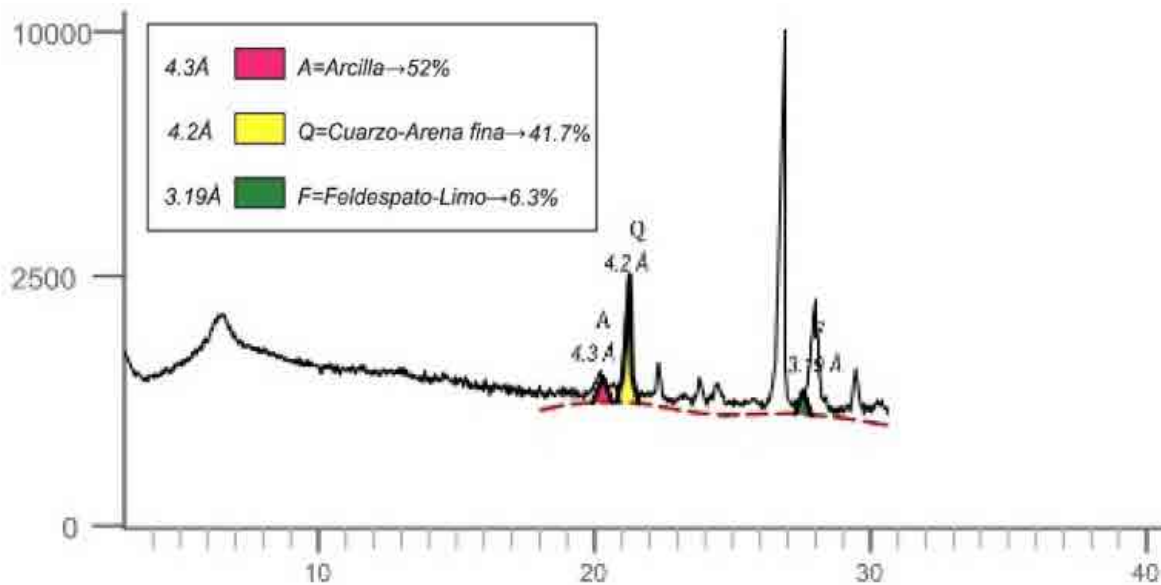


Figura 9. Diagrama de muestra desorientada 100µm.

#### 5.1.1.4 Formaciones de edad Neógena

##### 5.1.1.4.1 Formación La Paila (Tmp)

Estas rocas afloran en el área de las torres TVA029 a TVA031, TVA114 a TVA136, TVA158 a TVA235. Está definida por dos unidades aparentemente concordantes; una inferior correspondiente a 200 m de tobas dacíticas, seguidas por la unidad superior, conformada por una secuencia clástica de 400 a 600 m de espesor (INGEOMINAS, 2001) (Figura 10) y formada principalmente por conglomerados los cuales se encuentran aflorando principalmente en el área de influencia (Anexo D1.1 y Figura 11).

Se compone de conglomerados polimícticos y areniscas de grano grueso a conglomeráticas, en capas de espesor muy grueso y grueso, con estratificación plana no paralela, estratificación cruzada y canales de relleno. Los clastos que conforman el armazón de la roca presentan forma elipsoidal, con buen redondeamiento, y su composición comprende basaltos, tonalitas, dioritas, metamorfitas y chert negro (Fotografía 13).

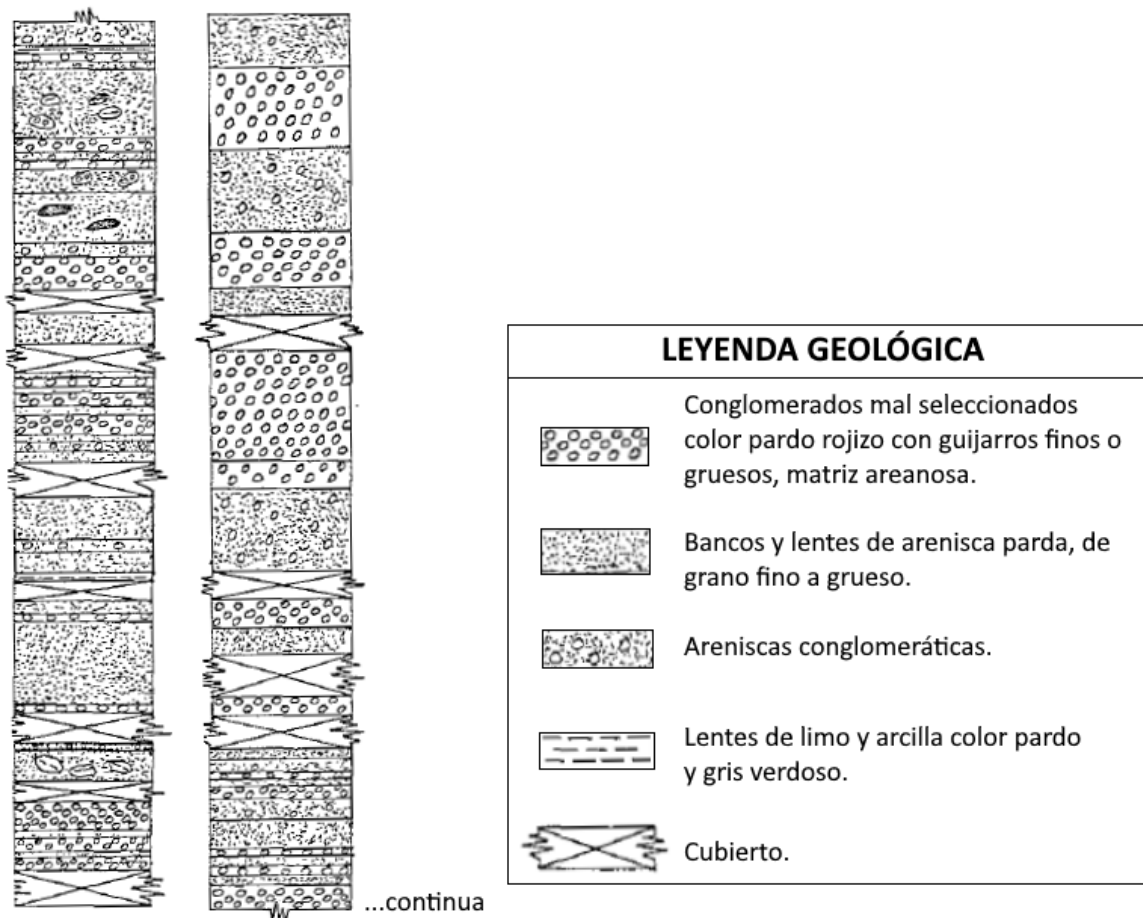


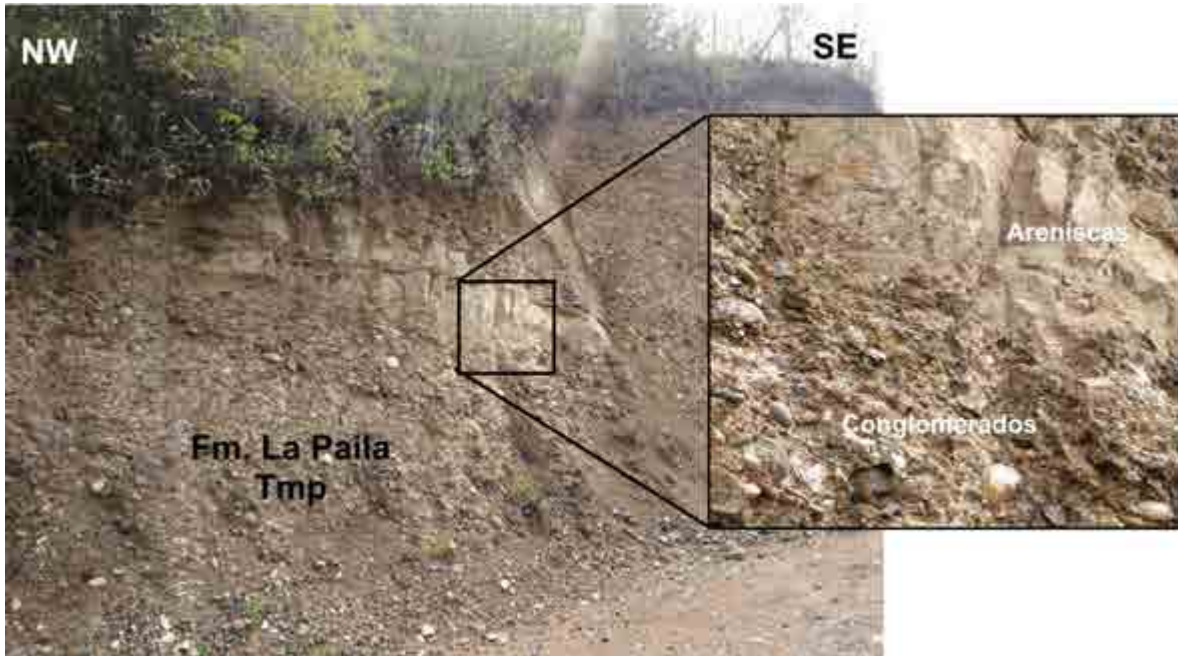
Figura 10. Columna estratigráfica tipo de la sección tipo en el área de formación La Paila, en el sector de la vía que conduce del municipio de Cartago a la Hacienda La Herradura. Fuente: Modificado de INGEOMINAS, 1984. Memoria de la Geología y geoquímica de la Plancha 224 Pereira.



Fotografía 13. Conglomerados polimícticos de la formación La Paila, en corte vial localizado en E 4657491; N 2025096.

En la zona de análisis se observaron variaciones faciales entre conglomerados, conglomerados con intercalaciones de areniscas y arenitas con alternancia de conglomerados, como se observa en la Fotografía 14.





Fotografía 14. Alternancia de arenitas y conglomerados de la Formación La Paila.  
E 4657491; N 2025096

Las facies conglomeráticas se caracterizan por variar entre matriz soportado a clasto soportado de composición polimictica, chert negro y café, cuarzo y rocas ígneas, de guijos y gujarros, sub-redondeados, con imbricación de clastos (Fotografía 15).



Fotografía 15. Facies conglomeráticas de la Formación La Paila. E 4657491; N 2025096

Las areniscas son de grano muy fino a grueso de color crema ligeramente conglomeráticas, bien seleccionado y con matriz limosa, fiabes altamente meteorizables (Fotografía 16).

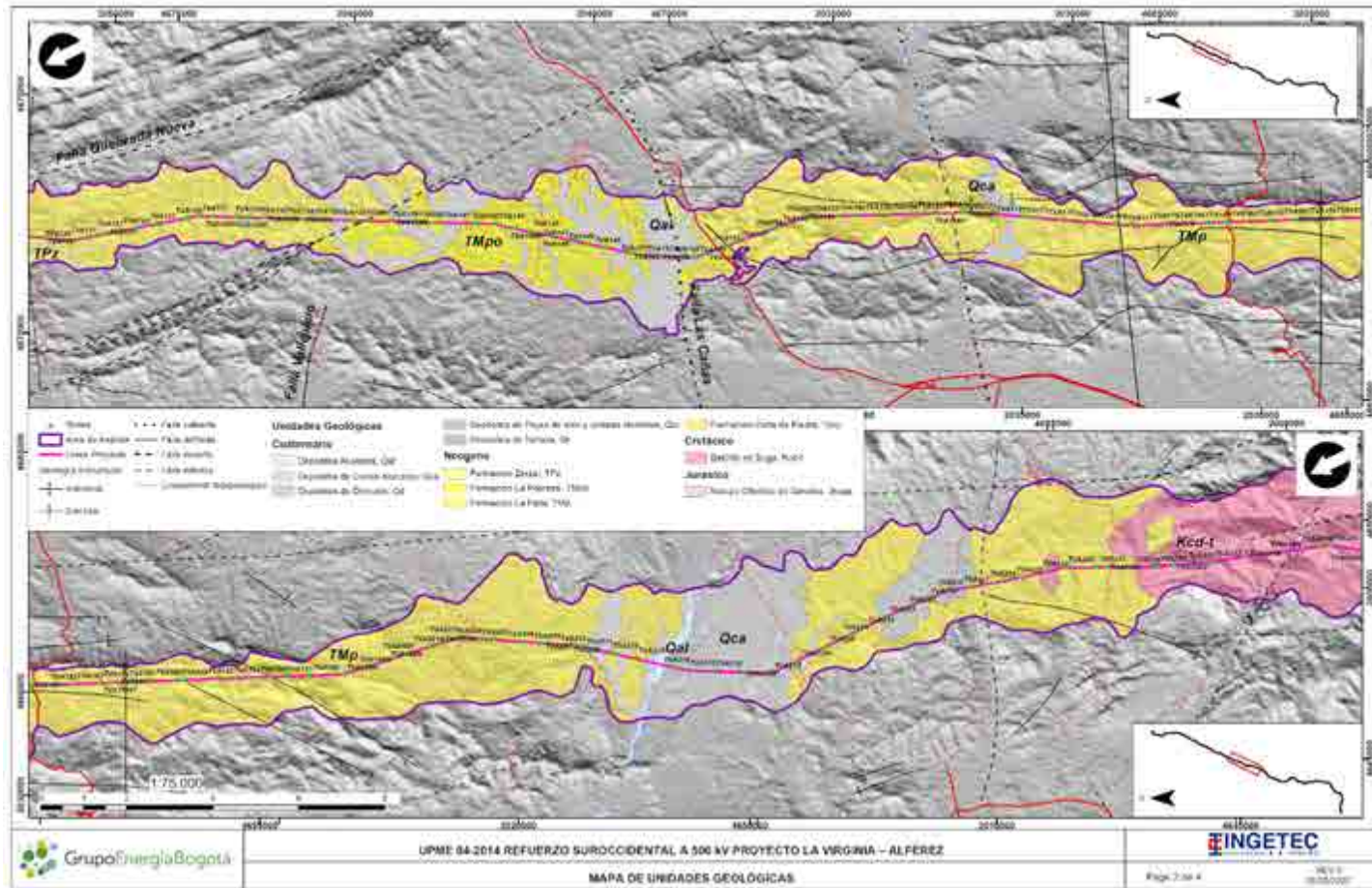
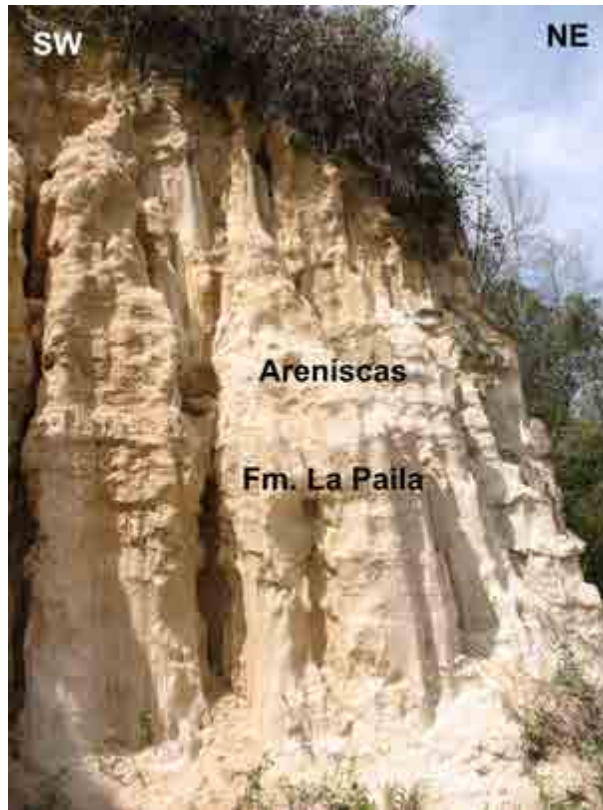


Figura 11. Localización de la formación La Paila en el área de caracterización.  
 Fuente: Modificado de Servicio geológico Plancha 243 y 261, 1985





Fotografía 16. Facies arenosas ligeramente conglomeráticas de la Formación La Paila.  
E 4656888; N 2018962

De acuerdo al análisis petrográfico realizado a las muestras de las rocas de la formación La Paila, esta se clasifica como rocas vulcano-sedimentaria clástica de color ocre, granular de grano medio-grosso, porosa, compuesto por cuarzo, líticas y minerales ferromagnesianos como anfíboles y micas (Fotografía 17).



Fotografía 17. Muestra de roca de la formación La Paila analizada petrográficamente.

Esta muestra presenta minerales de formas subredondeadas, con esfericidad media, su tamaño de grano que varía entre 0,02 a 0,3 mm con contacto entre los granos flotantes y borde con borde, presenta porosidad primaria y una selección media. Su composición mineralógica corresponde a 27% de cuarzo, 15% de cemento silicio con óxidos y arcilla, 13% feldespatos - plagioclasa, 12% de minerales arcillosos, 6% de porosidad, 8% de óxidos, también se identificó material orgánico en trazas y 18% de mica y minerales ferromagnesianos como anfíbol y piroxeno (Figura 12).

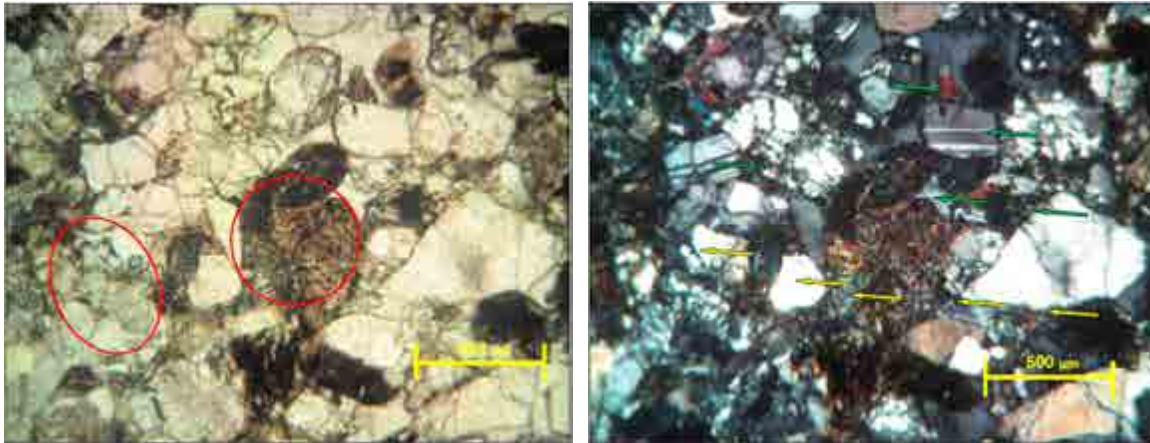


Figura 12. Microfotografías de la sección delgada. Izquierda. Estructura granular con niveles altos de oxidación y granos de cuarzo, líticos, micas y ferromagnesianos de 300µm máximo. Derecha. Granos de cuarzo (flechas amarillas) y plagioclasas y feldespatos en estructura granular (flechas verdes).

En el análisis de mineralogía de arcillas se identificó en la fracción de (2µm) que la roca contiene los minerales arcillosos, a esta lámina orientada se le ha realizado la difracción de rayos X (DRX), (N-EG-550°) - rutina normal, y en los picos a 7, 10, 12, 14Å se interpreta el contenido de minerales arcillosos.

En el difractograma EG (Figura 13), se han semi cuantificado la abundancia relativa: Esmectita, clorita, illita El contenido de esmectita (23.7%) indica que a nivel de la mineralogía de arcillas el material tiene media-alta susceptibilidad a contracción-expansión por cambios de humedad, en relación a los minerales estables como la caolinita, la illita y la clorita. Sin embargo, se trata de minerales esmectíticos mal cristalizados (V/P- % exp. 30%).



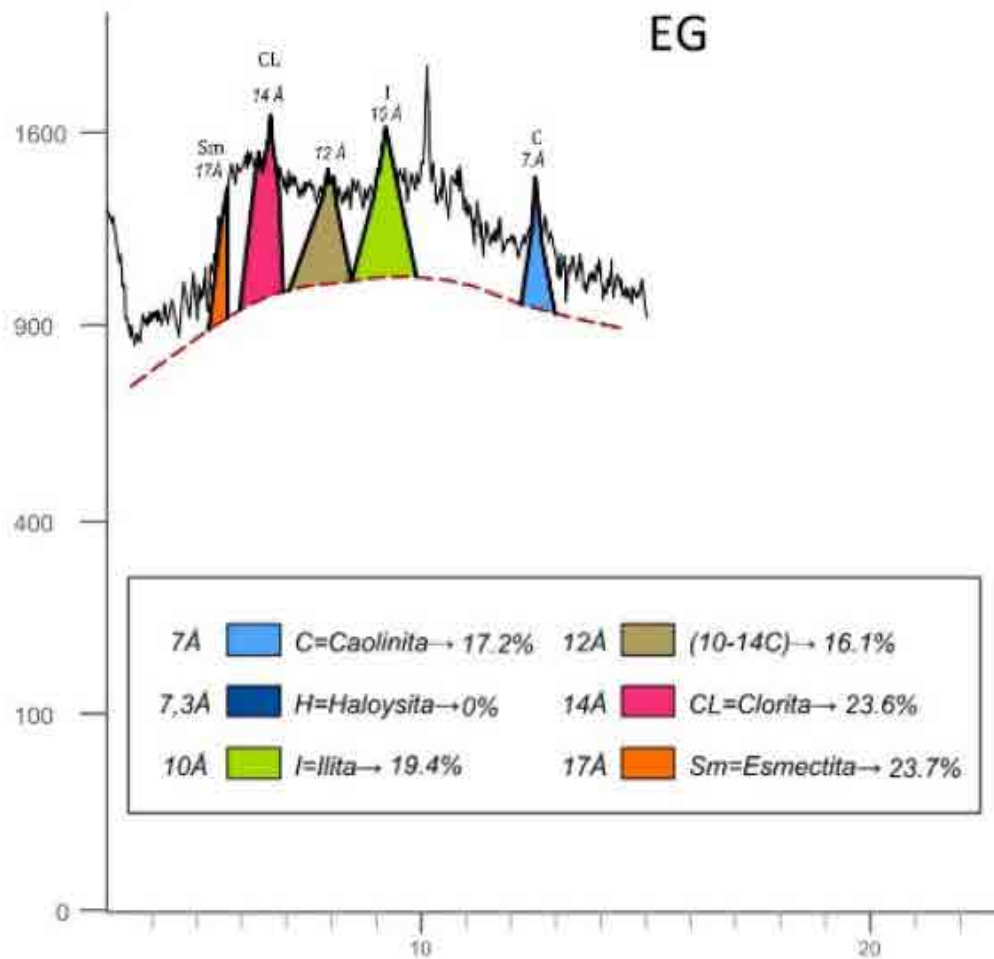


Figura 13. Difractograma de abundancia relativa de los minerales arcilla más abundantes en la roca.

La fracción de 100 µm (Figura 14) presenta contenidos relativos de arcilla, limo y arena fina (Cook 1977), que correlacionados corresponden a un contenido de arcilla del 49.7 % de la fracción fina y de composición Esmectita - clorita principalmente.

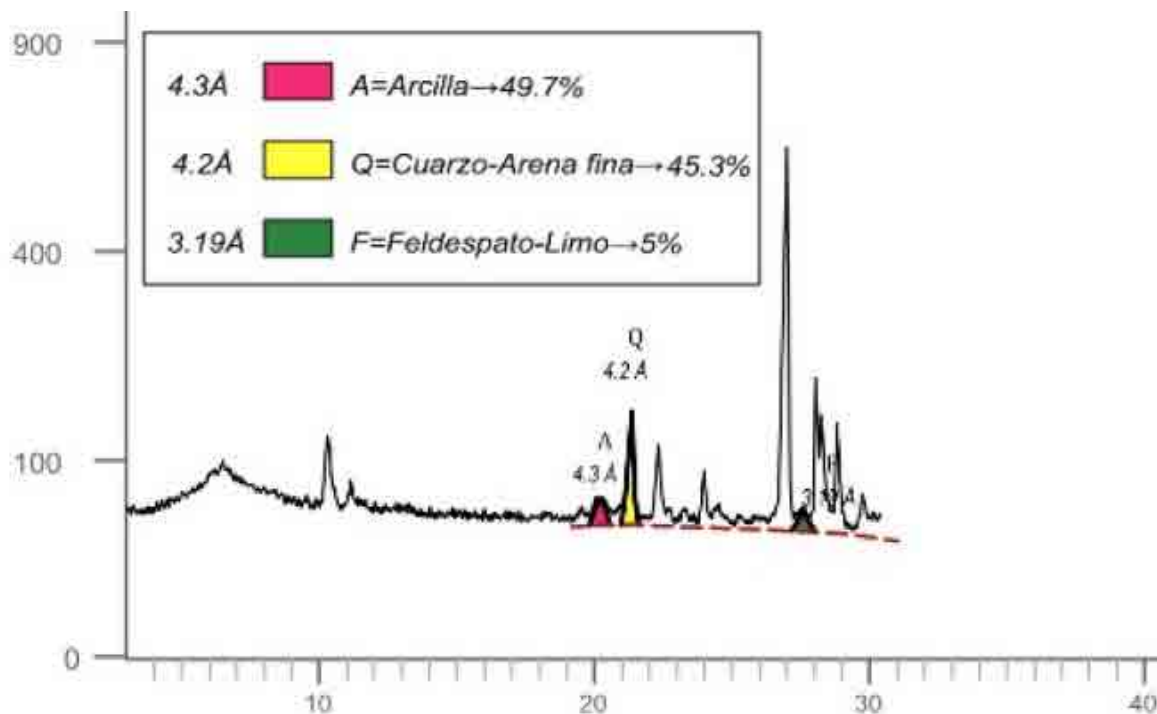


Figura 14. Diagrama de muestra desorientada 100µm de la muestra de la formación La Paila.

#### 5.1.1.4.2 Formación La Pobreza (TMpo)

Esta formación aflora en la zona de influencia entre las torres TVA137 a TVA156N. donde su exposición es muy limitada y los afloramientos identificados muestran una secuencia de conglomerados y areniscas (Anexo D1.1 y Figura 11).

Litológicamente, estas rocas presentan una similitud a las rocas de la parte superior de la la Formación La Paila, sin embargo de acuerdo a la bibliografía se considera como una unidad diferente al encontrarse conglomerados basales sobre el río La Vieja, compuestos por cantos muy gruesos y redondeados de la serie regional de pórfidos y los cuales no han sido observados en la Formación La Paila (INGEOMINAS, 2001).

En el área de caracterización se identifican capas tabulares de espesores entre 5 - 20 cm de areniscas limosas color café, ligeramente meteorizadas y moderadamente fracturadas. No presentan cemento y son friables debido a la exposición a agentes meteorizantes (Fotografía 18).



Fotografía 18. Capas de areniscas tabulares de la Formación La Pobreza.  
E 4671766; N 2053455

También se identifican niveles de ceniza volcánica de color café con nódulos de chert café (Fotografía 19).



Fotografía 19. Niveles de Ceniza de la Formación La Pobreza. E 4667563; N 2043574  
Fuente: Modificado de Consultoría Colombiana S.A., 2018.

El análisis petrográfico realizado a las muestras de la formación Pobreza se identifica que esta corresponde a una roca clástica con influencia volcánica. Presenta estructura Armazón matriz y sólo matriz su textura es clástica y clástica tobácea los tamaños de

grano identificados varían entre 0,002 a 0,03 mm y de 0,002 a 0,2 mm, la muestra tomada en zona de baja pendiente con lomas redondeadas, no presenta contenido de arena solo arcilla y limo con cemento silíceo con óxidos y arcillas. La muestra tomada en zonas con pendientes bajas a moderadas presenta contenido de arena muy fina en una matriz con mayor proporción de granos de esfericidad baja. Las dos muestras presentan porosidad primaria y contenido de materia orgánica en trazas.

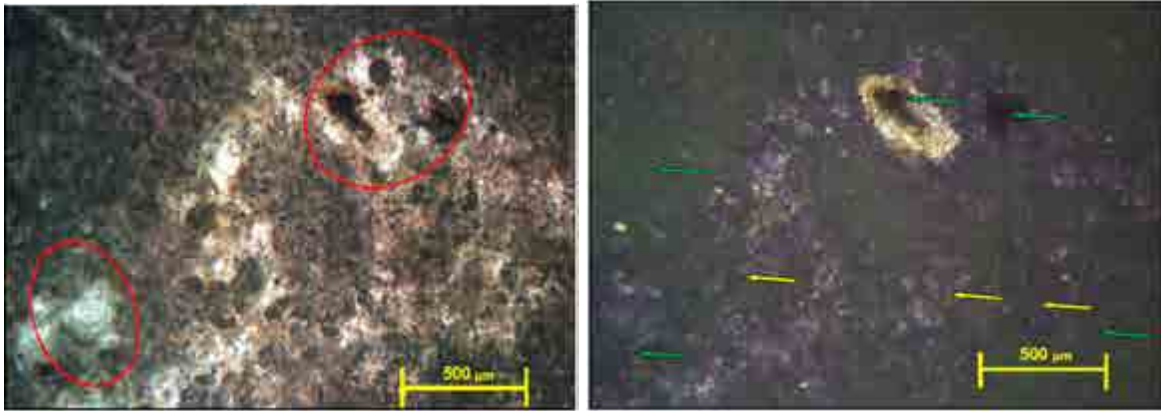
La muestra CV-AV-24 presenta estructura en matriz masiva principalmente como un plasma lodoso homogéneo, en la escala microscópica se presenta con muy baja densidad probablemente por un aporte piroclástico muy fino y alterado a minerales arcillosos la mayor parte (Fotografía 20). La roca está compuesta por plasma arcilloso-limoso menor a 30  $\mu\text{m}$  que forman una masa homogénea de ferriargilan (Fotografía 21). A nivel microscópico se presenta como una lodolita de grano muy fino homogénea y baja litificación con algunos nódulos de hierro y trazas de materia orgánica.



Fotografía 20. Roca sedimentaria clástica de color ocre, suave al tacto, porosa, de baja densidad, tamaño de grano arcilla-limo, con muestras de actividad geomecánica, fractura concoidea y baja litificación.

La alteración es alta debido a la acumulación de óxidos y trazas de materia orgánica que ocupan espacios inter-partículas de origen secundario. La roca presenta una debilidad

muy importante debido a la baja litificación y al contenido de minerales arcillosos. La porosidad es muy baja ya que presenta pequeñas fisuras de la estructura en matriz.



Fotografía 21. Microfotografías de la muestra analizada. Izquierda. Se observa la estructura en matriz con niveles altos de oxidación y algunos cristales de ferromagnesianos muy alterados de 30µm máximo. Derecha. Se observa el pleocroísmo donde las flechas señalan un plasma arcilloso orgánico con alta oxidación, En la parte superior un micro poro relleno con ferriargilan.

La muestra CV-AV-25 presenta estructura esquelética-matriz, con mayor contenido de matriz con granulometrías contrastadas (Arcilla-Limo-arena) (Fotografía 22) y en la escala microscópica plano-paralela separada por niveles de óxidos de hierro. La roca está compuesta por granos de cuarzo de 30 µm máximo relacionados por cemento silíceo-arcilloso muy oxidado y en abundantes filosilicatos que forman una masa homogénea de ferriargilan, sus contactos son en su mayoría flotantes, la orientación se debe básicamente a la litificación durante la diagénesis y al ambiente sedimentario, las escasas micas se presentan como cristales aislados.

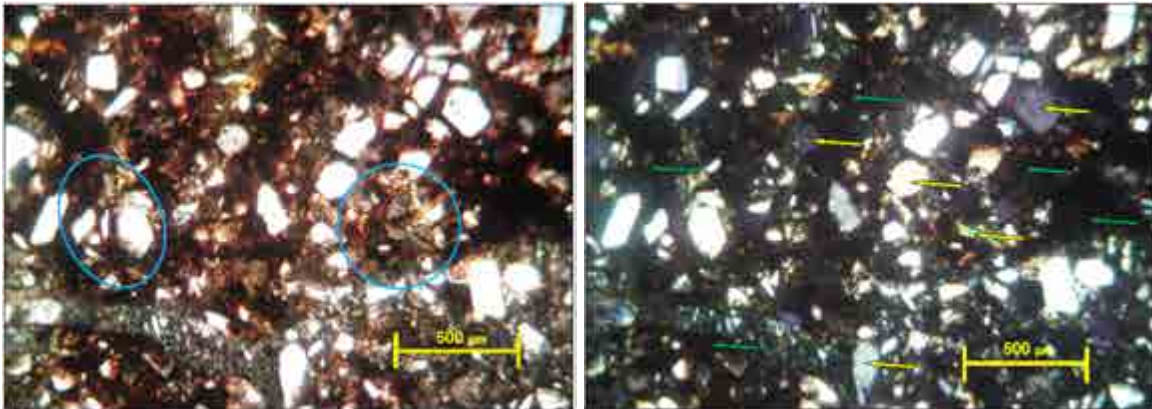




Fotografía 22. Roca sedimentaria clástica con influencia volcánica gris claro, porosa, con actividad microbiomecánica, baja densidad, deleznable, limosa-arenosa. Con minerales oscuros líticos, cuarzo y baja litificación.

La selección es muy baja en cuanto al tamaño y morfología de los granos cuarzo, líticos y cristales ferromagnesianos en general se observa una textura-estructura muy irregular con influencia edafológica. La alteración es alta debido a la acumulación de óxidos y trazas de materia orgánica que ocupan espacios inter-partículas de origen secundario (Fotografía 23). La roca presenta una debilidad muy importante debido a la baja litificación y al alto contenido de minerales arcillosos. La porosidad se presenta como poros-fisuras rellenas por óxidos mezclados con arcillas o materia orgánica.





Fotografía 23. Microfotografías de la muestra de la formación Pobreza. Izquierda. Se observa la estructura esquelética con niveles altos de oxidación y granos de cuarzo en contacto flotantes de 200µm máximo. Derecha. Se identifican granos líticos, cuarzo y ferromagnesianos (flechas amarillas) y matriz arcillosa oxidada (flechas verdes).

En el análisis de mineralogía de arcillas se identificó en la fracción de (2µm) se ha obtenido a partir de una roca sedimentaria que contiene los minerales arcillosos, esta lámina se pasa por difracción de rayos X (DRX), (N-EG-550°) - rutina normal, donde la morfología de los picos a 7, 10, 12, 14Å representan la mineralogía. En el difractograma EG (Figura 15), se han semicuantificado la abundancia relativa, que en orden de contenido son: Illita, clorita y esmectita.

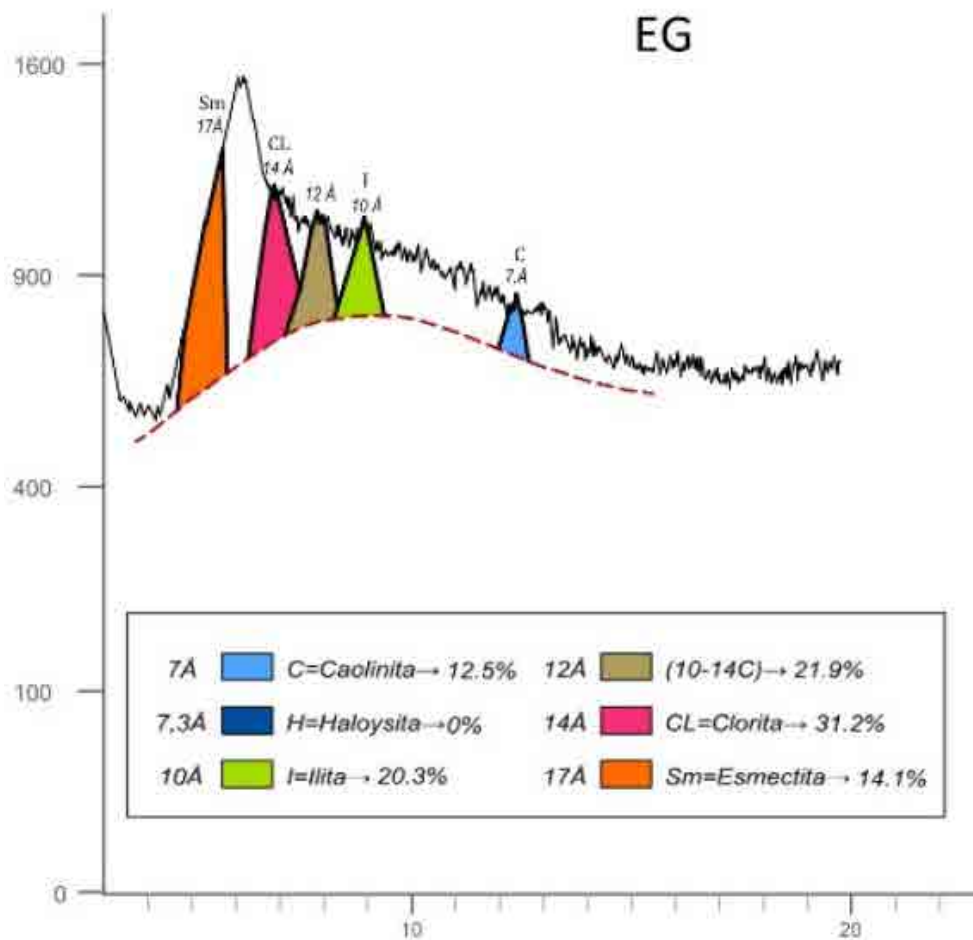


Figura 15. Difractograma de abundancia relativa de los minerales arcilla más abundantes en la roca.

El contenido de esmectita (14.1%) indica que a nivel de la mineralogía de arcillas el material tiene potencial medio de contracción- expansión por cambios de humedad. Se trata de minerales esmectíticos mal cristalizados (V/P-% exp. 30%).

La fracción de 100  $\mu\text{m}$  (Figura 16) presenta contenidos relativos de arcilla, limo y arena fina (Cook 1977), que correlacionados corresponden a un contenido de arcilla del 74 % de la fracción fina y de composición Ilítica-clorítica principalmente.

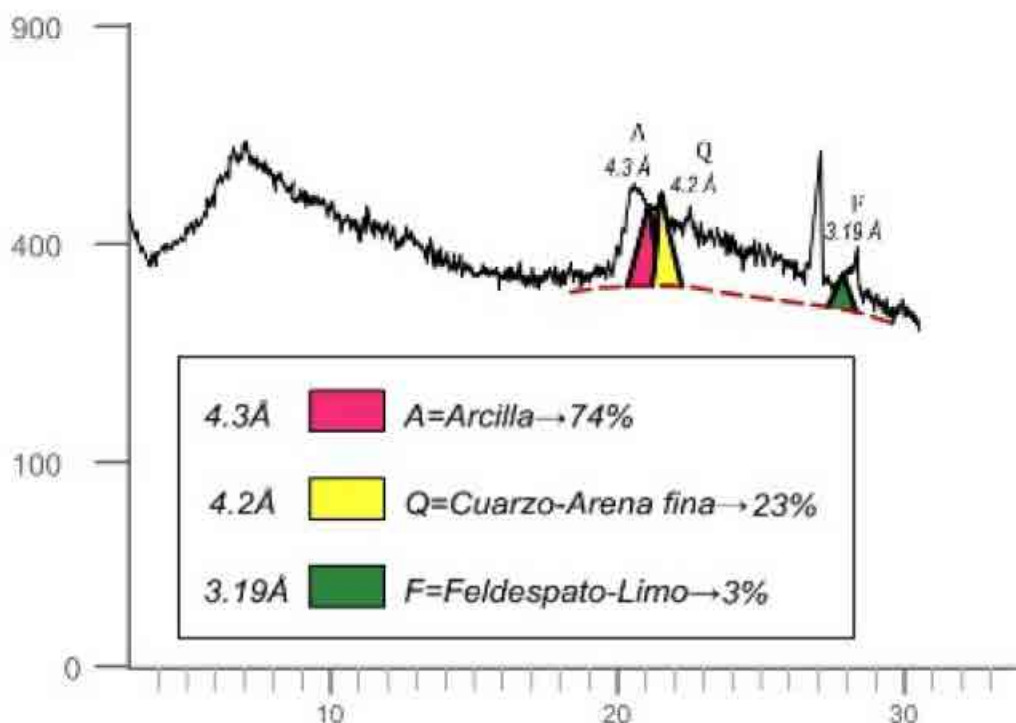


Figura 16. Diagrama de muestra desorientada 100µm de la muestra de la formación Pobreza.

#### 5.1.1.4.3 Formación Zarzal (TPz)

Las rocas sedimentarias de la formación Zarzal son atravesadas por el trazo de la línea entre las torres TVA006V\*, TVA009V\* hasta la torre TVA028. con unas coberturas de depósitos en las torres TVA007V\* , TVA008V\* , TVA008V-A, TVA013. (Figura 7 y Anexo D.1.1)

Esta formación está compuesta por diatomitas, arcillolitas y arenas tobáceas (INGEOMINAS, 2001). Aunque no se han realizado estudios palinológicos directamente sobre la Formación Zarzal es probablemente de edad pliocena (Van der Hammen, 1958; De Porta, 1974). En el área de caracterización se observan afloramientos los cuales principalmente se exponen en los cortes de accesos viales (Fotografía 24).



Fotografía 24. Afloramiento de arcillolitas ligeramente arenosas en corte vial, vía que conduce al municipio de La Victoria. E 4682432; N 2094337

La Formación presenta hacia la base intercalaciones de areniscas y arcillas diatomáceas con espesores variables entre 5 y 15 cm, además de areniscas conglomeráticas. La parte intermedia está compuesta por conglomerados mal seleccionados intercalados con diatomitas y tobas arenosas (Figura 17). Hacia el tope, hay presencia de diatomitas intercaladas con tobas y areniscas con niveles conglomeráticos.



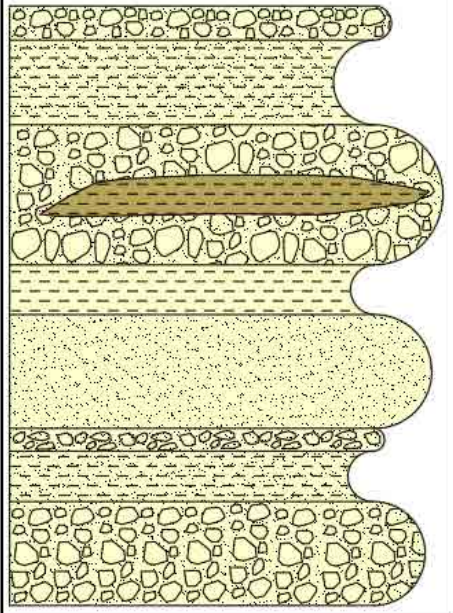
COLUMNA	DESCRIPCIÓN
	<p>Conglomerados en lentes gruesos en matriz arcillo-arenosa.</p> <p>Diatomitas color crema, intercaladas con tobas finas, con laminación.</p>
	<p>Conglomerados con fragmentos tamaño guijos y gujarros, en matriz limo-arenosa. Presenta lentes de diatomitas color pardo.</p> <p>Diatomitas color crema.</p>
	<p>Areniscas de grano medio a grueso en matriz arcillosa, en capas gruesas color crema pardo.</p> <p>Con intercalaciones de lentes conglomeráticos y capas de areniscas de grano medio con contenido de arcilla.</p>
	<p>Conglomerados gruesos mal seleccionados, con fragmentos de material volcánico, en matriz arenosa y arcillosa.</p>

Figura 17. Columna estratigráfica esquemática local de la Formación Zarzal. Tomada en corte de vía que conduce de Cartago a Obando.  
E 4678283,2942; N 2083543,699

En el área de caracterización se observan en algunos afloramientos arenitas tobáceas de grano medio a grueso de color amarillo a crema poco consolidadas, con matriz principalmente de material fino a muy fino, con intercalaciones de conglomerados y lentes de arcillolitas (Fotografía 25).



Fotografía 25. Arenitas tobáceas de la Formación Zarzal. E 4682467; N 2084288



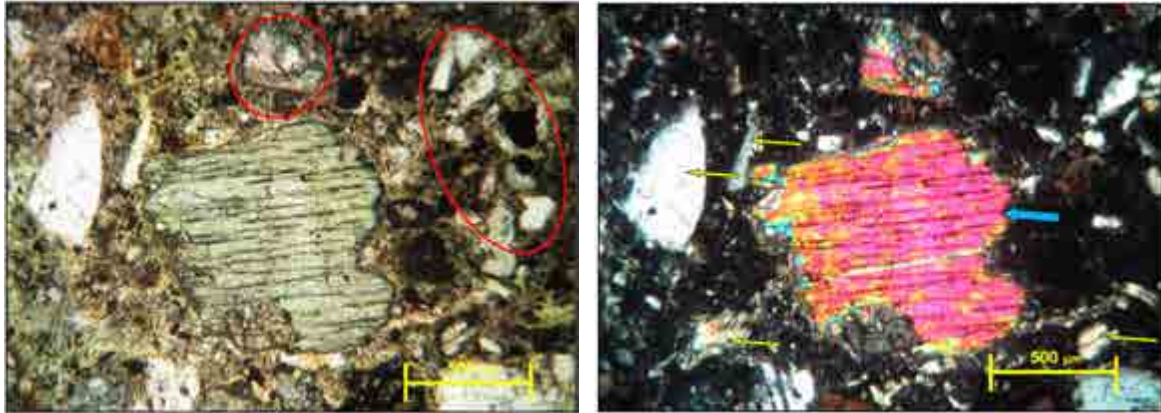
El análisis petrográfico de las rocas de la formación Zarzal muestra estructura esquelético-matriz de grano medio con niveles altos de óxidos de hierro y baja litificación y su textura clástica - tobácea. La roca está compuesta por granos de cuarzo, líticos y cristales de ferromagnesianos de 500  $\mu\text{m}$  máximo relacionados por una matriz-cemento silíceo-arcilloso muy oxidado y con trazas de materia orgánica que forman masa homogénea de ferriargilan, sus contactos son en su mayoría flotantes. La roca tiene carácter tobáceo debido a que varios de sus componentes son de origen volcánico de caída en la cuenca donde se formó la roca (Fotografía 26).



Fotografía 26. Roca volcano-sedimentaria arenosa de color claro ligeramente oxidada y trazas de materia orgánica, poco litificada de grano medio compuesta con cuarzo, líticos, vidrio y cristales ferromagnesianos.

La selección es media en cuanto al tamaño y morfología de los granos en su mayoría cuarzo, plagioclasas, líticos y ferromagnesianos además de los minerales arcillosos y óxidos que forman la matriz. La alteración es alta debido a la acumulación de óxidos y trazas de materia orgánica que ocupan espacios inter-partículas de origen secundario (Fotografía 27). La roca presenta una debilidad muy importante debido a la baja

litificación. La porosidad se presenta como fisuras y espacios entre granos debido a la baja litificación.



Fotografía 27. Microfotografías de la muestra. Izquierdo. Estructura esquelética orientada con niveles altos de oxidación, granos de cuarzo y ferromagnesianos con trazas de materia orgánica dando el aspecto clástico. Derecho. Granos de cuarzo y feldespato aislados en una matriz arcillosa oxidada y un macrocristal de anfíbol indicando el carácter volcano-sedimentario.

En el análisis de mineralogía de arcillas realizado a la muestra CV-AV-11 la fracción de (2µm) ha sido extraída de una muestra de roca que contiene los minerales arcillosos, por esta razón el contenido es representativo de esta fracción y de la cual se obtiene la lámina orientada en la que se realiza la difracción de rayos X (DRX), (N-EG-550°) - rutina normal, donde la morfología de los picos a 7, 10, 12, 14Å representan la mineralogía de arcillas de la muestra, en este caso minerales muy mal cristalizados visibles en el ruido de los gráficos.

En el difractograma EG (Figura 18), se han semicuantificado la abundancia relativa, que en orden de contenido son: Illita y clorita. El contenido de esmectita (4%) indica que a nivel de la mineralogía de arcillas el material tiene muy baja susceptibilidad a contracción-expansión por cambios de humedad, en relación a los minerales estables como la illita. La poca esmectita está muy mal cristalizada (V/P-% exp. 30%).

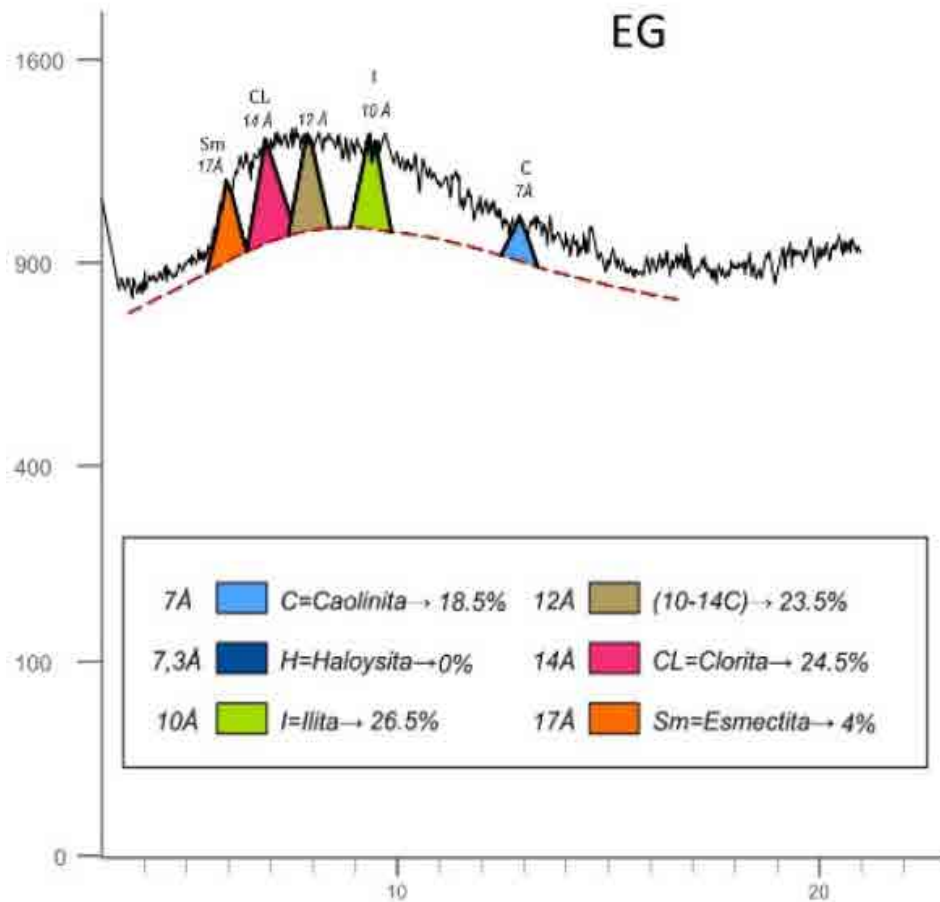


Figura 18. Diffractograma de abundancia relativa de los minerales arcilla más abundantes en la muestra de roca CV-AV-11.

La fracción de 100  $\mu\text{m}$  (Figura 19) extraída también de la muestra total de roca, presenta contenidos relativos de arcilla, limo y arena fina (Cook 1977), que correlacionados corresponden a un contenido de arcilla del 58 % de la fracción fina (illita-clorita).

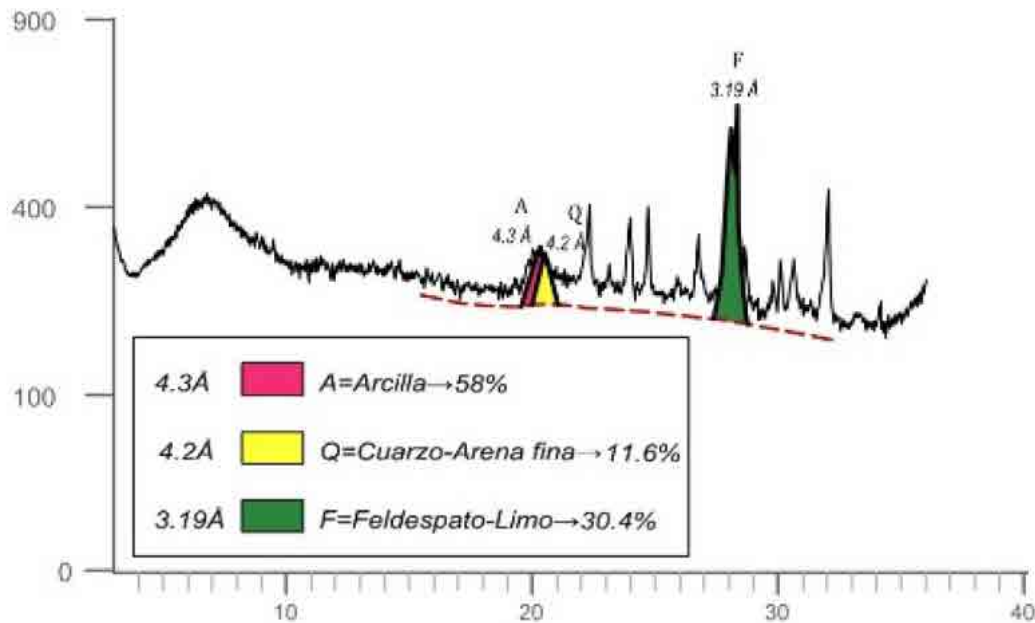


Figura 19. Diagrama de muestra desorientada 100µm de la muestra de la formación Zarzal.

### 5.1.1.5 Cuaternario

#### 5.1.1.5.1 Depósitos de flujos de lodo y cenizas recientes (Qto)

Corresponde a una unidad localizada en el flanco occidental de la Cordillera Central, formada por depósitos de flujo y cenizas volcánicas, los cuales se encuentran suprayaciendo discordantemente formaciones Mesozoicas y Cenozoicas; siguiendo, la paleotopografía de la zona (INGEOMINAS, 1984).

La unidad se encuentra compuesta por rocas piroclásticas, ceniza, lapilli y fragmentos de rocas volcánicas, con presencia ocasional de bloques de litologías ígneas intrusivas y metamórficas. En cuanto a su origen, es de caída gravitacional y fluvio-glaciar (Fotografía 28), ocasionados tras rápidos deshielos de glaciares en cimas volcánicas, tras incisiones de gases y cenizas a través de estos cuerpos, e incluso por derrames de lavas (Figura 25 y Anexo D1.1.).

Estos depósitos se relacionan con el volcanismo reciente de la Cordillera Central, por lo que su edad es calculada entre Pleistoceno superior y Holoceno. Este tipo de material se meteoriza fácilmente generando con facilidad procesos erosivos intensos y es muy susceptible a sufrir procesos de remoción en masa (INGEOMINAS, 1984).



Fotografía 28. Expresión geomorfológica de depósitos de Flujo de lodo y cenizas recientes  
E 4682156; N 2094855

Sobre el trazo de la línea donde se cimentarán las torres TVA001V a TVA008V y TVA013, se evidencia cobertura de este depósito. (Figura 20 y Figura 25)



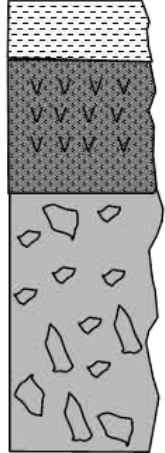
COLUMNA	DESCRIPCIÓN
	<p>Suelo orgánico con presencia de raíces y ceniza volcánica</p> <p>Ceniza volcánica, gris amarillento</p> <p>Flujo de escombros, fragmentos angulares y redondeados de rocas ígneas y metamórficas embebidos en matriz de ceniza volcánica</p>

Figura 20. Columna estratigráfica esquemática de depósito de flujo de lodo y cenizas recientes. E 4680558.750; 2092840.829 N

#### 5.1.1.5.2 Depósitos de Terraza (Qt)

Son depósitos aluviales antiguos del río Cauca. Son depósitos heterogéneos en composición y textura, compuestos principalmente de cantos, guijarros y gravas con cantidades menores de arenas, limos y arcillas; estos materiales reflejan la geología regional de la Cordillera Central. (Fotografía 29) (Figura 21, Figura 25 y Anexo D1.1).

El trazo de la línea entre las torres TVA325VB a TVA328VC1, TVA355VC a TVA365VB, TVA358VA a TVA378VA, TVA404 a TVA462, muestra cobertura de este depósito. (Figura 25 y Anexo D1.1)



Fotografía 29. Expresión geomorfológica de los Depósitos de Terraza (E 4627449, N 19300290).


COLUMNA	DESCRIPCIÓN
	<p>Nivel de suelo limo-arenoso beige a amarillo oscuro con presencia de arcilla</p> <p>Cantos, guijarros y gravas angulares de diversa composición (metabasaltos, rocas gabroideas y rocas ultrabásicas) en menor proporción se presentan arenas, limos y arcillas</p>

Figura 21. Columna estratigráfica esquemática de Depósitos de Terraza.  
 4687506.617 E ; 1919558.863 N

#### 5.1.1.5.3 Conos Aluviales (Qca)

En las márgenes del valle del río Cauca y algunas quebradas cerca del corregimiento de Galicia, existen complejos de Conos Aluviales, compuestos por gravas y gravas arenosas con capas delgadas de arenas. Las partes proximales de los depósitos distalmente presentan un decrecimiento hacia arriba en el tamaño del grano y ocasionalmente algunas gravas arenosas bien seleccionadas de estratificación cruzada relleno de canales locales. Estos depósitos se evidencian en una mayor extensión sobre el alineamiento de la línea de transmisión entre las torres TVA215 a TVA219N, TVA224 a TVA227, TVA320VB1 a TVA324VB, TVA329VC1 a TVA354VC, TVA359VB, TVA360VA, TVA362VA, TVA364VA, TVA366VA, VA379VA a TVA383VA, TVA398 a TVA402. (Fotografía 30 y Fotografía 31) (Figura 22, Figura 25 y Anexo D1.1)



Fotografía 30. Expresión geomorfológica de los Conos Aluviales. E 4653358; N 2012544  
Fuente: GEB. (2018).



Fotografía 31. Expresión geomorfológica de los Conos Aluviales.  
Vista desde E 4641302.595; N 1970148.439.

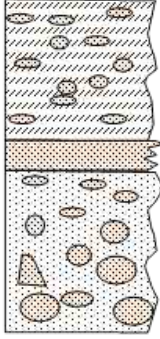
COLUMNA	DESCRIPCIÓN
	<p>Gravas finas, redondeadas, de areniscas en matriz arenolimsosa con presencia de limos</p> <p>Nivel de arena fina con fracciones limo arcillosas</p> <p>Gravas gruesas a finas de diversa composición en matriz arenolimsosa, el tamaño decrece hacia la superficie</p>

Figura 22. Columna estratigráfica esquemática de Conos Aluviales.  
4640492.147 E; 1969321.056 N

#### 5.1.1.5.4 Depósitos Aluviales (Qal)

Los depósitos aluviales son comunes a lo largo de los cauces de los ríos principales, consisten en depósitos clásticos gruesos a muy gruesos, de gravas estratificadas y relativamente bien seleccionadas, gravas arenosas y arenas con lentes de limos. Figura 23

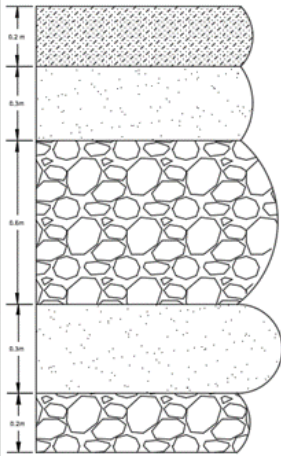
COLUMNA	DESCRIPCIÓN
	<p>Limo arenoso, con fracciones arcillosas, marrón oscuro, con contenido orgánico</p> <p>Arena fina, cuarzosa, gris oscuro con trazas de limo marrón oscuro</p> <p>Gravas y guijos redondeadas de diversa composición, en matriz arenolimsosa marrón</p> <p>Arena fina, cuarzosa, gris oscuro con trazas de limo marrón oscuro</p> <p>Gravas y guijos redondeadas de diversa composición, en matriz arenosa marrón claro</p>

Figura 23. Columna estratigráfica esquemática local de depósito Aluvial.  
Tomada en sector Vereda San Isidro  
E 4637541,649; N 1963535,97

En el área de caracterización se identificaron gravas polimícticas en tanto a tamaño y composición con intercalaciones de arenas y arcillas de color café (Fotografía 32 y Fotografía 33 ) (Figura 25 y Anexo D1.1)



Fotografía 32. Gravas, arenas y arcillas de los Depósitos Aluviales.  
E 4629625; N 19333660



Fotografía 33. Gravas y arenas del depósito aluvial. Margen derecha río Amaime.  
E 4638233.829 ; N 1957933.753

La distribución de este depósito aluvial se evidencia en el sector del alineamiento de la línea entre las torres TVA152 a TVA157, TVA212, TVA269V\*\*, TVA339VC1, TVA403, TVA463 a TVA475 y Pórtico Alférez en cercanías del río Cauca.(Figura 25).



#### 5.1.1.5.5 Depósitos de Derrubio (Qd)

Los depósitos de derrubio frecuentemente están asociados a masas inestables constituidos generalmente por material grueso embebido en una matriz fina, debido al bajo grado de consolidación la resistencia de estos materiales es muy baja sobre todo cuando se desarrollan altas presiones intersticiales generadas por intensas lluvias, o ante eventos sísmicos, en estos casos estas masas se comportan de forma muy inestable especialmente si estos materiales están ubicados en zonas de pendientes topográficas muy empinadas (INGEOMINAS, 1985). Este depósito se evidencia localmente en cercanías de las torres TVA 302 y TVA305. (Fotografía 34) ( Figura 24 y Figura 25).



Fotografía 34. Expresión geomorfológica de los Depósitos de Derrubio. E 4641288, N 1975118 y E 4641050; N 1976474)

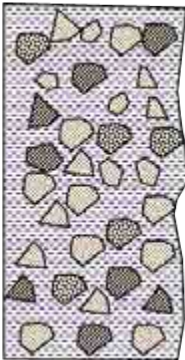
COLUMNA	DESCRIPCIÓN
	<p>Gravas gruesas, con superficies angulares de diversa composición en menor proporción se presenta matriz areno limosa, con poca consolidación</p>

Figura 24. Columna estratigráfica esquemática de Depósitos de derrubio. 4641167.271 E; 1975746.620 N

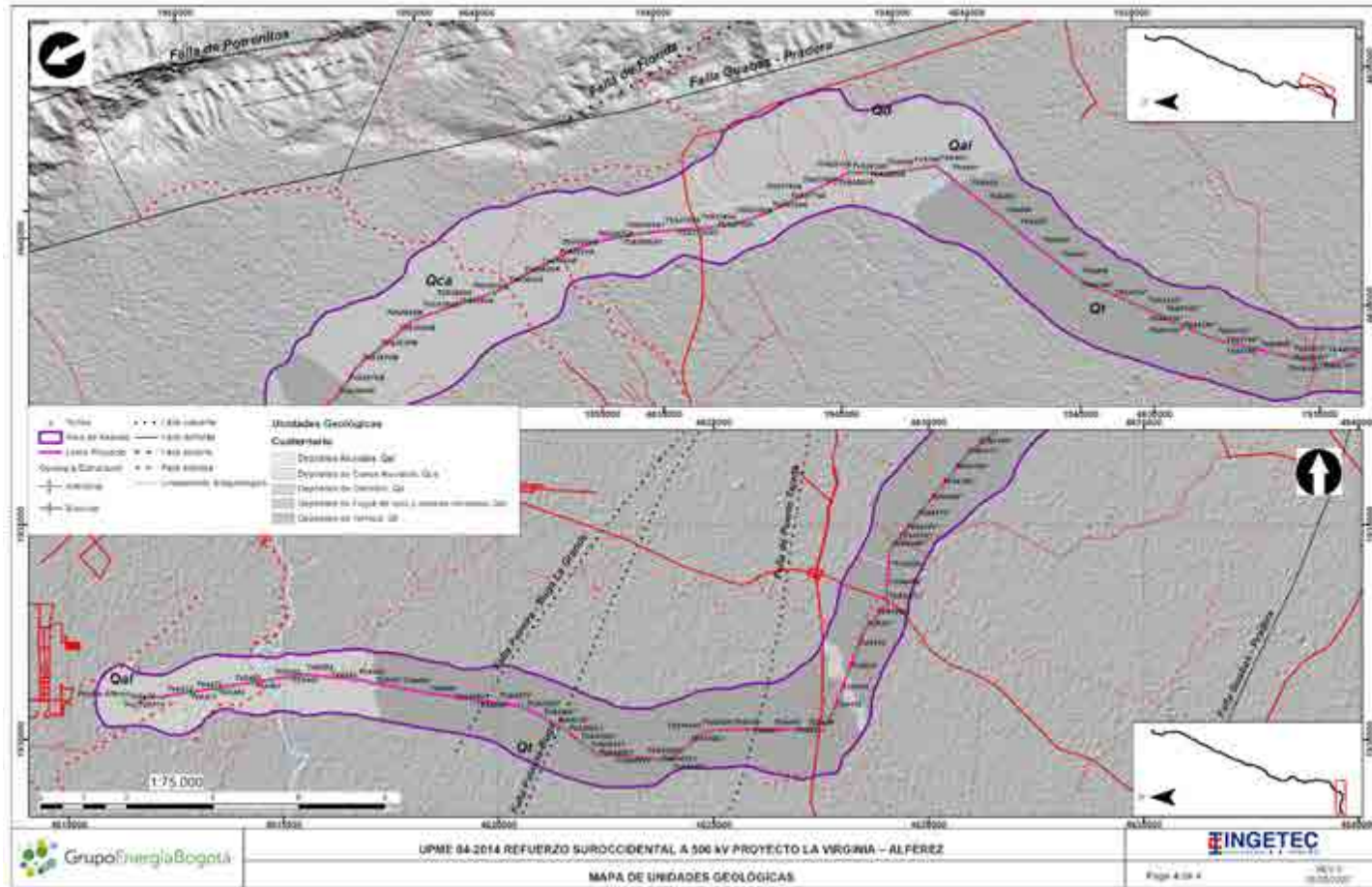


Figura 25. Plano geológico con las unidades cuaternarias distribuidas espacialmente en el área de caracterización.  
 Fuente: Modificado de Servicio geológico Plancha 300, 1985

#### 5.1.1.6 Caracterización de las unidades geológicas superficiales

Para la caracterización de las unidades superficiales de roca (UGS) se tiene en cuenta lo descrito en la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala (SGC, 2017) y la propuesta metodológica para el desarrollo de la Cartografía Geológica para Ingeniería Volumen II, (Padilla y otros, 2004)

La distribución de las unidades geológicas a lo largo del corredor muestran heterogeneidad de materiales, afectados por los diferentes procesos morfodinámicos dando origen a diferentes coberturas de suelo con características variables dependiendo de la roca parental. Para la identificación y clasificación de cada UGS se tiene en cuenta lo descrito en la Nomenclatura Sugerida para Unidades Geológicas, Superficiales (Suelos) (Ingeominas 2004), en ésta se indica una simbología para las unidades geológicas superficiales que están definidas como suelos y rocas con las diferentes subunidades para cada una, se realiza teniendo en cuenta esta clasificación y se toma la unidad mayor para definir la letra de inicio de la nomenclatura. Seguidamente la nomenclatura hace referencia al origen de las diferentes sub - unidades para cada unidad. De acuerdo a lo anterior p.e. Stf indicará suelos (S) transportado (t) de origen fluvial (f). Cuando se pueda definir alguna característica más de la unidad tal como composición o textura se agregara esta información p.e. Stf/gr,ar indicará suelos transportados de origen fluvial de textura gravosa-arenosa. Ver Tabla 4

En el análisis se consideraron los materiales aflorantes asociados a las formaciones geológicas y que se encuentran expuestos a lo largo del corredor de la línea de transmisión como son las Formaciones Zarzal, La Pobreza, La Paila, Cinta de Piedra, Batolito de Buga y el Macizo Ofiolítico de Ginebra, así como los depósitos cuaternarios dispuestos sobre las unidades rocosas.

Se evidencia que a lo largo del área de caracterización las unidades de suelo corresponden a suelos translocados, transportados y residuales. El análisis general se resume en la Tabla 5

Tabla 4. Nomenclatura Sugerida para Unidades Geológicas, Superficiales (Suelos)

Tipo de Material	Unidades	Origen	Tipo de U.G.S	Símbolo/Composición	Simbología Resumida	COLOR	
<b>SUELOS</b>	<b>Transportados (St)</b>	<b>Fluvial (Stf)</b>	Aluviones de lechos fluviales	Stf/al,lm	Stf1	342	
			Llanura de inundación	Stf/L,la,ar	Stf2	66	
			Terraza aluvial	Stf/tz/gr,ar	Stf3	46	
			Abanico/cono-aluvial	Stf/ab-co/gr,ar	Stf4	44	
			Depósitos torrenciales	Stf/dt/bl,gr,ar	Stf5	53	
			Depósitos fluvio torrenciales	Stf/fv/bl,gr,a	Stf6	63	
		<b>Lagunar (Stl)</b>	Depósitos lacustres	Stl/a,ar,lm	Stl1	286	
			Depósitos paludales	Stl/a,lm,tur	Stl2	290	
			Depósitos fluvio-lacustres	Stl/lar,a,gr	Stlfl	300	
		<b>Glaciar (Stg)</b>	Morrenas	Stg/mr/bl,gr,ar	Stg1	40	
			Tilitas	Stg/tl/gr,ar	Stg2	47	
		<b>Fluvio-Glaciar (Stfg)</b>	Abanicos fluvio-glaciares	Stfg/ab/gr,ar	Stfg1	61	
			Terrazas fluvio-glaciares	Stfg/tz/gr,ar,a	Stfg2	58	
		<b>Volcánico (Stv)</b>	Depósitos de ceniza	Stv/c,lm,ar,a	Stv1	127	
			Lapilli	Stv/lp/bl,gr,ar,lm	Stv2	131	
			Tefras	Stv/t	Stv3	130	
			Lahares	Stv/lh/bl,gr,ar	Stv4	133	
			Fujos de proclastos	Stv/fp/gr,ar,lm	Stv5	134	
			Fujos de lodos volcánicos	Stv/flv/ar,lm,a	Stv6	132	
			Ignimbritas	Stv/igni	Stv7	128	
			Coladas de lava	Stv/cl/ar,lm,a	Stv8	129	
		<b>Eólico (Ste)</b>	Depósitos de loesas	Ste/lar,lm	Ste1	110	
			Depósitos de dunas	Ste/dar,lm	Ste2	100	
			Bajanes	Ste/b/ar,lm	Ste3	102	
		<b>Costero (Stc)</b>	Depósitos de deltas	Stc/d/a,ar,lm	Stc1	96	
			Barras	Stc/b/ar,a,bl	Stc2	109	
			Playas	Stc/p/ar,a,lm	Stc3	116	
			Arrecifes	Stc/rm,a,ar	Stc4	108	
			Terrazas	Stc/tz/ar,a,gr	Stc5	40	
			Planicies	Stc/pl/a,lm	Stc6	95	
		<b>Translocado (Str)</b>	<b>Coluvial (Strc)</b>	Coluviones	Strc/ar,a,bl	Strc1	13
				Talus/cono de talus	Strt/bl,cl,gr	Strc2	1
				Derrumbes de pendiente	Strc/bl,fr,gr	Strc3	29
				Fujos (de lodo, tierra y de escombros)	Strc/fl,t,er/ar,gr,lm	Strc4	31
		<b>Residuales (Sr)</b>	<b>De Rocas Sedimentarias (Srs)</b>	S.r. de roca parental de textura clástica cementada y granulometría gruesa areniscas y conglomerados	Srs/ar,cng	Srs1	91
				S.r. de roca parental de granulometría fina; arcillolitas, limolitas y areniscas	Srs/a,lm,ar	Srs2	104
			<b>De Rocas Igneas Intrusivas o extrusivas (Srii-Srie)</b>	S.r. de roca parental de textura cristalina masiva y granulometría gruesa	Srii/ar,lm,a	Srii1	204
				S.r. de roca parental de composición básica y granulometría fina	Srii/a,lm,ar	Srii2	196
			<b>De rocas Igneas Volcánicas (Sriv)</b>	S.r. de roca parental de origen volcánico y granulometría fina a gruesa	Sriv/ar,lm,a,bl	Sriv1	268
			<b>De Rocas Metamórficas (Srm)</b>	S.r. de roca parental de textura cristalina y bien foliada	Srm/a,lm,ar	Srm1	125
				S.r. de rocas parentales de textura cristalina masivas y granulometría gruesa (cuarcita, mármol, neis)	Srm/ar,a,lm	Srm2	120
			<b>Depósitos Antropogénicos (Sa)</b>	<b>Depósitos Antropogénicos</b>	Relenos sanitarios o de basuras	Composición heterogénea	Strab
		Relenos de excavaciones o de escombros o botaderos			Composición heterogénea	Strae	382

Fuente: Tomado de Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geológica para Ingeniería Volumen II (INGEOMINAS, 2004)

Tabla 5. Caracterización de las unidades geológicas superficiales

UNIDAD GEOLÓGICA		LITOLOGÍA	UNIDAD DE SUELO	ORIGEN	TIPO DE UGS	SIMBOLOGÍA	TIPO EROSIÓN
Depósitos de Derrubio	Qd	Material grueso embebido en una matriz fina	Suelo translocado	Coluvial	Derrubios de pendiente	Strc3	Erosión antrópica y Laminar
Depósitos Aluviales	Qal	Depósitos clásticos gruesos a muy gruesos, de gravas estratificadas y relativamente bien seleccionadas, gravas arenosas y arenas con lentes de limos	Suelo transportado	Fluvial	Abanico/cono aluvial	Stf4	Erosión antrópica
Conos Aluviales	Qca	Gravas y gravas arenosas con capas delgadas de arenas	Suelo transportado	Fluvial	Abanico/cono aluvial	Stf4	erosión laminar
Depósitos de Terraza	Qt	Depósitos aluviales antiguos	Suelo transportado	Fluvial	Abanico/cono aluvial	Stf4	Erosión laminar



UNIDAD GEOLÓGICA		LITOLOGÍA	UNIDAD DE SUELO	ORIGEN	TIPO DE UGS	SIMBOLOGÍA	TIPO EROSIÓN
Flujos de lodo y cenizas recientes	Qto	Rocas piroclásticas, ceniza, lapilli y fragmentos de rocas volcánicas, con presencia ocasional de bloques de litologías ígneas intrusivas y metamórficas	Suelo translocado	Coluvial	Flujos (de lodo, tierra y de escombros)	Strc4	Erosión laminar y antrópica
Formación Zarzal	TPz	Volcano-Sedimentaria (diatomitas, arcillolitas y arenas tobáceas)	Suelo residual	De rocas ígneas volcánicas	Suelo residual de roca parental de origen volcánico de granulometría fina a gruesa	Sriv1	Erosión Antrópica
Formación La Pobreza	TMpo	Sedimentaria (Areniscas limosas friables)	Suelo residual	De rocas sedimentarias	Suelo residual de roca parental de granulometría fina, arcillolitas, limolitas y areniscas	Srs2	Erosión Laminar

UNIDAD GEOLÓGICA		LITOLOGÍA	UNIDAD DE SUELO	ORIGEN	TIPO DE UGS	SIMBOLOGÍA	TIPO EROSIÓN
Formación La Paila	TMp	Sedimentaria - Volcánica (Conglomerados, areniscas y algunos niveles piroclásticos).	Suelo residual	De rocas sedimentarias	Suelo residual de roca parental de textura clástica cementada y granulometría gruesa, areniscas y conglomerados	Srs1	Erosión Antrópica, Erosión Laminar, flujo de detritos.
Formación Cinta de Piedra	Toqp	Sedimentaria (areniscas, arcillolitas y conglomerados)	Suelo residual	De rocas sedimentarias	Suelo residual de roca parental de textura clástica cementada y granulometría gruesa, areniscas y conglomerados	Srs1	Erosión Antrópica
Batolito de Buga	Kcd-t	Intrusiva	Suelo residual	De rocas ígneas intrusivas o extrusivas	S.r. De roca parental de textura cristalina masiva y granulometría gruesa	Srii1	Erosión Laminar y Antrópica

UNIDAD GEOLÓGICA		LITOLOGÍA	UNIDAD DE SUELO	ORIGEN	TIPO DE UGS	SIMBOLOGÍA	TIPO EROSIÓN
Macizo Ofiolítico de Ginebra	Jkoga	Roca metamórficas (anfíbolitas, rocas gabroideas y rocas ultrabásicas (piroxenitas y peridotitas).	Suelo residual	De rocas Metamórficas	S.r. De Roca parental de textura cristalina masiva y bien foliada	Srm2	Erosión Antrópica y erosión laminar

### 5.1.2. Geología Estructural/Téctónica

Teniendo en cuenta los lineamientos de los términos de referencia TdR- 17, para el desarrollo de este numeral se realiza a partir del ajuste de la información existente con control de campo e interpretación de Modelo Digital de Elevación para las estructuras que se identifiquen en la zona que puedan tener relevancia en el proyecto.

La geología estructural del área caracterizada comprende un área de influencia indirecta amplia (área de caracterización), la cual ha sido delimitada bajo los mismos parámetros que en la litología; por lo tanto se caracteriza un área que muestre el contexto estructural regional para el área de impactos del proyecto, donde se reconocen por lo menos tres etapas de deformación: la primera, intrínseca de rocas Paleozoicas del Oriente Colombiano, corresponde el evento de generación de rocas metamórficas, la segunda reflejada en las rocas Cretácicas ígneas, donde se evidencia una foliación o clivaje milonítico y, la tercera que afecta a todas las rocas Paleozoicas y Cretácicas por la presencia de fallas inversas de vergencia E-W acompañadas de plegamientos suaves de los planos de foliación y en las rocas Paleogenas por pliegues amplios con vergencia hacia el occidente (INGEOMINAS, 2001).

La tercera fase se reconoce en rocas, como lodolitas y limolitas, donde la presencia de foliación es oblicua, llega incluso a obliterar la superficie de estratificación. En las arenitas líticas la deformación genera pliegues menores asimétricos, además se observa reorganización intergranular. En las rocas más competentes como basaltos y arenitas cuarzosas, es menos común la deformación penetrativa (INGEOMINAS, 2001).

#### 5.1.2.1 Fallas y lineamientos

La interacción de las fases de deformación que ha sufrido la zona ha generado un sistema complejo de fallas regionales, en las que predominan tres direcciones principales. Estas estructuras se enmarcan en los trenes principales de fallamiento de la zona los cuales corresponden a los sistemas de fallas del Cauca y del Romeral.

Las fallas regionales principales que limitan los bloques principales presentan movimientos múltiples y complejos y también pueden presentar fallas inversas de alto ángulo, junto con algunas fallas con componente lateral principalmente dextral que presentan direcciones preferenciales E-W. Figura 26

Dentro de las fallas regionales como se indicó anteriormente se encuentran los grandes sistemas del Cauca y del Romeral. Como dirección principal de fallas que cortan el corredor energético se encuentran las fallas con dirección NNE y N-E, y como fallas secundarias y terciarias las que presentan dirección preferencial E-W y NW- SE.

Las fallas N-S se presentan como zonas de cizallamiento regional principalmente con movimientos horizontales de sentido derecho (Dextral Wrench Faults) restringidos a la Cordillera Central. Estas zonas de cizallamiento se interpretan como estructuras relacionadas con el movimiento principal del Sistema de la Falla Romeral, como fallas de rumbo (Strike-slip-fault) en el Terciario inferior y las fallas NE-SW probablemente están relacionadas al mismo evento. Sin embargo es probable que las fallas E-W representan estructuras antiguas, paleofallas de transformación, que han sufrido reorientación y desplazamiento por movimientos recientes de los sistemas de fallas N-S.

#### 5.1.2.1.1 Sistema de Fallas de Romeral

Es uno de los sistemas de fallas más activos y continuos en Colombia que involucra todo un conjunto de fracturas paralelas en el occidente de Colombia. El número de fallas que comprenden el ancho del sistema en el área de caracterización dentro de las cuales se encuentran las fallas Quebradagrande, Potrerillos y Guabas-Pradera.

Este sistema de fallas de casi 700 km de longitud se compone, en el área de caracterización del trazado del Sistema de transmisión de energía eléctrica, de tres fallas regionales paralelas que forman la zona de transición entre rocas oceánicas al oeste y rocas continentales al este. La geología del dominio occidental consiste en un cinturón ofiolítico con rocas oceánicas gabraicas, basálticas y sedimentarias del Cretácico. El dominio oriental consiste principalmente en rocas esquistosas, oceánicas y continentales metamórficas continentalizadas, principalmente de la edad Paleozoica; cabe resaltar que no todas las litologías se encuentran en el área de caracterización.

El sistema de fallas Romeral forma un cinturón deformado de 20 a 40 km de ancho que es paralelo a la vertiente occidental de la Cordillera Central de Colombia; con una dirección preferencial de N 16-17,6 ° E y un buzamiento promedio de 65° E. el sentido del movimiento en la zona de análisis es principalmente sinextral.



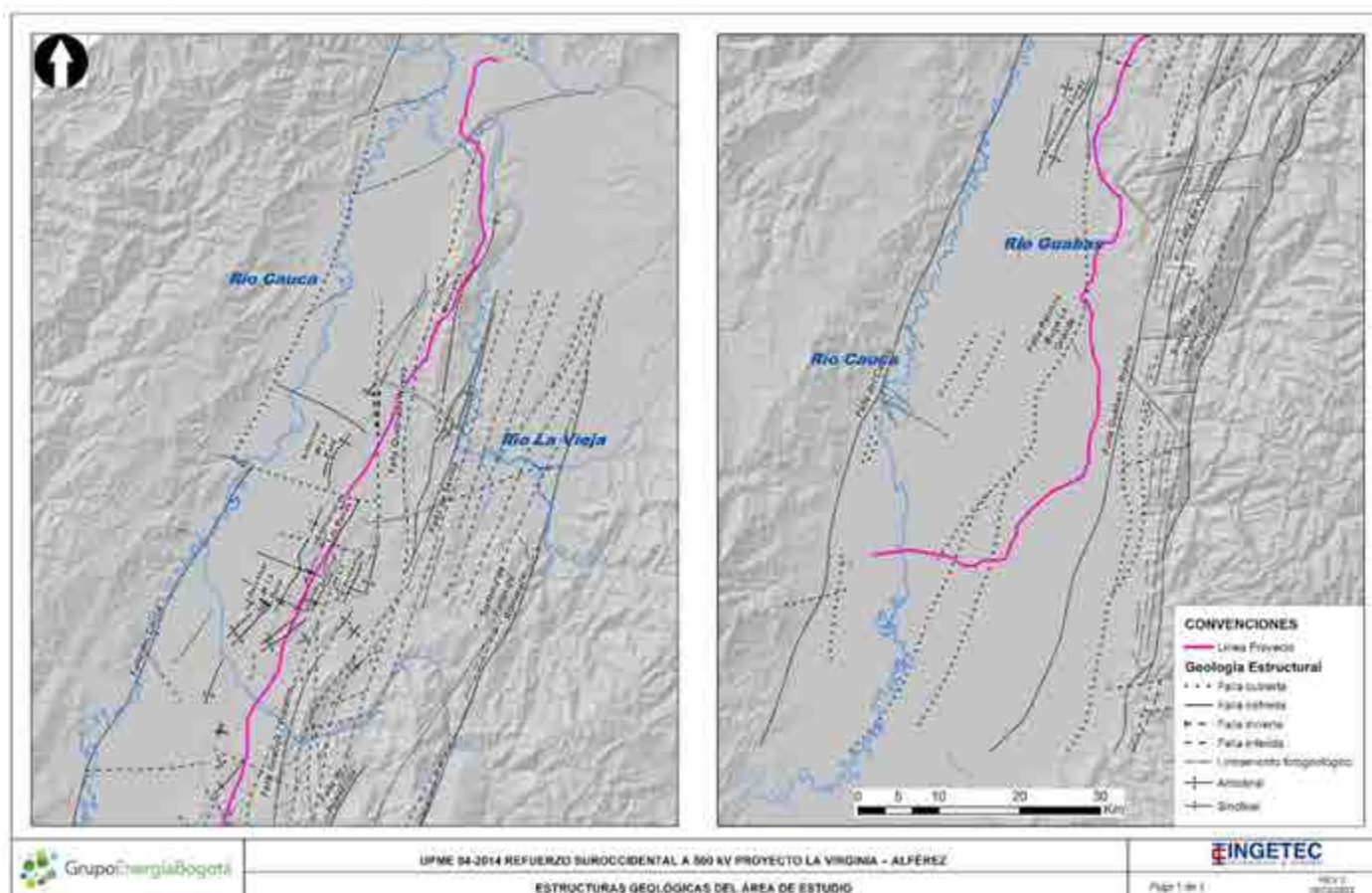


Figura 26. Identificación de estructuras principales (fallas y lineamientos) en el área de caracterización de la línea de transmisión

#### 5.1.2.1.2 Fallas en dirección preferencial N 20-30°E

Las fallas que presentan rumbo preferencial N20-30°E corresponden a las estructuras principales que dominan el área de caracterización del sistema de transmisión de energía eléctrica. Entre estas se encuentran:

- Falla Quebrada Nueva: su trazo se localiza al inicio de la línea de transmisión, cortando el alineamiento de ésta entre los sitios de las torres TVA030 y TVA031, más al sur entre las torres TVA114 y TVA115 (Figura 7). Corresponden a una falla de cabalgamiento que pone en contacto los sedimentos de la formación La Paila con la formación Cinta de Piedra. Se extiende desde el río La Vieja hacia el sur donde su traza se entrelaza con otras fallas del Sistema de Romeral. De acuerdo a las observaciones de campo (Gomez, 1970) indica que presenta un buzamiento aproximado de 70° con vergencia al Oeste.
- Falla Potrerillos y Potrerillos río La Vieja: Esta falla hace parte de las fallas del sistema Romeral, presenta un trazo de aproximadamente 140 km, el cual en gran parte es paralelo al trazo de la línea de transmisión a distancias que varían de 6 a 14 km al este. Paris y Romero (1994) la describen como una estructura en la base del frente montañoso de la Cordillera Central hacia la depresión del Valle con escarpes hasta de 15 metros de altura por varios kilómetros de longitud en abanicos aluviales del Pleistoceno, asociando a esta estructura desplazamientos de corrientes, silletas y facetas triangulares.
- Falla Guabas-Pradera: su trazo se localiza en la parte Suroccidental del trazado de la línea de transmisión, atravesando los municipios de El Cerrito, Palmira y Pradera. Corresponde a una falla inversa de alto ángulo con componente de rumbo. Su trazo es casi paralelo al de la línea de transmisión con distancias a ésta entre 4 y 11 km, sin cortar el alineamiento.
- Fallas Caicedonia, Sevilla y Holanda: estas estructuras conforman el Sistema de fallas del Romeral, presentan la misma dirección preferencial, sus trazos no son atravesados por el trazo de la línea de transmisión.
- Falla Palmira-Buga: Esta estructura se ha definido como una falla inversa de vergencia oeste (Alfonso et al. 1994). Su trazo se localiza en la parte central de los dos sistemas que existen en el oriente Colombiano. Su traza aparece cubierta, y discurre sobre la línea de transmisión al sur del área de caracterización entre las torres TVA455V\* y TVA454V\*.

- Falla Puerto Tejada: Se localiza en la parte sur del área de caracterización, su traza se encuentra cubierta y pasa por el municipio de Candelaria. Corresponde a una falla inversa de alto ángulo con componente de rumbo, la cual es cruzada por el alineamiento de la línea de transmisión de energía entre las torres TVA441 y TVA442.
- Falla de Florida: Se localiza en la parte Suroccidental del área de caracterización, en los municipios de Palmira y Pradera. Corresponde a una falla inversa de alto ángulo con componente de rumbo que discurre paralelo al trazo energético aproximadamente a 5,0 km al este.
- Falla El Toro: corresponde a una estructura localizada al oeste del trazo de la línea de transmisión. Su trazo tiene una longitud aproximada de 15 km con un rumbo que varía entre N20E y N40E, corresponde a una falla inversa de alto ángulo y vergencia al oeste (W), hace parte del sistema de fallas del Cauca.
- Falla Cauca y Cali - Patía: esta falla presenta varios nombres a lo largo de su trazado, como fallas asociadas geográficamente se tienen los segmentos de falla Melendez, Cascarillal y Golondrinas (Verdugo & Aspden, 1984), que hacen parte de esta zona de deformación en el sector de Cali y la falla Santana al norte de Vijes.
- Sistema de fallas del Río Cauca (Etayo et al., 1983). Corresponde al límite entre la Cordillera Occidental y los valles del Patía al sur y del Cauca al centro y norte del área de caracterización. Por el contraste morfológico fuerte ha permitido ser cartográficamente bien definida. Presenta componente de movimiento inverso con vergencia al occidente y planos inclinados hacia el oriente (Cediel et al., 1998; Cediel et al., 2003; Alfonso, 1993). Referente al trazado se encuentra cerca de este en la zona final de la subestación Alférez.

#### 5.1.2.1.2 Fallas con dirección preferente N 60°-70° E

- Falla Río Verde: esta falla hace relación a las estructuras E-W como posibles paleofallas de transformación que han sufrido reorientación y desplazamiento por movimientos recientes de los sistemas de fallas N-S. INGEOMINAS (1999) describe a la Falla de Río Verde como una falla que interrumpe las fallas del Sistema Romeral y transcurre perpendicular a éstas y coincide con una importante variación en la anomalía simple de Bouguer, mostrando el bloque sur de la falla levantado.

#### 5.1.2.1.3 Fallas con dirección preferente N40° -50° W

Corresponde a estructuras menos frecuentes, sin embargo López et al. (2004a) propone que corresponden a terminaciones en cola del sistema ENE que producen un escalonamiento del sistema NS. En este grupo se encuentran en el área de caracterización del trazado energético las fallas Las Cañas y Vallejuelo además de algunos trazos identificados en el Modelo digital de elevación (DEM) catalogados como fallas o lineamientos.

#### 5.1.2.1.3 Lineamientos

En el área de caracterización se identifican varios lineamientos los cuales presentan las mismas direcciones de las fallas principales (Anexo D.1.1 y Figura 22).

Presentan trazos cortos que en la mayoría de las ocasiones no se conectan a los trazos principales de las fallas ni de los sistemas de fallas regionales.

#### 5.1.2.2 Plegamientos

En la zona de análisis del corredor energético de la línea de transmisión La Virginia - Alférez, se ha identificado un plegamiento moderado a alto que se refleja principalmente en las rocas sedimentarias de edad Terciaria que atraviesa el trazado.

De acuerdo a la bibliografía (Barrero et al., 1969) se sugiere un plegamiento isoclinal de gran escala, evidenciado por el paralelismo que presentan los rumbos y buzamientos de los planos de estratificación, diaclasamientos, y planos axiales de los pliegues a la dirección de las cordilleras y los trenes principales relacionados con el sistemas de fallas del Romeral; sin embargo, la escasez de afloramientos y la cobertura general dificultan la descripción (Figura 27).

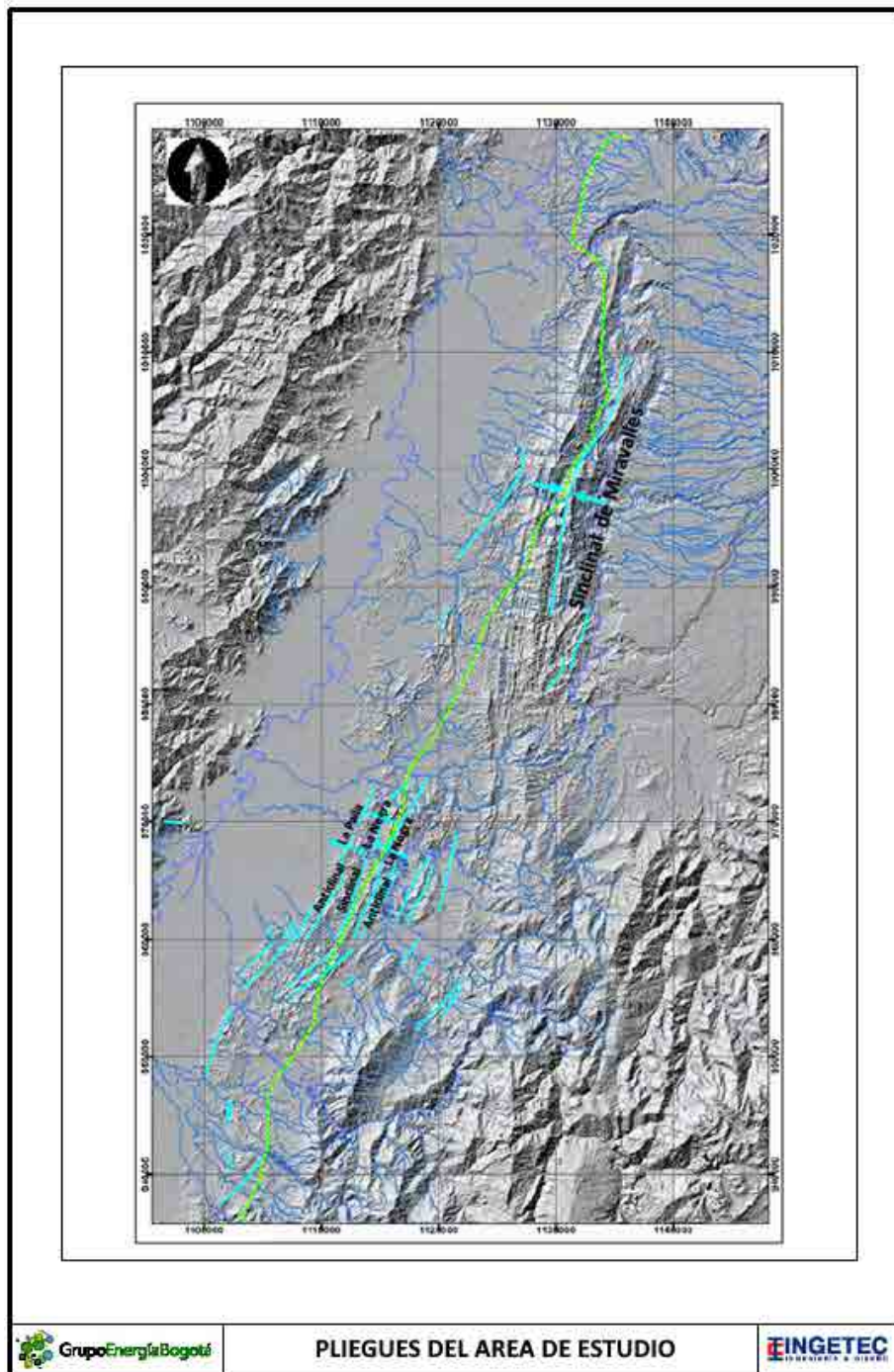


Figura 27. Principales plegamientos en el área de caracterización, en rocas sedimentarias y volcano clásticas.



En el área se pueden apreciar cuatro estructuras plegadas principales que se tendrán como referencia general para la zona, las cuales presentan una continuidad en dirección NNE-SSW, y se describen a continuación.

- Sinclinal de Miravalles: Es una estructura amplia con rumbo regional N10 -18 E sobre las rocas de la Formación Cinta de Piedra, es una estructura sobresaliente geomorfológicamente. Regionalmente presenta un desarrollo variable; los buzamientos medidos en su flanco occidental cambian entre 70°- 45° al oriente, hay algunas zonas donde el flanco está invertido con buzamientos entre 67°- 80° al occidente. El flanco oriental tiene un desarrollo similar con buzamientos menores entre 40° - 30° al occidente. Su eje se observa en sectores paralelo al trazado del sistema energético, donde la zona de las torres TVA047 a TVA057 y TVA071V a TVA118 se encuentran en las laderas del flanco este con buzamientos preferentes al SE; la zona de las torres TVA058 a TVA070 se encuentra en la zona del eje del sinclinal.
- Anticlinal La Paila, Sinclinal de la Negra y Anticlinal la Negra: Estas tres estructuras son amplias con rumbo regional N10-18E sobre las rocas de la Formación Cinta de Piedra, son estructuras sobresalientes geomorfológicamente. Regionalmente presenta un desarrollo variable; los buzamientos medidos en sus flancos cambian entre 70°- 45° al oriente (INGEOMINAS, 1995). Estas estructuras se localizan en la zona del trazo energético entre las torres TVA157 a TVA193.

#### 5.1.2.3 Fracturamiento

Con el fin de evaluar las condiciones estructurales y geológicas de las rocas en donde se localiza la línea de transmisión entre las subestaciones La Virginia y Alferez, se realizó la medición de discontinuidades de los afloramientos encontrados en el trazado. Para llevar a cabo el análisis de estabilidad se ha sectorizado el área por tipo de roca, es decir se analizaron los taludes de las rocas sedimentarias conformados por las unidades; fm. La Pobreza (TMpo), fm. La Paila (TMp) y fm. Cinta de Piedra (Kdi), y las rocas ígneas de las formaciones Batolito de Buga (Kcd-t) y el Macizo Ofiolítico de Ginebra (JKoga). Las cuales presentan comportamientos mecánicos y características particulares de meteorización y espesores de suelo.

### 5.1.2.3.1 Taludes Rocas Sedimentarias

Los taludes de las rocas sedimentarias están conformados por la formación Cinta de Piedra (Tocp) los cuales presentan en área de estudio afloramientos de areniscas de grano fino hasta grueso de color café, rojizas, grises, en capas tabulares gruesas de espesores aproximadamente 4 m, también se observa una alta concentración de hierro en la parte superior de las capas arenosas y conglomerados con una ligera meteorización esferoidal (Fotografía 35) y fracturamiento lo que ayuda a su erosión. Estas rocas presentan un armazón unido por un cemento limoso con contenido ferruginoso susceptible lo que las hace friables. Las altas precipitaciones e invierno en la zona las afectan acelerando su proceso de meteorización.



Fotografía 35. Afloramiento de areniscas ligeramente conglomeráticas con meteorización esferoidal. E 4675157,839, N 2058076,918

Los taludes aflorantes de la formación La Paila (TMp) en el área de caracterización están conformados por variaciones faciales entre conglomerados, conglomerados con intercalaciones de areniscas y arenitas con alternancia de conglomerados. Las areniscas de grano muy fino a grueso de color crema ligeramente conglomeráticas, bien seleccionado y con matriz limosa, friables altamente meteorizables (Fotografía 36).



Fotografía 36. Afloramientos de la formación La Paila arenosas ligeramente conglomeráticas y Alternancia de arenitas y conglomerados.

Así mismo los taludes de la formación La Pobreza (TMpo) corresponden a capas tabulares de espesores entre 5 a 20 cm de areniscas limosas color café, ligeramente meteorizadas y moderadamente fracturadas. No presentan cemento y son fiables debido a la exposición a agentes meteorizantes (Fotografía 37).



Fotografía 37. Capas de areniscas tabulares de la Formación La Pobreza  
 E 14671768,829; N 2053446,267

Con la información colectada en campo, se realiza el análisis gráfico geoestadístico de los datos orientados por medio del software Rocscience geomechanics & research Dips v 5.1, identificando las principales familias de diaclasas que se agrupan y observan en la Figura 28.

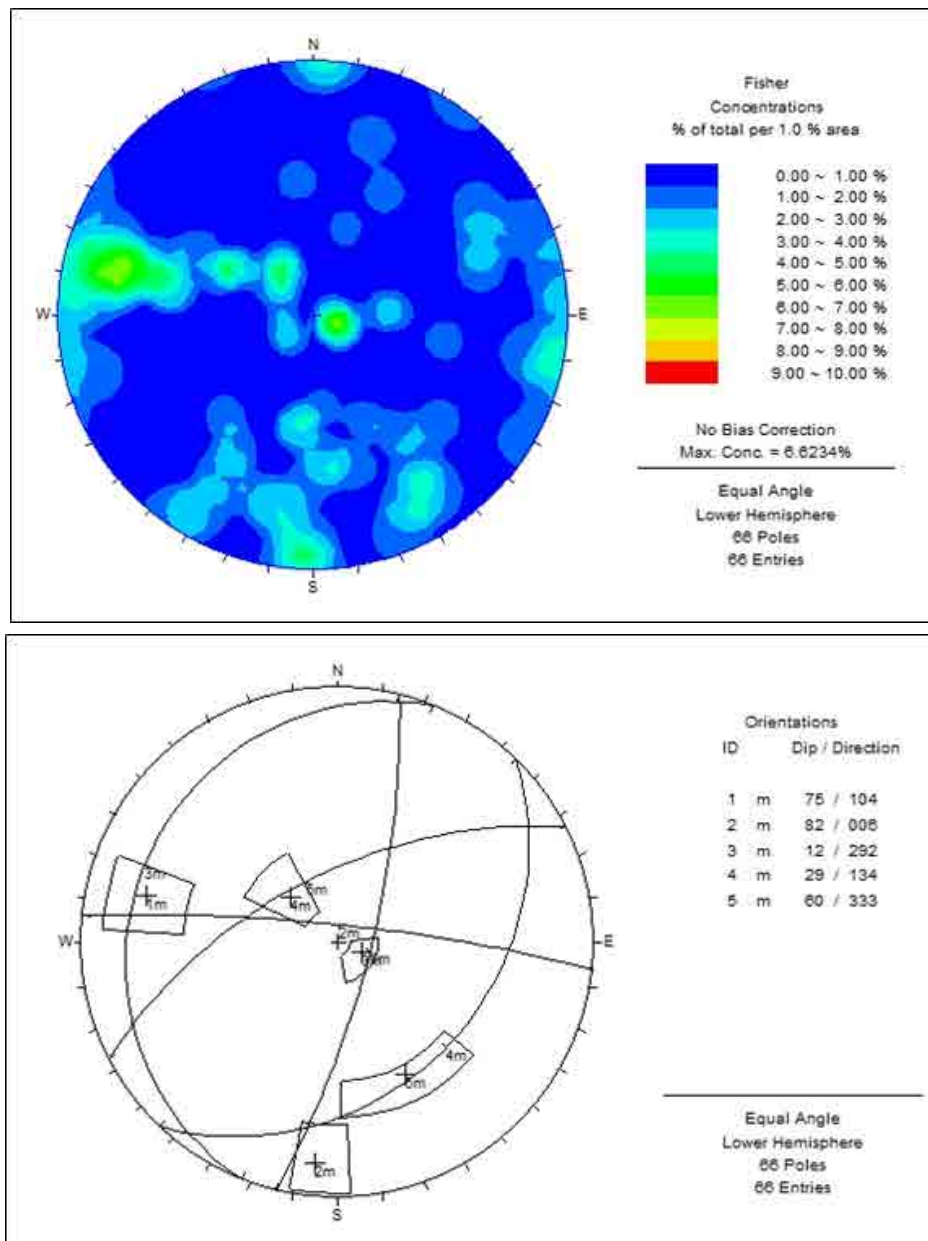


Figura 28. Diagrama de fracturamiento junto con los polos y planos de las diferentes familias de discontinuidades.



Teniendo en cuenta las principales familias de diaclasas resultantes en el análisis, se puede identificar que el grado de fracturación en el macizo rocoso es medio a alto, presentando 5 familias de discontinuidades más la estratificación (Tabla 6 y Figura 28)

Tabla 6. Familias de discontinuidades encontradas en las rocas sedimentarias. Datos obtenidos en afloramientos: 4675157,839 E, 2058076,918 N; 14671768,829 E; 2053446,267 N

Familias en las rocas sedimentarias									
Dip	Dip Direction	Nom.	Espaciado (mm)	Continuidad	Abertura (mm)	Rugosidad	Rellenos		
							Meteorización	Filtraciones	tipo
75	104	J1	Juntas (60-200)	Moderada (3-10m)	Cerradas	Ligeramente rugosas	Meteorizada	Seca	Arena limosa
82	6	J2	Juntas (60-200)	Moderada (3-10m)	Cerradas	Ligeramente rugosas	Meteorizada	Seca	Arena limosa
12	292	J3	Juntas (60-200)	Moderada (3-10m)	Cerradas	Ligeramente rugosas	Meteorizada	Seca	Arena limosa
29	134	J4	Juntas (60-200)	Moderada (3-10m)	Cerradas	Ligeramente rugosas	Meteorizada	Seca	Arena limosa
60	333	J5	Juntas (60-200)	Moderada (3-10m)	Cerradas	Ligeramente rugosas	Meteorizada	Seca	Arena limosa

#### 5.1.2.3.2 Taludes Rocas Ígneas

Los taludes de las rocas cristalinas del Macizo Ofiolítico de Ginebra (JKoga), corresponden gabros y gabroides muy meteorizados, textura granular, faneríticos, inequigranulares, estas rocas tienen una distribución en franjas alargadas en sentido NE-S (Fotografía 38).





Fotografía 38. Afloramiento del Macizo Ofiolítico de Ginebra  
E 4640770,256; N 1945131,479 Fuente: Modificado de GEB, 2018.

En la zona de estudio el Batolito de Buga (Kcd-t) se presentan como un cuerpo irregular, sus taludes están conformados por granodiorita y granitos de color rosado con alto grado de meteorización compuesto principalmente por cuarzo, plagioclasas, y feldespato potásico en mayor proporción (Fotografía 39).



Fotografía 39. Granodioritas del Batolito de Buga. E 4643436,707; N 1995026,339

El grado de fracturación sobre estos taludes es media a alto, presentando 4 familias de discontinuidades y meteorización alta (Tabla 7 y Figura 29).

Tabla 7. Familias de discontinuidades encontradas en las rocas ígneas. Datos obtenidos en afloramientos: 4640770,256 E; 1945131,479 N; 4643436,707 E; 1995026,339 N

Familias en las rocas ígneas									
Dip	Dip Dirección	Nom.	Espaciado (mm)	Continuidad	Abertura (mm)	Rugosidad	Rellenos		
							Meteorización	Filtraciones	tipo
72	227	J1	Juntas (60-200)	Moderada (3-10m)	Cerradas	Ligeramente rugosas	Meteorizada	Seca	limpia
84	289	J2	Juntas (60-200)	Moderada (3-10m)	Cerradas	Ligeramente rugosas	Meteorizada	Seca	limpia
77	128	J3	Juntas (60-200)	Moderada (3-10m)	Cerradas	Ligeramente rugosas	Meteorizada	Seca	limpia
31	339	J4	Juntas (60-200)	Moderada (3-10m)	Cerradas	Ligeramente rugosas	Meteorizada	Seca	limpia

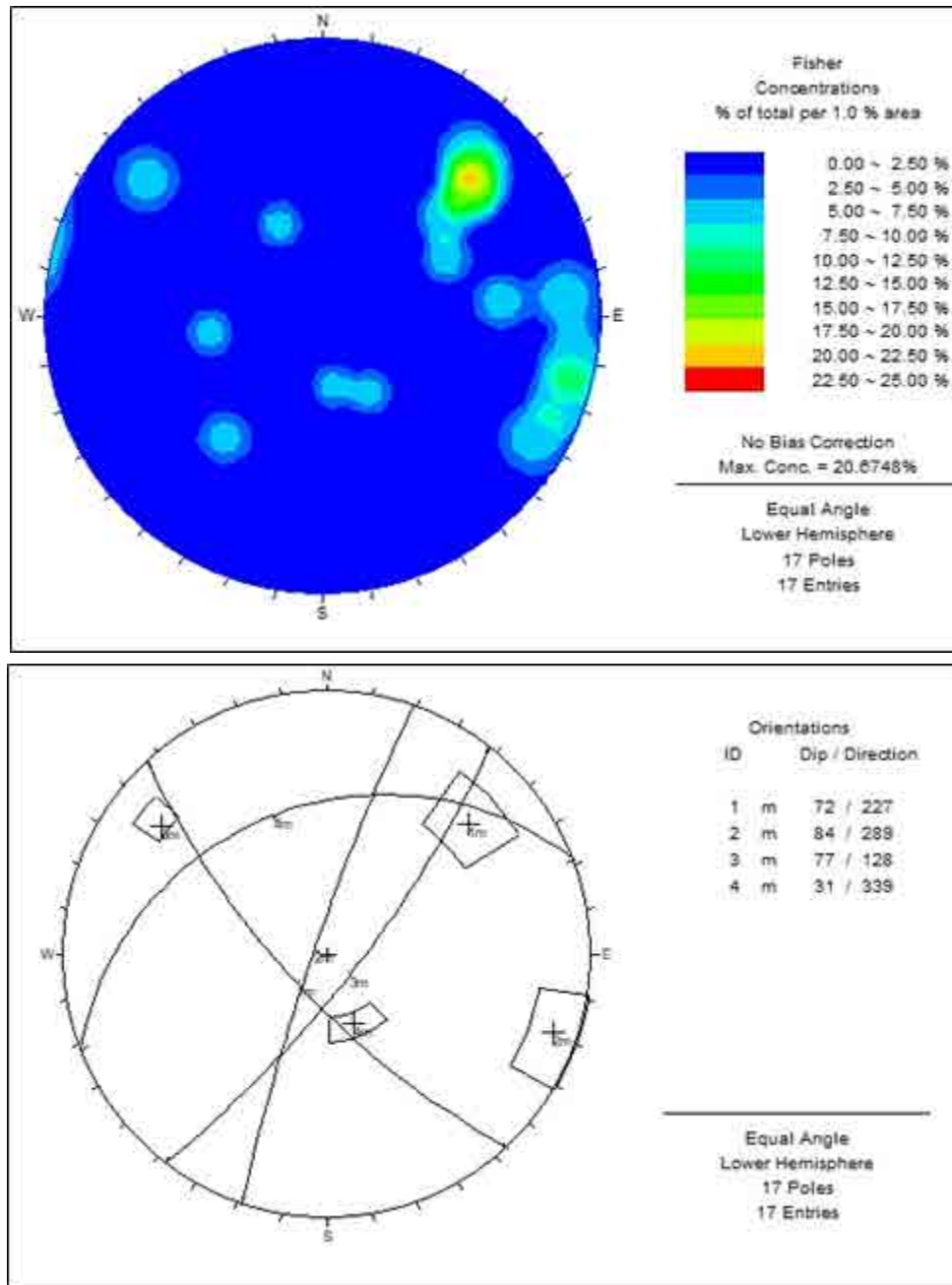


Figura 29. Diagrama de fracturamiento junto con los polos y planos de las diferentes familias de discontinuidades.

---

### 5.1.3 Sismicidad

#### 5.1.3.1 Marco tectónico nacional y fallas o sistemas activos

La tectónica compleja de Colombia es el resultado de su localización en la unión triple de tres placas litosféricas (Cortés y Angelier, 2005), la Placa Caribe, la Placa Nazca y la Placa Suramericana. La interacción entre las placas Caribe y Suramericana se da por medio de una subducción tipo *flat-slap*, mientras que la interacción entre las placas Nazca y Suramericana es por medio de una subducción de ángulo normal-intermedio. Sumado a tal complejidad tectónica-estructural se tiene la colisión arco-continente en el extremo noroeste de los Andes (zona de estudio). Esta situación tiene como resultado una amplia y difusa zona límite de interacción de las placas (Figura 30). Esta zona de alta complejidad tectónica ha sido analizada como una microplaca la cual es conocida como el Bloque de los Andes del Norte (Taboada et al, 2000).

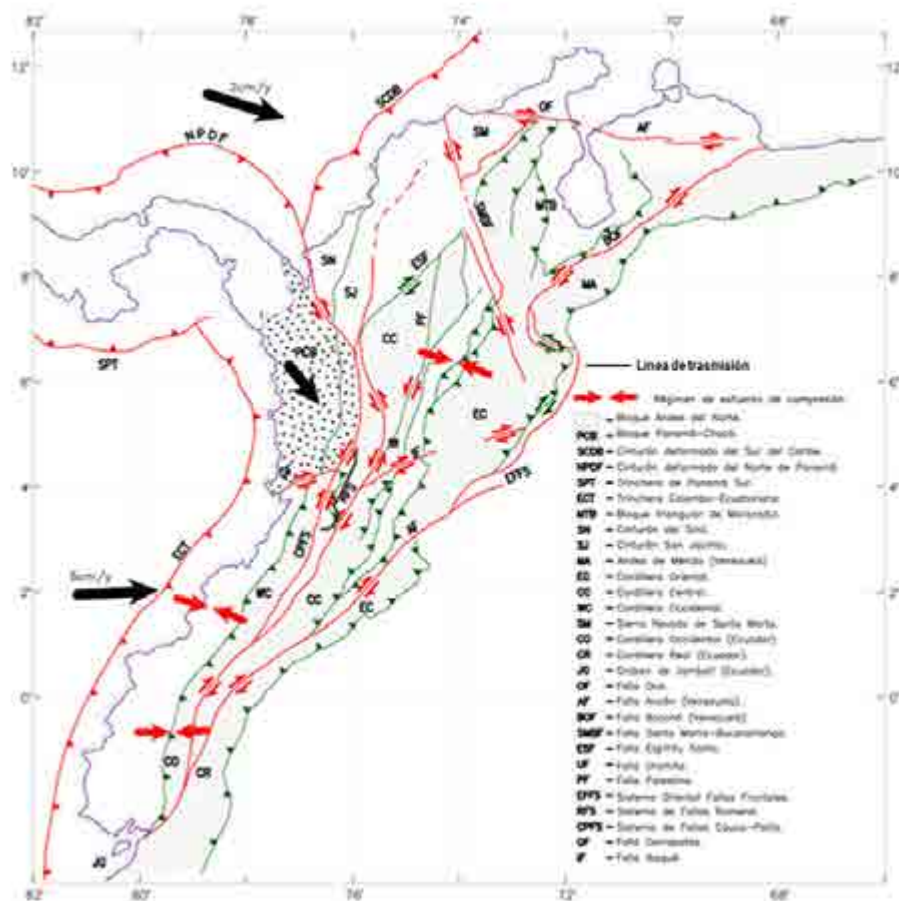


Figura 30. Configuración de la amplia zona de unión triple de las tres placas convergentes oblicuamente en la esquina noroccidental de Suramérica. Orientación del campo de esfuerzos a partir de mecanismos focales.

Adaptado de Cediel et al, 2003 y Cortés y Angelier (2005)

El Bloque de los Andes del Norte es limitado al oeste por la mega-cizalla Romeral - Dolores (zona de falla Cauca – Romeral) y al este por el Sistema Oriental de Fallas Frontales con orientación NE el cual continúa en Venezuela como la Falla Boconó que corre en dirección NE por el eje de la cordillera de los Andes de Mérida (Audemard, 2002). En el norte el bloque es cabalgado sobre la Placa Caribe a lo largo del Cinturón de Deformación del Sur del Caribe. Los sistemas de fallas que limitan el bloque al oeste y al este convergen en Ecuador para finalizar en el llamado Graben de Jambalí en el Golfo de Guayaquil, imprimiéndole al bloque una terminación en forma de cuña. El bloque presenta un escarpe tectónico hacia el NNE a lo largo de las fallas dextro-laterales de su límite



oriental producto de la convergencia en dirección W - E de la Placa Nazca (Taboada et al, 2000; Cediél et al, 2003; Cortés y Angelier, 2005).

Tal como se indica en la sección 5.1.1.1., la zona de análisis se encuentra enmarcada en el Graben Interandino del río Cauca, el cual se encuentra limitado al oeste por el sistema de fallas de Cauca - Patía y al este por el Sistema de fallas de Romeral.

El sistema de fallas de Romeral es el principal sistema de la Cordillera Central en donde se localiza la línea de transmisión Virginia-Alfárez. Este sistema de fallas corresponde a una antigua sutura que pone contacto rocas de afinidad oceánica al occidente con rocas continentales de basamento al oriente, las fallas tienen dirección NNE al suroccidente de Colombia y NS a NNW hacia el norte de la cordillera (Taboada et al., 1998). Los principales segmentos activos y potencialmente activos de este sistema de fallas son; Buesaco, Cauca - Almaguer, Silvia - Pijao, Guabas - Pradera, Quebrada Nueva, Manizales - Aranzazu y Espíritu Santo. Entre las fallas del sistema romeral vale la pena destacar la zona de falla Silvia Pijao que marca el límite occidental del grupo Quebradagrande (basaltos y turbiditas) con las rocas metamórficas del grupo Arquía, y a la cual se le atribuye el sismo del Eje Cafetero de 1999.

Al oeste del área de caracterización se encuentra el flanco oriental de la cordillera occidental, la cual está constituida esencialmente por rocas ofiolíticas del cretáceo superior deformadas en épocas recientes por la convergencia de Nazca en dirección del continente y se caracteriza por sistemas de fallas activas y potencialmente activas cuyas trazas son paralelas a los segmentos del sistema de fallas de Romeral. En inmediaciones a la línea de transmisión se destaca la falla el Toro cuya cinemática es eminentemente inversa y su tasa de actividad oscila entre moderada y baja, y el sistema de Fallas Dagua - Calima que corresponde a una falla normal de traza cóncava hacia el Valle del Cauca.

Con base en el anterior contexto se infiere que la amenaza sísmica de la zona de estudio se encuentra controlada principalmente por la falla Cauca - Almaguer y la zona de falla Silvia - Pijao pertenecientes al sistema de fallas de Romeral. Además, por la cercanía a la costa del océano pacífico se tiene una influencia importante de la zona de subducción, tanto de la sismicidad costa afuera (profundidad menor a 60 km) como de la sismicidad intermedia (Zona de benioff), la cual en inmediaciones a la línea de transmisión presenta un azimut de N40°E y buzamiento de 35° en dirección SE (Taboada et al., 1998).

### 5.1.3.2 Análisis de catálogos sísmicos históricos e instrumentales

Para la definición del nivel de amenaza sísmica en la zona de influencia del proyecto se requiere entender el marco geológico estructural de la zona de estudio y conocer la distribución espacial y características (magnitud, profundidad, mecanismo, entre otros) de los sismos que se han generado a nivel regional. Por lo tanto, en el presente estudio se consultó tanto el catálogo de sismicidad histórica del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2020) y el catálogo de sismicidad instrumental de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC, 2020).

#### 5.1.3.2.1 1 Análisis de catálogo de sismicidad histórica

El estudio de la sismicidad con base en un catálogo histórico permite tener un estimativo de los sismos más relevantes que han ocurrido en los últimos 450 años desde que se cuenta con un registro escrito que permite inferir la intensidad, la magnitud y la localización de un evento sísmico. Es claro que existe incertidumbre con relación a la caracterización de los eventos sísmicos, teniendo en cuenta que esta se realizó principalmente con base en los daños reportados, sin embargo, sí permite caracterizar zonas en las cuales se han presentado sismos de gran magnitud en las que se esperaría que se presenten eventos que puedan generar daño

La Figura 31 presenta el total de los 80 eventos que conforman el catálogo sísmico histórico nacional (SGC, 2020) y un acercamiento en inmediaciones a la línea de transmisión Virginia-Alfárez en donde se observan los eventos cercanos al proyecto de análisis.

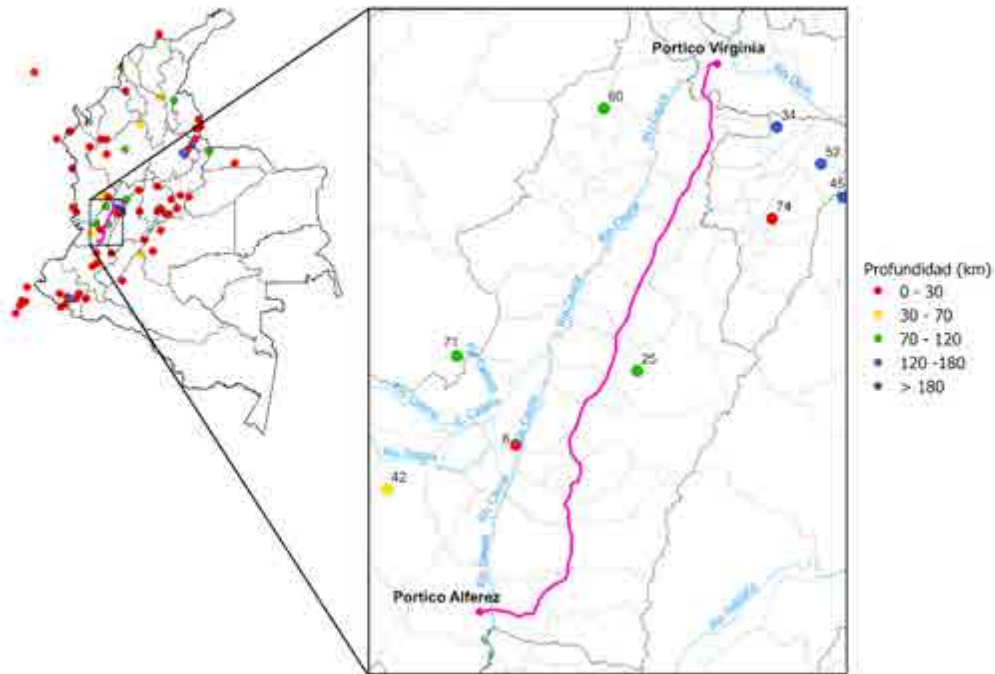


Figura 31. Localización de los eventos sísmicos que conforman el catálogo histórico nacional (SGC, 2020)

En la figura anterior se aprecia un total de 9 eventos en inmediaciones al proyecto de análisis, estos son en su mayoría sismo con profundidad intermedia a profunda asociados con el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa de Suramérica. En la Tabla 8 se presenta un resumen de estos nueve eventos, indicando la fecha de ocurrencia, la localización epicentral, la profundidad y la magnitud.

Tabla 8. Eventos sísmicos del catálogo histórico nacional cercanos al proyecto de análisis.

ID	Fecha	Hora	Latitud (°)	Longitud (°)	Magnitud	Tipo de Magnitud	Prof. (km)	Región
6	1766/07/09	16:00	3,82	-76,40	6,5	M <sub>w</sub>	15	Buga, Valle del Cauca
25	1925/06/07	18:41	4,02	-76,07	6,1	M <sub>w</sub>	120	Tuluá Valle del Cauca
34	1938/02/04	21:23	4,68	-75,69	7,0	M <sub>s</sub>	150	Eje Cafetero, Colombia
42	1957/05/23	21:37	3,70	-76,75	6,1	M <sub>w</sub>	52	Suroccidente Valle del Cauca, Valle

ID	Fecha	Hora	Latitud (°)	Longitud (°)	Magnitud	Tipo de Magnitud	Prof. (km)	Región
45	1961/12/20	8:25	4,49	-75,51	6,8	M <sub>s</sub>	163	Eje Cafetero, Colombia
52	1973/04/03	8:53	4,58	-75,57	6,2	M <sub>w</sub>	150	Salento, Quindío
60	1979/11/23	18:40	4,73	-76,16	7,2	M <sub>w</sub>	110	Eje Cafetero, Colombia
71	1995/02/08	13:40	4,06	-76,56	6,4	M <sub>w</sub>	71	Calima (Darién), Valle del Cauca
74	1999/01/25	13:19	4,43	-75,70	6,1	M <sub>w</sub>	15	Armenia, Quindío

Catálogo histórico nacional (SGC, 2020)

Dentro de los eventos que conforman el catálogo histórico nacional se destaca el sismo del 25 de enero de 1999 en Armenia, Quindío, el cual presenta una magnitud ( $M_w$ ) de 6,1 y profundidad focal de 15,0 km. Este evento conocido como el Terremoto del eje cafetero 1999 ha sido uno de los eventos de mayor afectación en el territorio nacional, ocasionando 921 muertos, 2300 heridos, más de 30000 viviendas afectadas. La torre más cercana a dicho evento es la torre TVA110 con una distancia epicentral de aproximadamente 27,0 km.

De los eventos presentados en la Tabla 8, el sismo de mayor magnitud corresponde al sismo del 4 de febrero de 1938 en el Eje Cafetero, caracterizado como un sismo con profundidad de 150 km y magnitud 7,0 ( $M_s$ ). Es importante aclarar que sismos anteriores a 1972 tienen una mayor incertidumbre en su localización puesto que no se contaba con redes sísmicas internacionales como la del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés). Por lo tanto, tanto la localización como la magnitud de los sismos ocurridos antes de 1972 corresponden al mejor estimativo basado en mapas de isosistas (intensidad) y los reportes de daños o afectación disponibles.

El evento con menor distancia epicentral a la línea de transmisión corresponde al sismo del 7 de junio de 1925 en Tuluá, Valle del Cauca, el cual presenta una magnitud de 6,1 ( $M_w$ ) y una profundidad focal de 120 km. La torre más cercana a este evento corresponde a la torre TVA231 localizada a una distancia epicentral de menos de 8,0 km. Al igual que el sismo de 1938, este evento se encuentra asociado a la zona de Benioff.

### 5.1.3.2.2 Análisis de catálogo de sismicidad instrumental

La consulta del catálogo de sismicidad instrumental de la Red Sismológica Nacional de Colombia se realizó para un polígono entre las longitudes  $-76,80^{\circ}$  y  $-75,60^{\circ}$  y las latitudes  $3,20^{\circ}$  y  $5,20^{\circ}$ , considerando así los eventos que se han presentado a una distancia epicentral de hasta 30 km a los pódicos Virginia y Alférez. Dentro de este polígono se encuentran 11954 eventos sísmicos con magnitudes entre 1,0 (MI) y 6,8 (MI) y 858 eventos con magnitud (MI) mayor o igual a 3,0.

La Figura 32 a Figura 34 presentan la distribución espacial de los epicentros de los eventos con magnitud mayor o igual a 3,0 que hacen parte del catálogo de la RSNC, dentro de estas figuras el alineamiento de la línea de transmisión se presenta mediante una línea continua de color magenta.

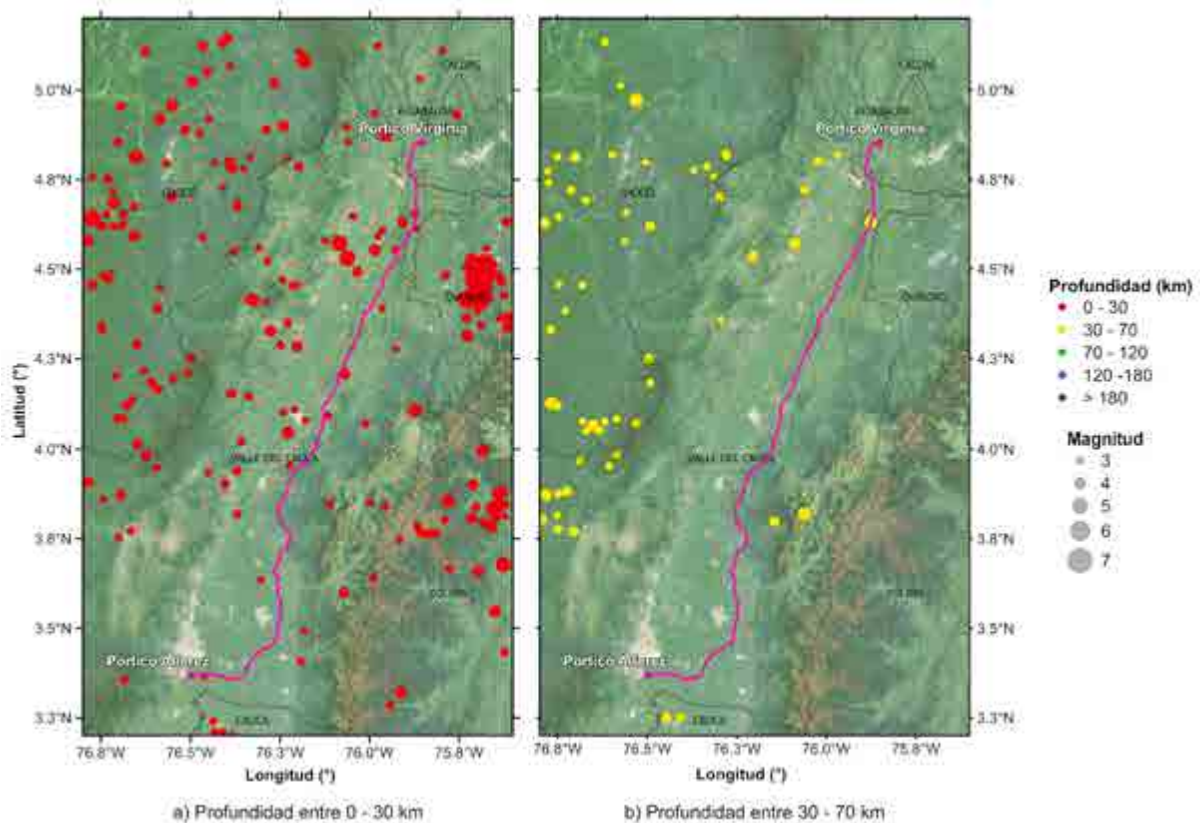


Figura 32. Catálogo sísmico RSNC (1993-2020), sismos con magnitud mayor e igual a 3,0 y con profundidad entre a) 0 y 30 km, b) 30 y 70 km.



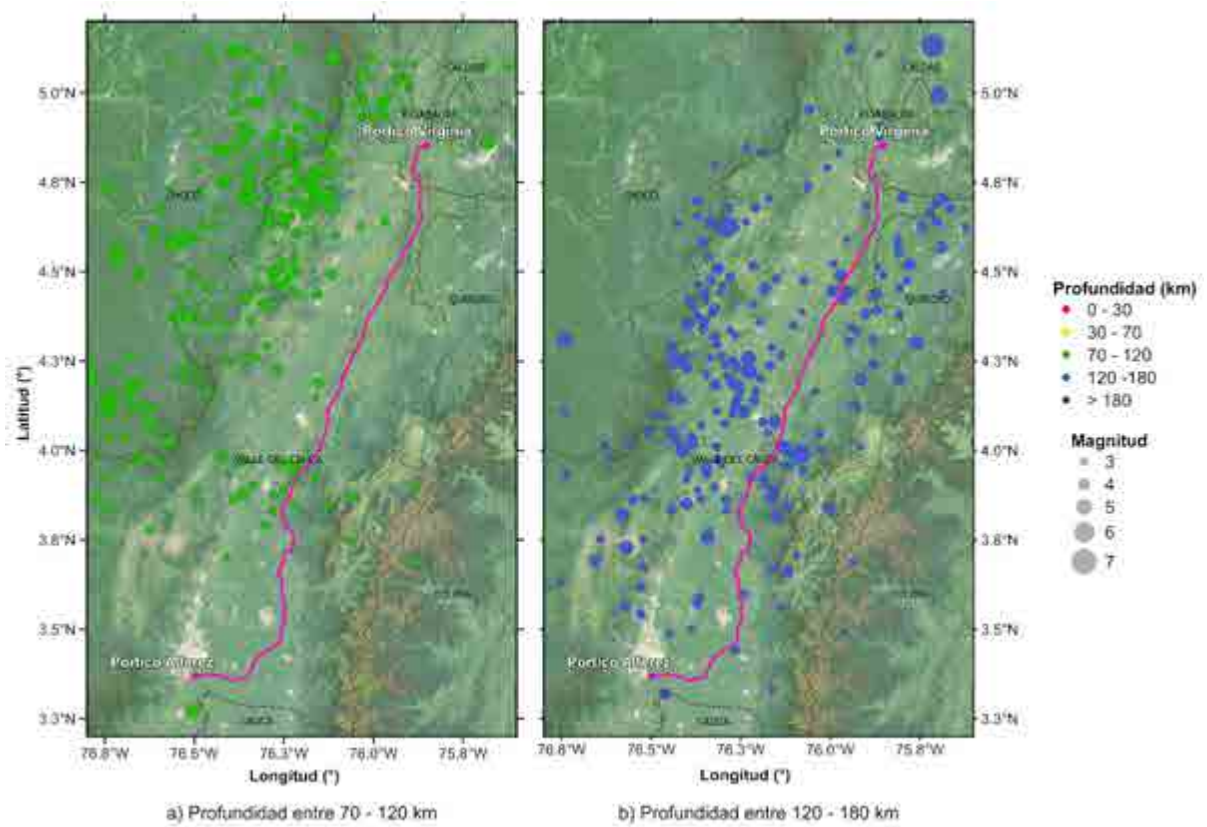


Figura 33. Catálogo sísmico RSNC (1993-2020), sismos con magnitud mayor e igual a 3,0 y con profundidad entre a) 70 y 120 km, b) 120 y 150 km.

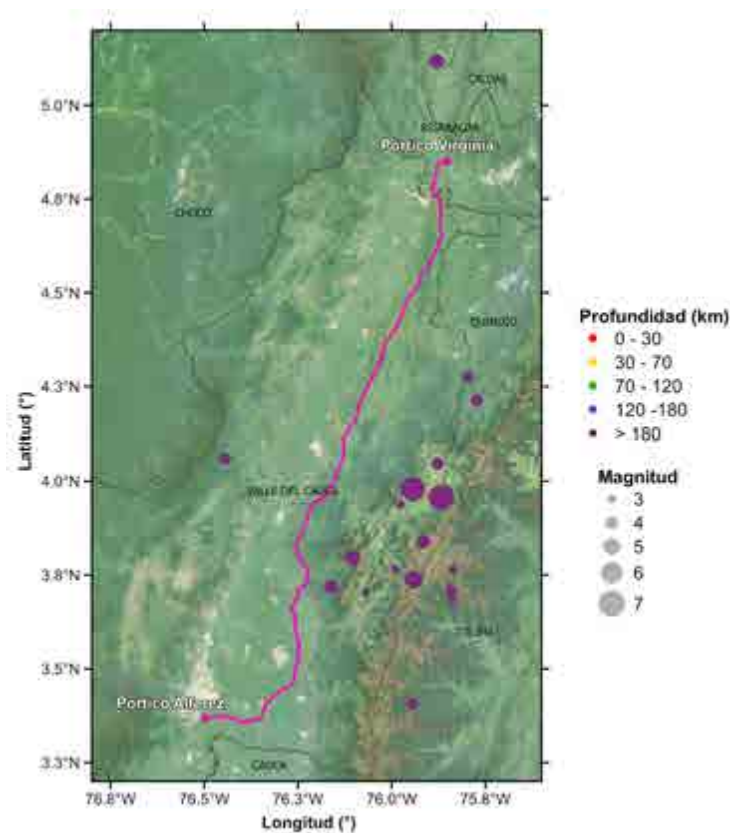


Figura 34. Catálogo sísmico RSNC (1993-2020), sismos con magnitud mayor e igual a 3,0 y con profundidad mayor a 180 km

En las Figuras anteriores se observa que los sismos corticales (profundidad menor o igual a 30 km) ubicados al oeste de la línea de transmisión Virginia-Alfárez se encuentran distribuidos uniformemente y no se presentan cúmulos de eventos, estos sismos están principalmente asociados con la falla Dagua-Calima, falla el Toro y la falla del Río Bravo. Por otro lado, los eventos corticales al este de la línea de transmisión se encuentran concentrados en inmediaciones a los municipios de Armenia y la Tebaida, estando estos eventos asociados a las fallas de Cauca-Almaguer, Armenia y Silvia Pijao pertenecientes al sistema de Fallas del Romeral.

El evento cortical de mayor magnitud dentro del polígono de análisis corresponde al Terremoto del eje cafetero del 25 de enero de 1999. A diferencia del catálogo histórico, este evento ha sido caracterizado con una profundidad focal de 0,0 km y una magnitud de 6,3 (MI), mientras que el epicentro se localizó en el municipio de Córdoba, Quindío.

De los sismos con magnitud mayor a 4,0, el evento con menor distancia epicentral a la línea de transmisión es el sismo del 17 de mayo del 2017 en Bugalagrande, Valle del Cauca, este evento con magnitud 4,1 (Mw) y profundidad focal de 3,4 km, se encuentra a una distancia epicentral de menos de 2,0 km a la torre TVA192. Vale la pena resaltar también el sismo del 8 de marzo de 2005 en la Victoria, Valle del Cauca, el cual presenta una magnitud de 5,2 (MI), una profundidad focal de 24 km y se encuentra a una distancia epicentral de menos de 13,0 km a la torre TVA120.

La sismicidad de profundidad intermedia a profunda presenta cúmulos de eventos cuya localización varía de acuerdo con la profundidad de los eventos, presentándose los sismos con profundidad entre 70 y 120 km al oeste de la línea de transmisión sobre la cordillera occidental, los eventos con profundidad entre 120 y 180 km en inmediaciones a la línea de transmisión y sobre el valle del río Cauca y los eventos con profundidades mayores de 180 km al este del proyecto sobre la cordillera oriental. La localización de estos eventos es acorde con el modelo tectónico del país, puesto que dicho sismos profundos se encuentran asociados a la zona de Benioff producto del proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa de Suramérica, además las profundidades y localización de estos eventos coincide con la profundidad estimada de la zona de Benioff por Monsalve y Mora (2005) y Gutsher et al. (2002).

Los sismos profundos de mayor magnitud dentro del área de estudio corresponde a; el sismo del 2 de septiembre de 1997 en Genova, Quindio con una magnitud de 6,8 (MI) y una profundidad de 230 km; el sismo del 8 de febrero de 1995 en Calima, Valle del Cauca caracterizado por una magnitud de 6,6 (MI) y una profundidad de 102 km; el sismo de 19 de agosto de 1995 en Risaralda, Caldas con magnitud de 6,5 (MI) y profundidad de 121 km; y el sismo del 11 de diciembre de 1999 en Génova, Quindío con magnitud de 6,5 (MI) y localizado a una profundidad de 207 km.

#### 5.1.3.3 Definición de las aceleraciones de diseño y caracterización del corredor

Aunque en Colombia no existe una normatividad para el diseño sísmico de líneas de transmisión la práctica de ingeniería es diseñar las estructuras y elementos que conforman la línea con base en las sollicitaciones sísmicas definidas por la NSR-10 para un periodo de retorno de 475 años (10% de excedencia en 50 años). Teniendo en cuenta lo anterior la caracterización de la amenaza sísmica del corredor de la línea se desarrolló con base en el Estudio general de amenaza sísmica de Colombia AIS (2009) que es la base para el Reglamento de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 y en Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia del Servicio Geológico Colombiano - SGC (2018).

La principal diferencia entre el modelo de AIS (2009) y el del SGC (2018), es que en el primero las fuentes corticales se consideraron mediante planos de acuerdo con un ancho de corredor y buzamiento, mientras que en el modelo del SGC (2018) se emplearon dos modelos; el primero consiste en la combinación de un modelo de fuentes tipo falla y un modelo de sismicidad distribuida que permite capturar la sismicidad de fondo, el segundo modelo corresponde a fuentes tipo área que permite la inclusión de todos los eventos de origen cortical. Además, en el modelo del SGC (2018) la zona de benioff intermedia se encuentra definida al norte hasta aproximadamente la latitud  $5,50^{\circ}$  y no se incluyó una zona de Benioff profunda.

Otra diferencia importante entre los dos modelos son las leyes de atenuación empleadas, mientras que en el modelo de la AIS (2009) se emplearon las leyes de Campbell (1997), Sadigh et al. (1997) y Gallego (2000) para las fuentes corticales y las leyes de Campbell (1997), Gallego (2000), García et al. (2005) y Youngs et al (2006) para las fuentes profundas. En el modelo del SGC (2018), se emplearon las leyes de Idriss (2014), Cauzzi et al. (2015) y Abrahamson, Silva y Kamai (2014) para las fuentes corticales y las leyes de Montalva et al. (2017), Abrahamson et al. (2015) y Zhao et al. (2006) para las fuentes profundas. En este sentido el modelo del SGC (2018) se considera mejor, puesto que emplea leyes de atenuación acordes con los ambientes tectónicos del país y puesto que éstas se seleccionaron mediante un análisis estadístico buscando las ecuaciones que mejor se ajustaran a las aceleraciones espectrales en el territorio nacional.

Dentro de los resultados del modelo de la AIS (2009) que se adoptaron en el Reglamento de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR - 10, se presentan mapas de Aa y Av para un periodo de retorno de 475 años, mapas de zonificación sísmica del país en tres categorías; alta, intermedia y baja, así como los valores de Aa, Av, Ae y Ad para los municipios del país.

En la Figura 35 se presenta el mapa de valores de Aa de Colombia detallando la zona de estudio, en donde se aprecia que todo el alineamiento de la línea de transmisión Virginia-Alfárez se encuentra sobre la región 5 correspondiente a un valor de Aa de 0,25 g y zona sísmica alta.

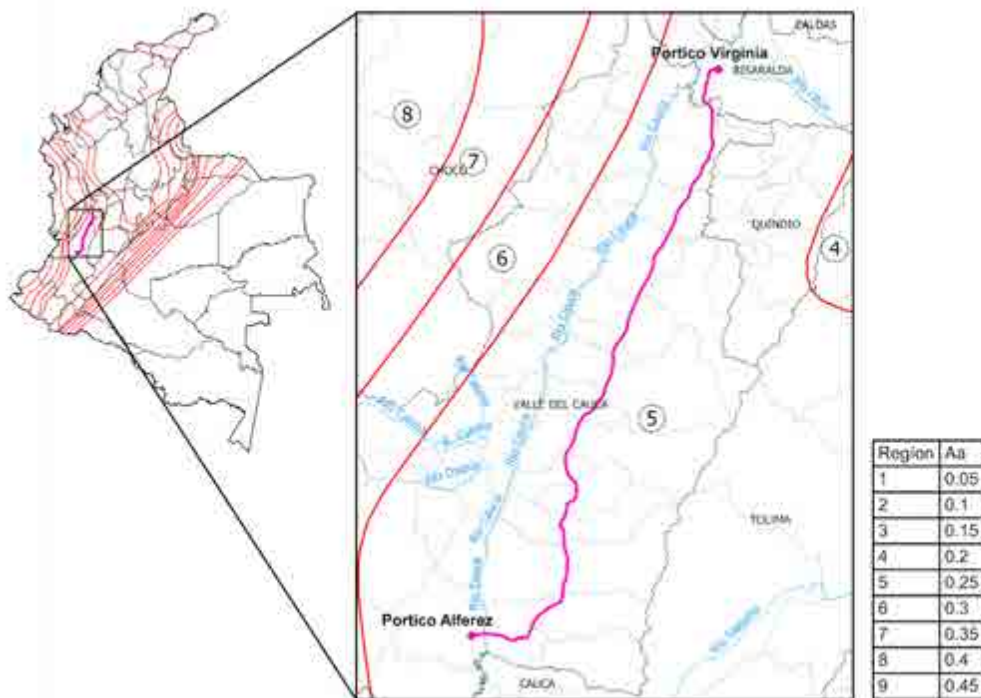


Figura 35. Amenaza sísmica en la zona de estudio de acuerdo con el AIS (2009)

En los resultados del modelo del SGC (2018) se presentan valores de aceleración en roca (PGA) y valores de aceleración espectral para 0,2 s y 1,0 s para diferentes periodos de retorno en una grilla con tamaño de 10 km, así como estas mismas cantidades para todos los centros poblados del país. En la Figura 36 se presentan los valores de PGA para un periodo de retorno de 475 años para la zona de estudio. Como se aprecia en esta imagen, los valores de PGA a lo largo del alineamiento varía entre 0,29 g en el Pórtico Virginia hasta 0,36 g en el Portico Alferez.



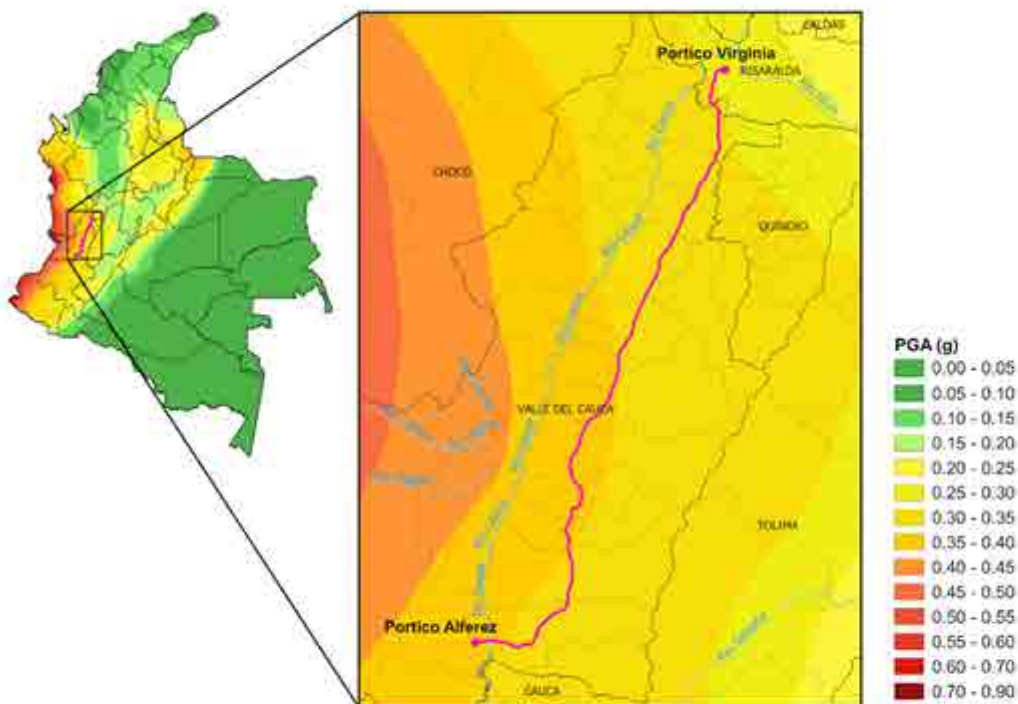


Figura 36. Amenaza sísmica en la zona de estudio de acuerdo con el SGC (2018)

Los valores de aceleración en roca para los modelos de la AIS (2009) y el SGC (2018) presentan variaciones importantes en la zona de estudio, estas diferencias llegan a ser hasta del orden del 44% (en el pódico Alférez) y se deben principalmente a las distintas leyes de atenuación empleadas en los dos modelos.

En la Tabla 9 se presenta un resumen de los valores de aceleración de acuerdo con el modelo de la AIS (2009) y el SGC (2018), estos valores se definieron para cada uno de los 17 municipios que atraviesa la línea de transmisión, por lo que en la tabla se presentan 17 tramos indicando el nombre de las torres que limitan cada uno de los tramos.

Tabla 9. Valores de aceleración en roca (PGA) para los tramos de la línea de transmisión Virginia-Alférez, de acuerdo con AIS (2009) y SGC (2018)

TRAMO	NOMBRE TORRES		MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	AIS(2009)		SGS(2018)
	Inicio	Fin			Aa (g)	Zona	PGA
1	Pódico Virginia	TVA028	Pereira	Risaralda	0.25	Alta	0.29 - 0.30
2	TVA029	TVA056	Cartago	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.30 - 0.31

TRAMO	NOMBRE TORRES		MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	AIS(2009)		SGS(2018)
	Inicio	Fin			Aa (g)	Zona	PGA
3	TVA057	TVA077V	Obando	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.31 - 0.32
4	TVA078V	TVA138N	La Victoria	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.32
5	TVA139	TVA181	Zarzal	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.32 - 0.34
6	TVA182	TVA213	Bugalagrande	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.34 - 0.35
7	TVA214	TVA219N	Andalucía	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.35
8	TVA220	TVA240N	Tuluá	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.34 - 0.35
9	TVA241N	TVA258V**	San Pedro	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.35 - 0.36
10	TVA259V*	TVA289	Buga	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.36 - 0.37
11	TVA290	TVA306	Guacarí	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.37 - 0.36
12	TVA307N	TVA331VC2	Ginebra	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.36
13	TVA332VC1	TVA353VC	El cerrito	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.36 - 0.35
14	TVA354VC	TVA379VA	Palmira	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.35 - 0.34
15	TVA380VA	TVA407	Pradera	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.34
16	TVA408	TVA466	Candelaria	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.34 - 0.36
17	TVA467	Pórtico alférez	Cali	Valle del Cauca	0.25	Alta	0.36

En términos generales la zona de estudio se caracteriza como una zona de amenaza sísmica alta con valores de aceleración entre 0,25 g y 0,37 g. Sin embargo, se recomienda manejar un valor de 0,25 g, debido a que éste es el valor empleado en el Reglamento de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR - 10, el cual corresponde a la información oficial (Decreto 926 de 2010 – Ley 400 de 1997) de caracterización de la amenaza sísmica para el corredor de análisis correspondiente a un periodo de retorno de 475 años.

#### 5.1.4. Geomorfología

El elemento geomorfológico corresponde a una unidad geomorfológica, definida por medio de los rasgos de relieve, morfometría detallada del terreno y por micro relieves asociados con una característica litológica con base en análisis detallados.

Teniendo en cuenta los lineamientos de los términos de referencia TdR 17, para el desarrollo de este numeral se centra en identificar y caracterizar la jerarquización geomorfológica desde los puntos de vista de morfogénesis, morfología, morfometría y morfodinámica, identificando morfogeoestructuras, provincia geomorfológica, región geomorfológica, unidades y subunidades geomorfológicas a partir del ajuste de la información existente con control de campo e interpretación de Modelo digital de elevación para las estructuras que se identifiquen en la zona que puedan tener relevancia en el proyecto y los cuales se evidencian en la escala requerida para este componente.

La geomorfología de la zona de análisis del trazado de transmisión de energía eléctrica se presenta a nivel de subunidad en escala 1:10.000, identificando las geoformas existentes en el área basados en la metodología planteada en la “PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA EN COLOMBIA” de Carvajal (2011). Así como para identificar los procesos morfodinámicos que estén en el área del proyecto.

Cada elemento identificado en el área de caracterización se representa por símbolos, convenciones y colores empleados en estándares internacionales (Verstappen & Van Zuidam, 1992) con la adaptación del SGC (Carvajal 2002, 2003, 2005 y Carvajal et al. 2003). En ese sentido, para el ambiente morfoestructural se asigna un color púrpura, el ambiente denudativo utiliza color naranja, el ambiente fluvial y lagunar color azul, volcánico color rojo y antrópico color marrón. La descripción de las geoformas se fundamenta en la expresión morfológica o de relieve y la morfometría llevada a cabo con base en estándares empleados a nivel internacional.

##### 5.1.4.1 Contexto Geomorfológico Regional

La zona de análisis se localiza en la geomorfoestructura correspondiente al cinturón Orogénico Andino (Figura 37).

Se refiere a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales caracterizados y definidos por estructuras geológicas y topográficas

regionales que han tenido deformación o basculamiento y posiblemente metamorfismo o intrusión ígnea (Megageoformas de origen tectónico). Se consideran como geomorfoestructuras: Los escudos, los bloques de origen continental (Plateaus Orogénicos ó Epirogénicos), grandes cuencas de sedimentación, cuencas intracratónicas y Rift Valleys, plataformas y cinturones orogénicos (INGEOMINAS, 2011).

A nivel de Provincias Geomorfológicas se relacionan con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia los cuales están delimitados por el trazo de mega fracturas y suturas definidas o inferidas (INGEOMINAS, 2011), identificando en la zona de análisis se localiza principalmente sobre las provincias geomorfológicas de la Cordillera Central y la Cuenca del Cauca Patía (Figura 37).

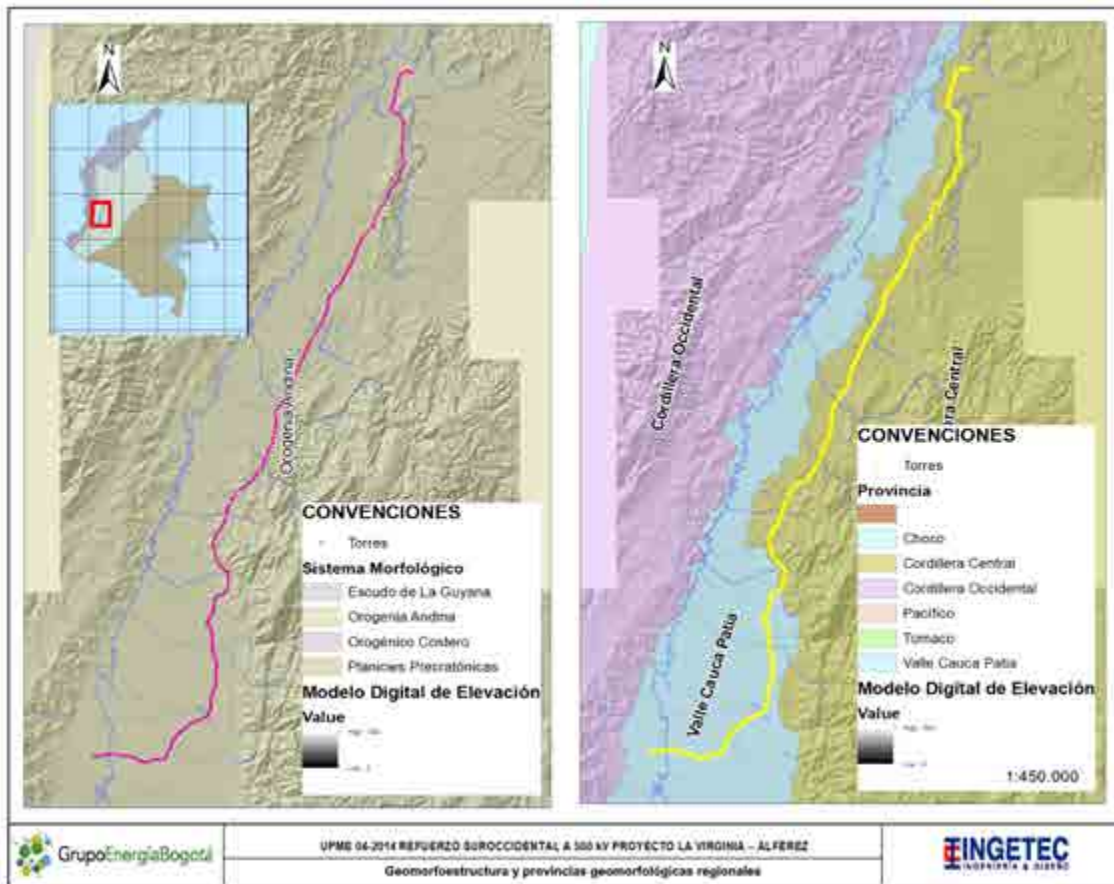


Figura 37. Geomorfoestructura y provincias geomorfológicas regionales identificadas en la zona de análisis del trazado energético

Fuente: GEB. (2018).

Las dos provincias geomorfológicas se caracterizan por presentar contrastes de relieve definiendo los ambientes y procesos que lo caracterizan, ya sea de carácter denudacional, de acumulación o estructural, definidas fundamentalmente por los contrastes morfométricos que relacionan el tipo de roca y su disposición estructural, tanto con el correspondiente relieve, la topografía del terreno, modelados con los procesos dinámicos.

Desde el punto de vista hidrológico, los patrones de drenaje varían a lo largo del corredor, se puede observar desde el inicio del trazado que los afluentes disectan el Abanico del Quindío, geoforma regional de gran importancia. Estos drenajes presentan un patrón subparalelo con dirección oeste hasta llegar a los afluentes principales. En la zona media del trazado los drenajes presentan una tendencia dendrítica y subparalelo lo cual está relacionado con las zonas de montaña y drenajes erosionales. En la zona plana su patrón regional corresponde a dendrítico y subparalelo lo cual corresponde a materiales aproximadamente homogéneos en composición, sin control estructural.

En la zona de análisis se identificaron cinco Regiones Geomorfológicas relacionadas con la genética y la región geográfica, las cuales se definen en los ambientes morfogenéticos responsables del modelado y construcción de las geoformas presentes, ambiente estructural, ambiente denudacional, ambiente fluvial – lagunar, ambiente volcánico y ambiente antrópico.

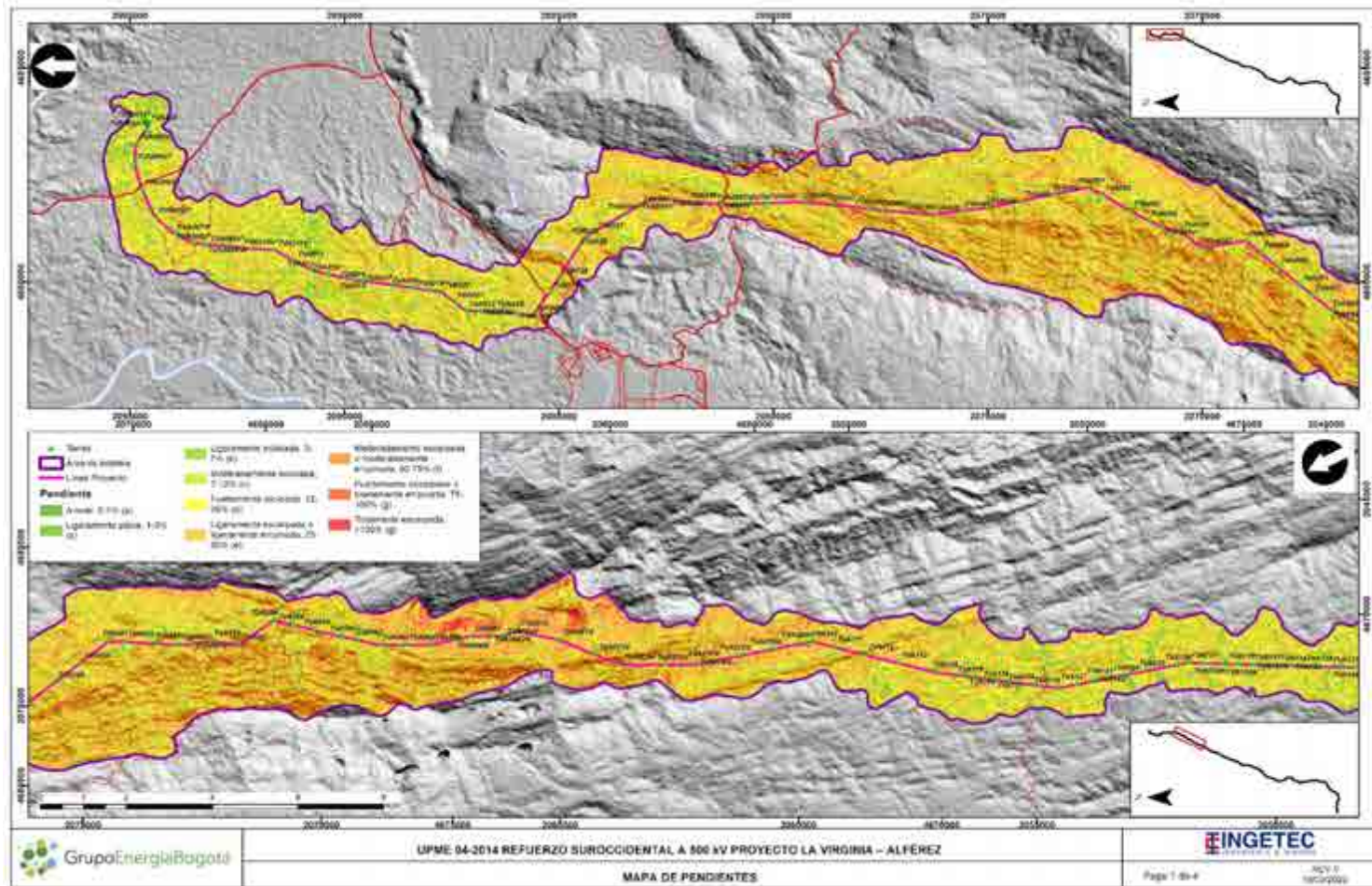
Cada uno de estos ambientes indica las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas que dieron lugar a las geoformas junto con los procesos de origen endógeno y exógeno que han contribuido con la formación, evolución y modificación del terreno que actualmente se observa en el área de caracterización.

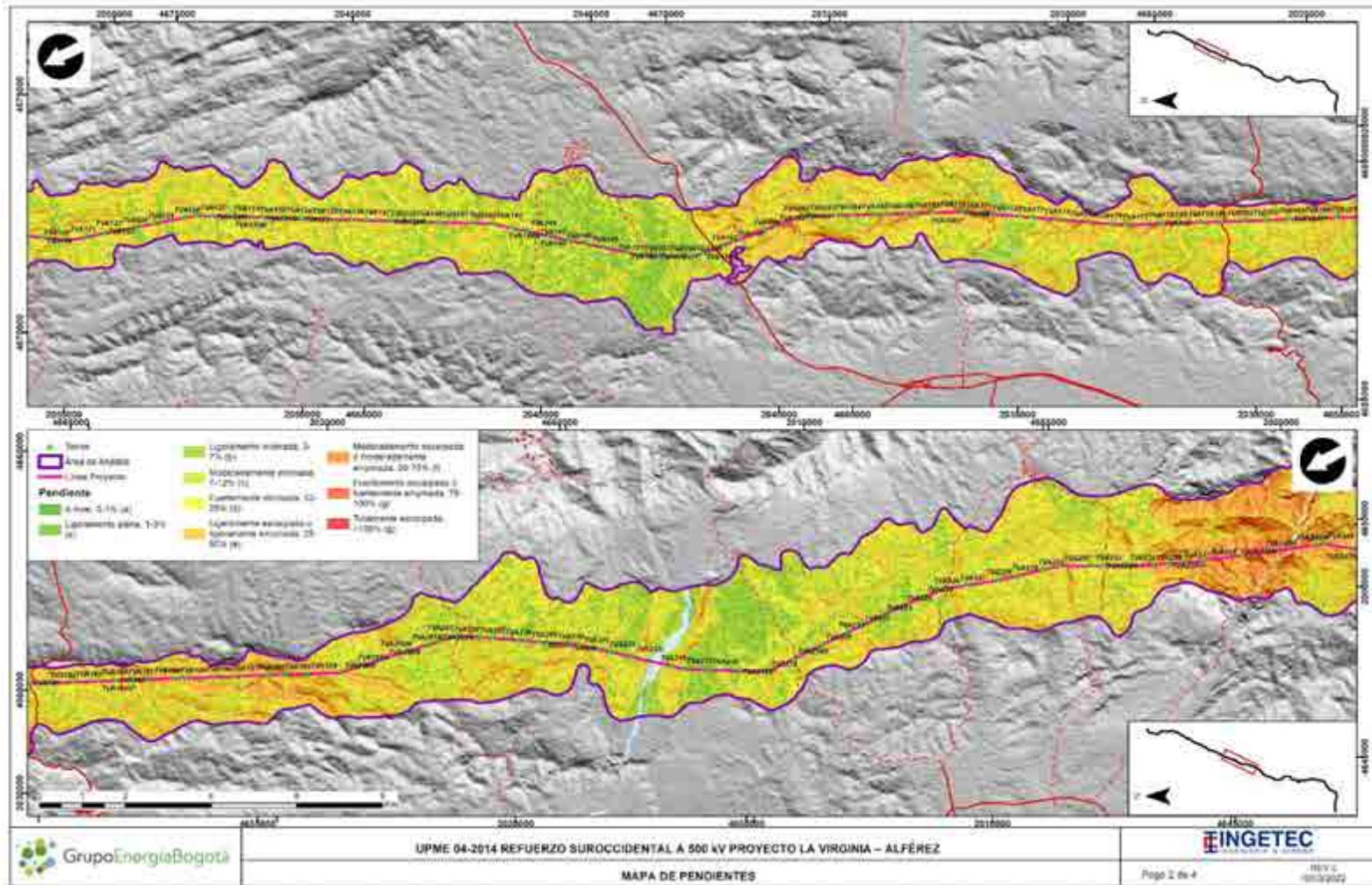
#### 5.1.4.2 Análisis de pendientes

El área de caracterización se encuentra en diferentes ambientes geológicos los cuales han generado una topografía irregular observando sectores de montaña con pendientes escarpadas y zonas aluviales con pendientes muy bajas a planas (Figura 38 y Anexo D2.1).

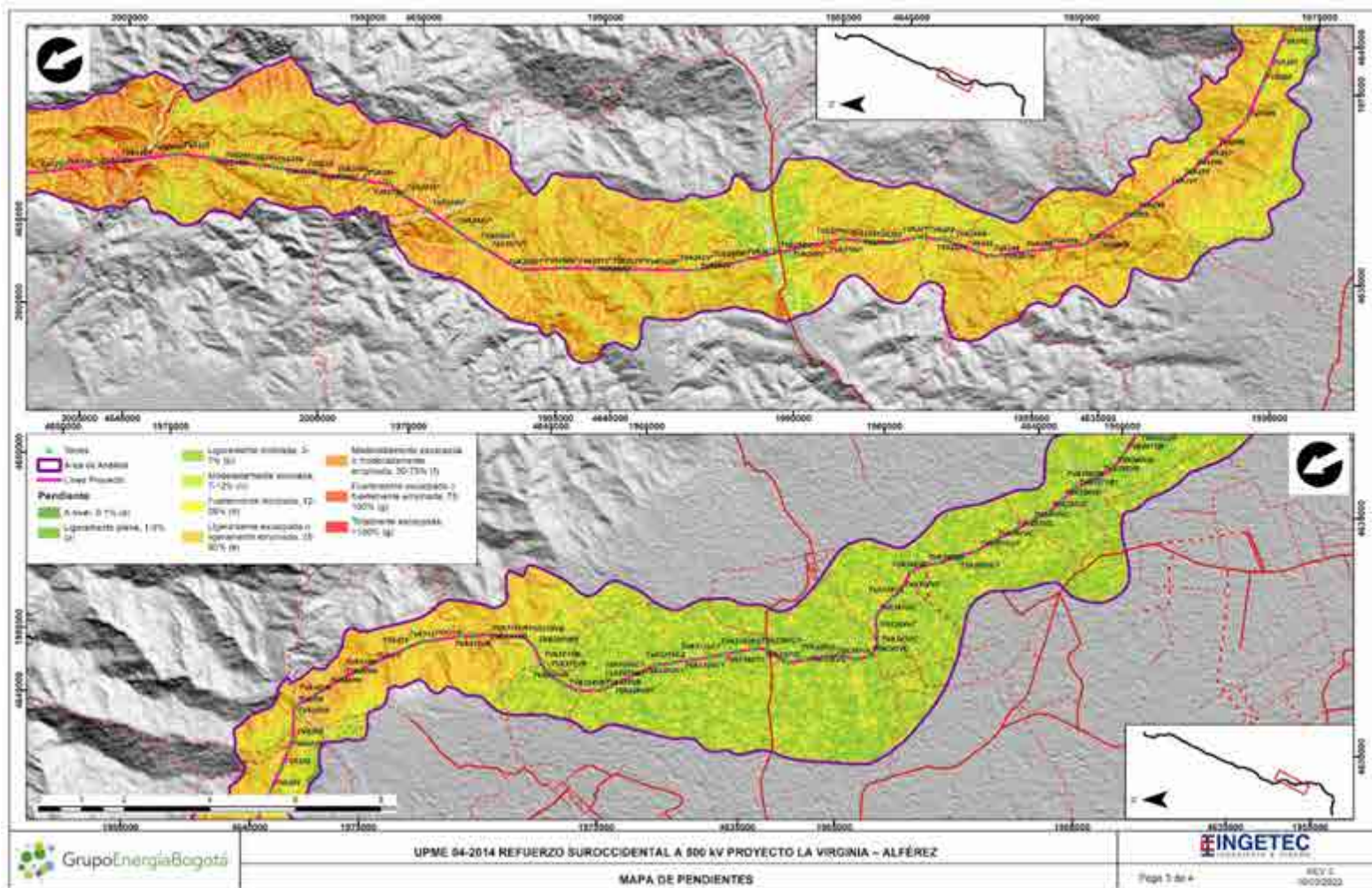
En el área de caracterización geomorfológico se identifica que las zonas de pendientes planas a ligeramente inclinadas abarcan el 20.50%, pendientes moderadas a fuertemente inclinadas abarcan el 46.71%, pendientes escarpadas el 32.12% y finalmente pendientes escarpadas y abruptas el 0.67%. En la Tabla 10 se presenta el resumen de las pendientes con sus respectivas áreas y porcentajes con respecto al área de caracterización y al AI Física.











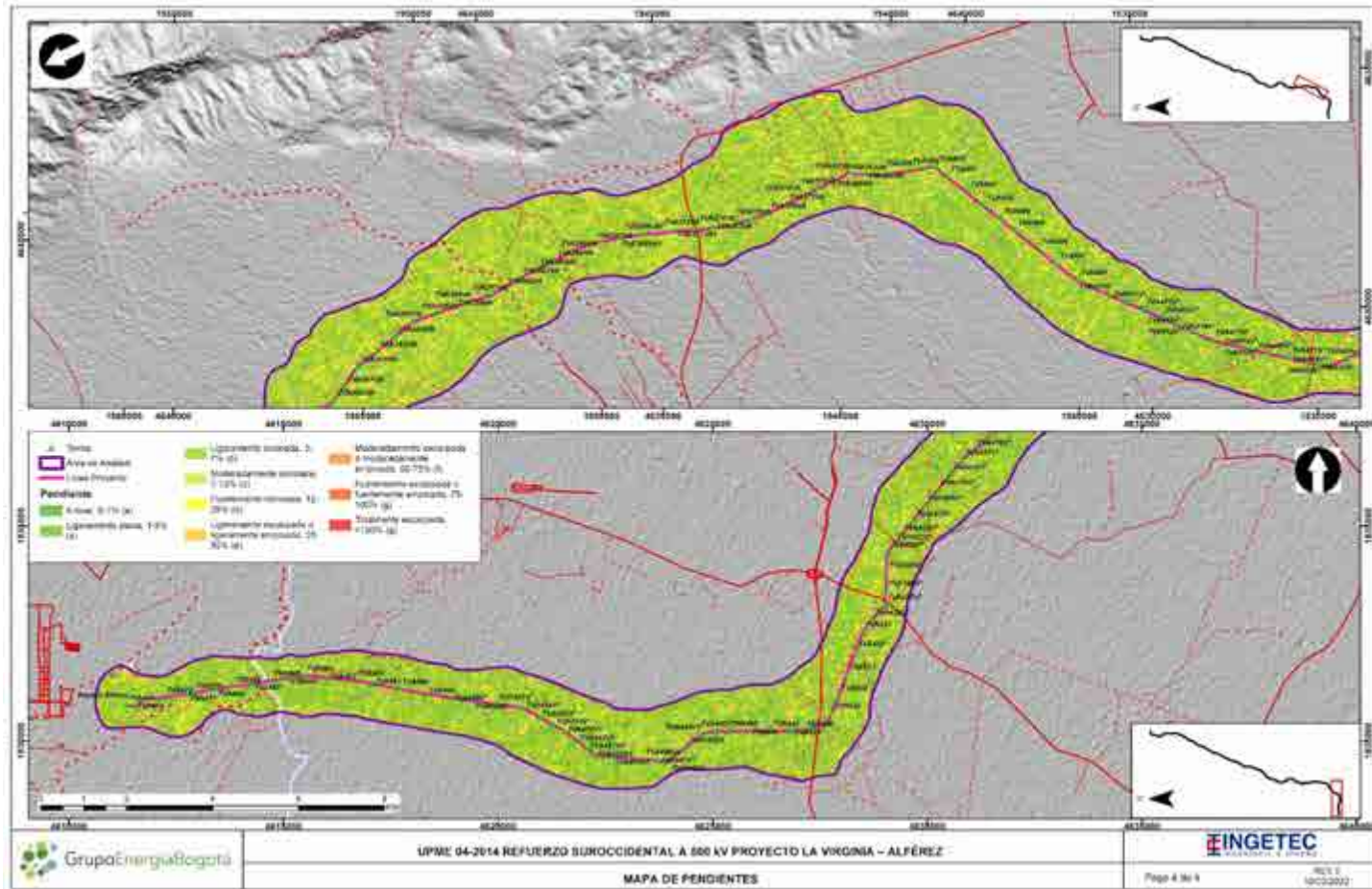


Figura 38. Mapa de rangos de pendientes para el área de influencia geo-esférica del proyecto

Tabla 10. Tabla de zonas y porcentajes de las pendientes en el área de caracterización y el área de influencia física.

PENDIENTE	NOMENCLATURA	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN		ÁREA DE INFLUENCIA FÍSICA	
		ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%
A nivel, 0-1% (a)	Nv	728,55	1,55	19,42	1,55
Ligeramente plana, 1-3% (a)	Lp	1176,93	2,51	31,22	2,49
Ligeramente inclinada, 3-7% (b)	Li	7962,67	16,96	206,89	16,47
Moderadamente inclinada, 7-12% (c)	Mi	9686,93	20,63	249,30	19,85
Fuertemente inclinada, 12-25% (d)	Fi	12181,65	25,94	337,44	26,86
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50% (e)	Le	11967,76	25,49	331,68	26,40
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% (f)	Me	2828,91	6,03	71,87	5,72
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, 75-100% (g)	Fe	359,31	0,77	7,16	0,57
Totalmente escarpada, >100% (g)	Te	59,59	0,13	1,28	0,10
<b>TOTAL</b>		46952,29	100	1256,24	100



### 5.1.4.3 Unidades y subunidades Geomorfológicas

Para el análisis e interpretación de las unidades y subunidades geomorfológicas se toma como base el Modelo Digital de Elevación (DEM) con resolución por píxel de 12,5 m x 12,5 m y se realiza el análisis directamente en el software ArcMap 10.3.

El trazado de la línea eléctrica del proyecto presenta unidades y subunidades de diferentes ambientes geomorfológicos, principalmente estructural y denudacional, seguida de ambiente fluvial y en menor proporción volcánico y antrópico (Figura 39 y Anexo D2.1). No todas las unidades y subunidades descritas están relacionadas directamente con los sitios de localización de las torres dentro del área de influencia física (AI Física), para una mejor interpretación de éstas se involucra un área mayor denominada “área de caracterización” consecuente con el área demarcada para la evaluación geológica y definida en el numeral 5.1.1.

Una correlación general entre unidades geomorfológicas, ambientes, geoformas y las diferentes litologías sobre las que se evidencian los diferentes procesos morfodinámicos a lo largo de corredor del área de caracterización se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Unidades geomorfológicas y procesos morfodinámicos asociados a las unidades geológicas del área de caracterización

AMBIENTE	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA		PROCESO MORFODINÁMICO	FORMACIÓN GEOLÓGICA
DENUACIONAL	Dcrd	Colina residual disectada	Erosión laminar	Depósitos de conos aluviales.
	Dcred	Colina remanente disectada	Deslizamiento - Flujo de detritos, Erosión laminar.	Depósitos de Conos Aluviales y Formación La Paila
	Dlde	Ladera denudada	Erosión laminar	Formación La Paila
	Dle	Ladera erosiva	Erosión laminar	Formación La Pobreza
	Dlpd	Lomeríos poco disectados	Erosión Antrópica	Formación La Paila

AMBIENTE	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA		PROCESO MORFODINÁMICO	FORMACIÓN GEOLÓGICA
	Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	Deslizamiento de tipo Flujo de detritos y Rotacional, Erosión - Acarcavamiento, Erosión laminar, erosión laminar intensa, cárcava, erosión antrópica	Formaciones La Pobreza y La Paila
	Dsd	Sierras denudadas	Erosión Laminar	Macizo ofiolítico de Ginebra
	Dsr	Sierra residual	Deslizamiento - Terraceta, Erosión Antrópica y Erosión Laminar	Macizo ofiolítico de Ginebra
FLUVIAL	Fa	Abanico aluvial	Erosión laminar	Depósitos de Conos Aluviales, Formación La Paila
	Fpi	Plano o llanura de inundación	Erosión Antrópica	Depósitos Aluviales y Formación La Pobreza
	Fta	Terraza de acumulación	Erosión laminar	Formación La Pobreza
ESTRUCTURAL	Ssan	Sierra anticlinal	Erosión laminar	Formación La Paila
	Ssbe	Sierra de barras estructurales	Erosión Antrópica	Formación La Paila
	Sslp	Sierra y lomo de presión	Deslizamiento - Flujo de detritos, Deslizamiento - Flujo, Deslizamiento - Terraceta	Formación La Pobreza, Ofiolítico de Ginebra

AMBIENTE	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA		PROCESO MORFODINÁMICO	FORMACIÓN GEOLÓGICA
	Sss	Sierra sinclinal	Deslizamiento - Erosión laminar, Deslizamiento - Flujo de detritos, Deslizamiento - Terraceta	Formación La Paila
	Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	Deslizamiento - Flujo de detritos, Deslizamiento - Reptación, Erosión - Cárcava, Erosión Antrópica, Erosión laminar	Depósitos de Conos Aluviales, Formación La Paila, Formación La Pobreza, Batolito de Buga

#### 5.1.4.3.1 Ambiente Denudacional

Las geoformas de este tipo de ambiente tienen una expresión morfológica definida bajo la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos<sup>1</sup>.

En el área de caracterización estas geoformas ocupan el 30,4 % de la superficie del área, concentrándose principalmente en la zona de Tuluá y Buga La Grande (Figura 40 Anexo D2.1 y Tabla 12).

Tabla 12. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente denudacional

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (ha)	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (ha)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (%)
Dcrd	Colina residual disectada	723,13	5,07	22,12	5,98

<sup>1</sup> Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Bogotá, 2011.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (ha)	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (ha)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (%)
Dcred	Colina remanente disectada	379,38	2,66	5,58	1,51
Deeme	Escarpe de erosión menor	132,52	0,93	0,00	0,00
Dga	Glacis de acumulación	206,68	1,45	1,26	0,34
Dge	Glacis de erosión	49,79	0,35	5,83	1,58
Dld	Loma denudada	1398,37	9,80	33,98	9,18
Dlde	Ladera denudada	1951,04	13,67	73,71	19,92
Dldebl	Lomo denudado bajo de longitud larga	361,46	2,53	5,46	1,48
Dldebm	Lomo denudado bajo de longitud media	561,21	3,93	25,46	6,88
Dldi	Lomeríos disectados	1905,62	13,35	42,46	11,47
Dle	Ladera erosiva	458,67	3,21	9,40	2,54
Dlo	Ladera ondulada	410,34	2,88	8,80	2,38
Dlpd	Lomeríos poco disectados	1440,13	10,09	37,02	10,00
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	1362,26	9,55	26,31	7,11

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (ha)	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (ha)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (%)
Dsd	Sierras denudadas	1598,13	11,20	27,24	7,36
Dsr	Sierra residual	1330,27	9,32	45,46	12,28
<b>TOTAL</b>		<b>14269,00</b>	<b>100</b>	<b>370,08</b>	<b>100,00</b>



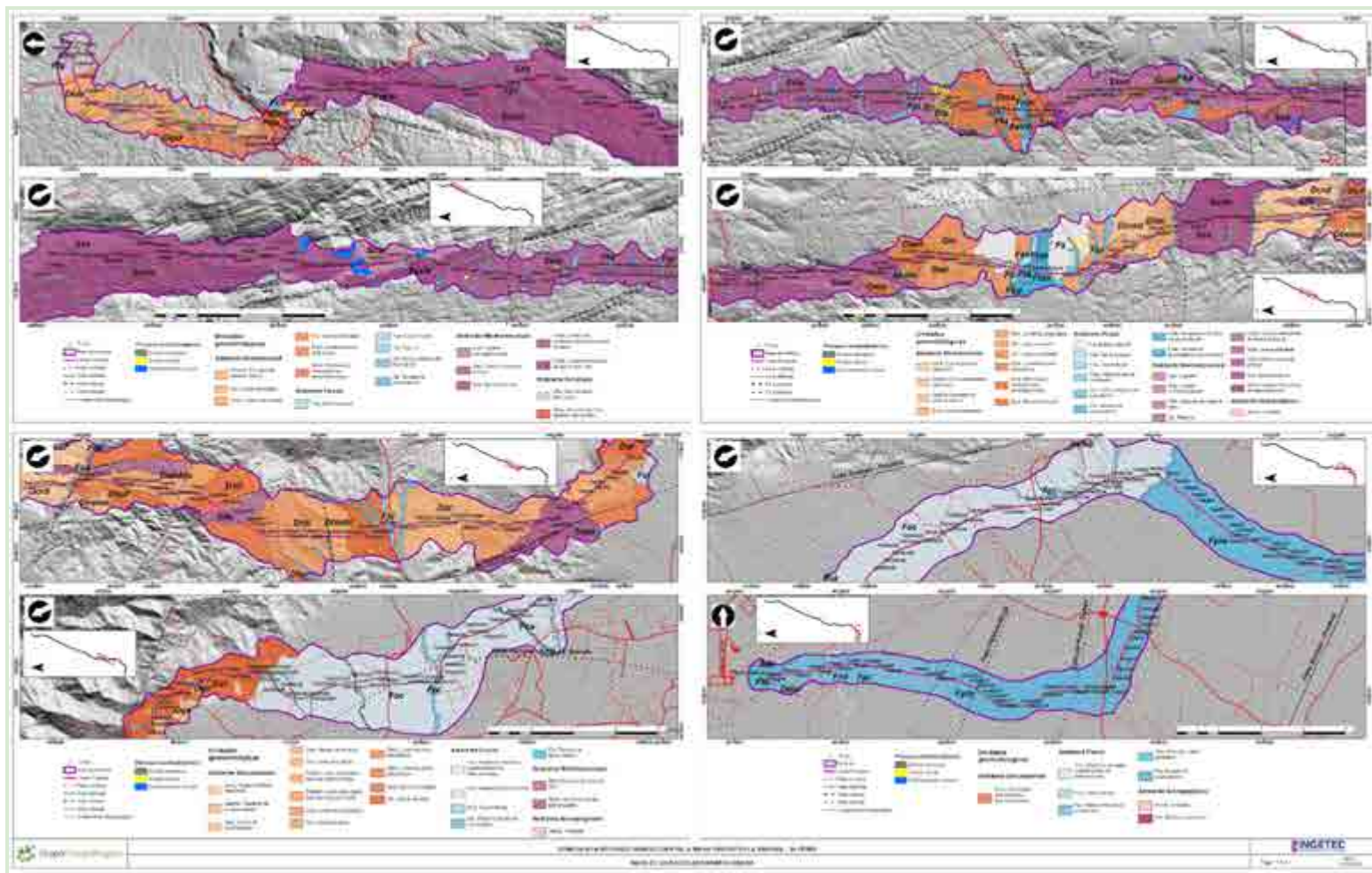


Figura 39. Mapa de unidades y subunidades geomorfológicas de la zona de estudio

- Colina residual disectada (Dcrd)

Corresponden a elevaciones de terreno entre 200 y 399 metros sobre su nivel de base local, que presenta una cima redondeada y amplia limitada por laderas cortas a moderadamente largas de forma convexa a recta y pendiente inclinada a abrupta, con un índice de relieve bajo a moderado. Su origen está relacionado a procesos tectónicos y a la acción conjunta de periodos de denudación y meteorización asociados a factores litológicos locales o a suelos espesos donde se desarrolla meteorización esferoidal (organales). Estas geoformas se distinguen por el desarrollo de una red de drenaje con ligero grado de disección en forma de U.

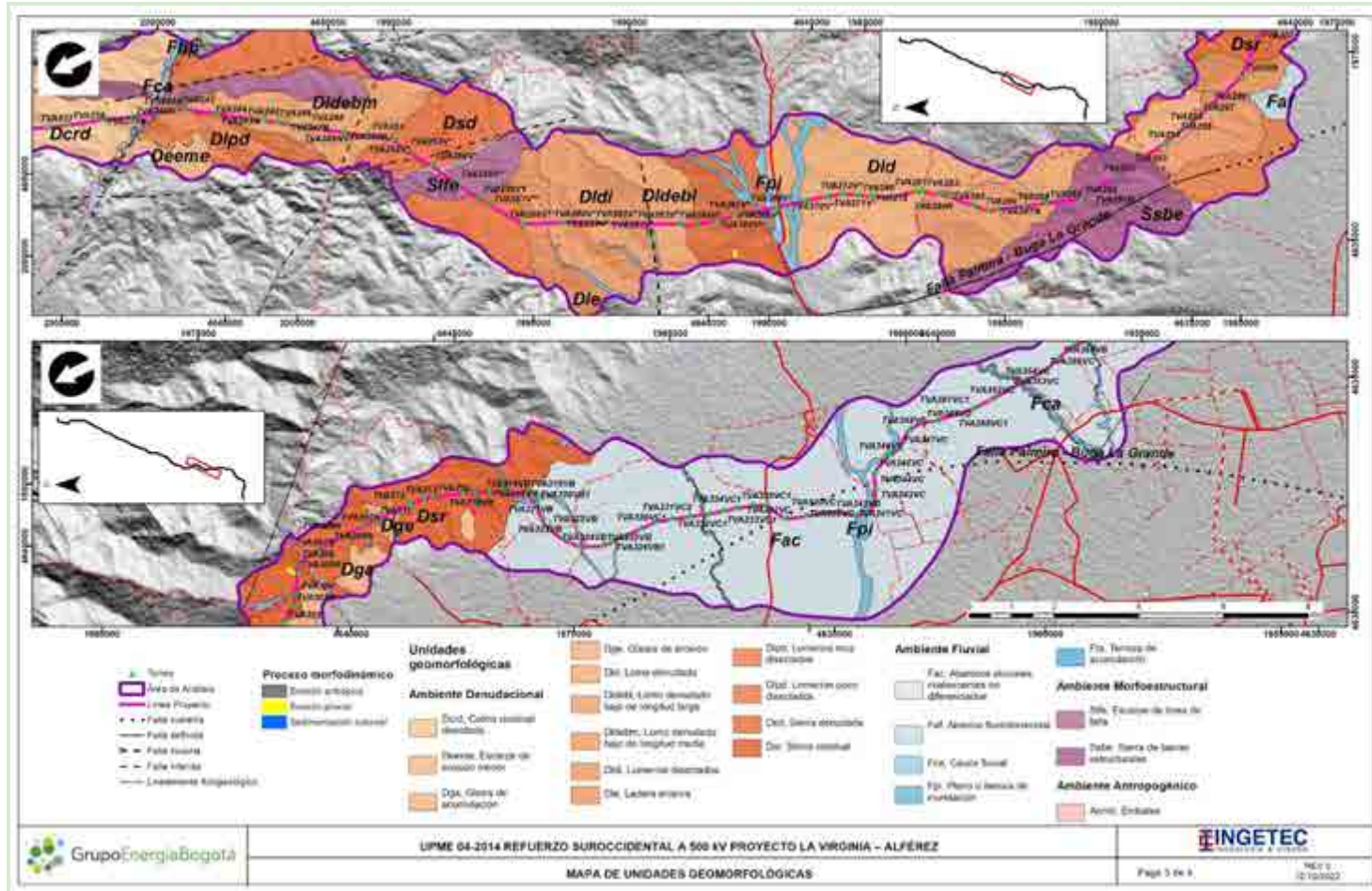


Figura 40. Mapa de la principal zona donde se localizan las geofomas de origen denudacional

- Colina remanente disectada (Dcred)

Prominencias topográficas aisladas con una altura entre 200 y 399 metros sobre su nivel de base local, que presenta una cima redondeada y estrecha limitada por laderas cortas a moderadamente largas de forma convexa y pendientes abruptas a escarpadas, un alto grado de disección de los drenajes, desarrollo de valles en U y un índice de relieve bajo a moderado. Su origen está relacionado a procesos de denudación intensos (Fotografía 40).



Fotografía 40. Fotografía de la unidad geomorfológica colina remanente disectada en la zona de las torre TVA223 y TVA224. E 4652864; N 2009779

- Escarpe de erosión menor (Deeme)

Ladera abrupta o a desplome de longitud corta a larga, de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación fluvial lateral o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje. (Fotografía 41)





Fotografía 41. Escarpe de erosión menor (Deeme). E 4645478,75; N1993535,36  
Fuente. GEB. (2018).

- Glacis de acumulación (Dga)

Superficie de acumulación con longitud moderadamente larga, cóncava, suavemente inclinada. Su origen está relacionado a la acumulación de material fino por procesos de erosión laminar. Incluye los planos adyacentes, formados por cuerpos coluviales de material fino y bloques, producto de la erosión laminar de las laderas circundantes.

- Glacis de erosión (Dge)

Superficie de erosión larga a muy larga, cóncava y suavemente inclinada, esculpida en unidades rocosas de piedemonte por procesos de escorrentía superficial en condiciones climáticas áridas a semiáridas. Se caracteriza por el desarrollo de fuerte carcavamiento y tierras malas.

- Loma denudada (Dld)

Prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada, laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas. Su origen está relacionado a procesos



intensos de meteorización y erosión diferencial. Se caracteriza por presentar movimientos en masa y procesos erosivos intensos (Fotografía 42).



Fotografía 42. Vista panorámica a la unidad de Loma denudada en el sector de las torres TVA271 y TVA272. E 4641581; N 1987189

- Ladera denudada (Dlde)

Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y soliflucción, sobre materiales de suelo o roca muy meteorizada o fracturada. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura (Fotografía 43).



Fotografía 43. Laderas denudadas en el sector que conduce a la torre TVA027  
E 4679339; N 2085419

- Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl)

Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor de 250 m y la longitud del eje principal es mayor que 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico. (Fotografía 44)



Fotografía 44. Unidad geomorfológica (Dldebl) Lomo denudado bajo de longitud larga ubicado al este de la Torre TVA262. E 4644924; N 1992020

- Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm)

Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor que 250 m y el eje principal tiene una longitud entre 250 m y 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico. (Fotografía 45)



Fotografía 45. Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm).  
E 4656119,52; N 2018118,41. Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2018

- Lomeríos disectados (Dldi)

Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas redondeadas y amplias, de laderas cortas a moderadamente largas de formas rectas, cóncavas y convexas, con pendientes muy inclinadas a muy abruptas, con índice de relieve bajo. Estas geoformas son originadas por procesos de denudación intensos y cuyas laderas se caracterizan por la moderada disección, generando valles en U con fondo redondeado a plano. Se presentan movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional con superficie de falla poco profunda. (Fotografía 46)



Fotografía 46. Vista panorámica de la unidad Lomeríos disectado en sector del Alto de la Julia. E 4639674; N 1978313

- Ladera erosiva (Dle)

Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y soliflucción, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura (Fotografía 47).





Fotografía 47. Unidad geomorfológica Ladera erosiva ubicada en el sector del Alto de la Julia. E 4639605; N 1977775

- Ladera ondulada (Dlo)

Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparalelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales. (Fotografía 48)



Fotografía 48. Ladera ondulada. E 4656874,39; N 2017824,36

- Lomeríos poco disectados (Dlpd)

Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas planas amplias y eventualmente redondeadas, de laderas muy cortas a cortas, de forma rectas, y eventualmente cóncavas y convexas, con pendientes inclinadas a muy abruptas, e índice de relieve muy bajo a bajo. En estos lomeríos los procesos de incisión son muy leves y generalmente estas unidades se encuentran en áreas centrales de altiplanos o alejados de los frentes erosivos. Son frecuentes procesos erosivos y reptación y eventualmente movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional. Fotografía 49



Fotografía 49. Lomeríos poco disectados E 4656974,53; N 2017844,12

- Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)

Elevación del terreno con una altura menor de 50 metros sobre su nivel de base local, con una morfología colinada, cóncava o convexa, suavemente inclinada y con drenaje divergente. Su origen está relacionado a procesos de meteorización y erosión intensa sobre rocas blandas o friables y en sedimentos no consolidados, dispuestos de manera horizontal a ligeramente inclinados (Fotografía 50).



Fotografía 50. Unidad geomorfológica Montículo y ondulaciones denudacionales ubicada en el sector de Vallejuelo. E 4664843; N 2040075

- Sierras denudadas (Dsd)

Prominencia topográfica de morfología montañosa y elongada de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas a convexas, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión o de movimientos en masa acentuados. Su origen está relacionado a procesos de erosión acentuada en sustratos rocosos ígneos y metamórficos. (Fotografía 51).



Fotografía 51. Vista panorámica de la unidad Sierra denudada en la vía que conduce a la torre TVA267. E 46440732; N 1989088

- Sierra residual (Dsr)

Prominencia topográfica de morfología montañosa y elongada de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas a convexas, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen los procesos de meteorización intensa en unidades generalmente ígneas, asociada con suelos residuales con espesores mayores a 3 metros. Su origen está relacionado a procesos de meteorización intensa en sustratos rocosos ígneos y metamórficos. (Fotografía 52)



Fotografía 52. Sierra Residual E 4642867,10; N 1969121,58  
Fuente: GEB. (2018).

#### 5.1.4.3.2 Ambiente Fluvial

Estas geoformas están relacionadas con los procesos de erosión y sedimentación de las corrientes superficiales que se encuentran a lo largo del área analizada, se identificaron principalmente en las corrientes de mayor caudal como son los ríos La Vieja, Amaime, La Paila, Tulua, Buga La Grande, Morales, Guadalajara, Guabas, Nima, Bolo, Párraga, Fraile, Cauca y quebradas como El Mico, Las Cañas, Pital, La Rivera, Bamboco, El Silencio, La Honda, Novillera y los Zanjones Palo Negro, Palmira y Naranjal.

En el área de caracterización estas geoformas ocupan el 37.24%, concentrándose principalmente en la zona de los drenajes y en la parte distal hacia el valle (Tabla 13, Figura 41 y Anexo D2.1 ).

Algunas geoformas como las barras puntuales se identifican principalmente en inmediaciones de los ríos La Vieja y Bugalagrande. Sin embargo, en otros sectores estas subunidades locales se encuentran dentro de la unidad cauce aluvial, se considera que la delimitación de éstas áreas no difieren en el desarrollo del proyecto ni en la localización de las torres por lo que no se hace necesario subdividir dichas unidades ya que sus polígonos son de áreas muy pequeñas.

Con respecto a las geoformas de Delta, estas no se identificaron en la zona del proyecto.

Las áreas de subsidencia están relacionadas con zonas de unidades calcáreas que presentan cavernas o disoluciones a nivel de subsuelo donde se puedan presentar este tipo de geoformas kársticas.

Tabla 13. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente fluvial

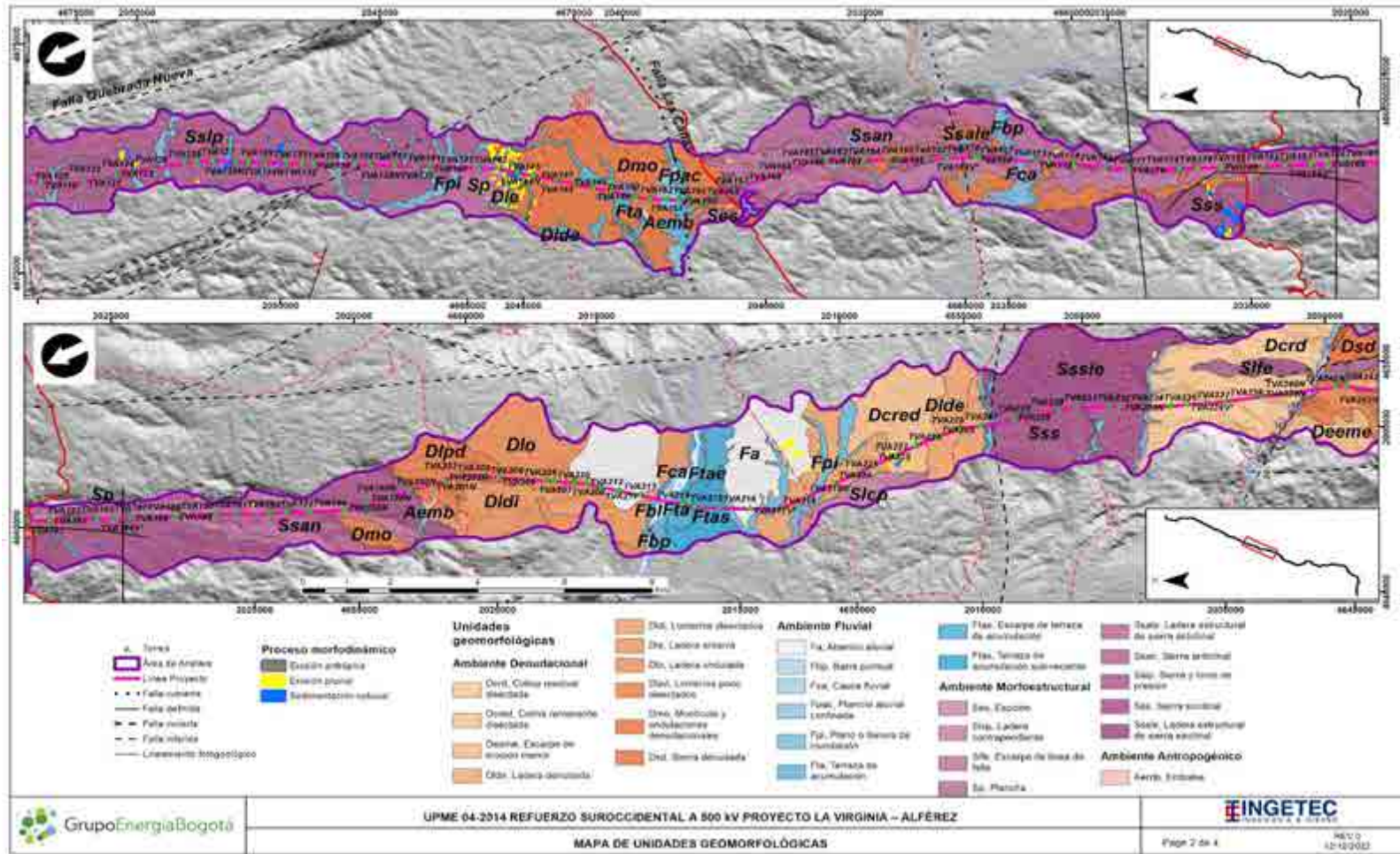
AMBIENTE	CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (ha)	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (ha)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (%)
FLUVIAL	Fa	Abanico aluvial	695,23	3,98	9,39	2,08
	Fac	Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados	8661,49	49,54	192,72	42,59
	Faf	Abanico fluvio-torrencial	88,51	0,51	0,00	0,00
	Fbp	Barra puntual	22,56	0,13	1,48	0,33
	Fca	Cauce fluvial	441,48	2,52	2,16	0,48
	Flg	Laguna	1,96	0,01	0,00	0,00
	Fpac	Planicie aluvial confinada	72,11	0,41	3,43	0,76

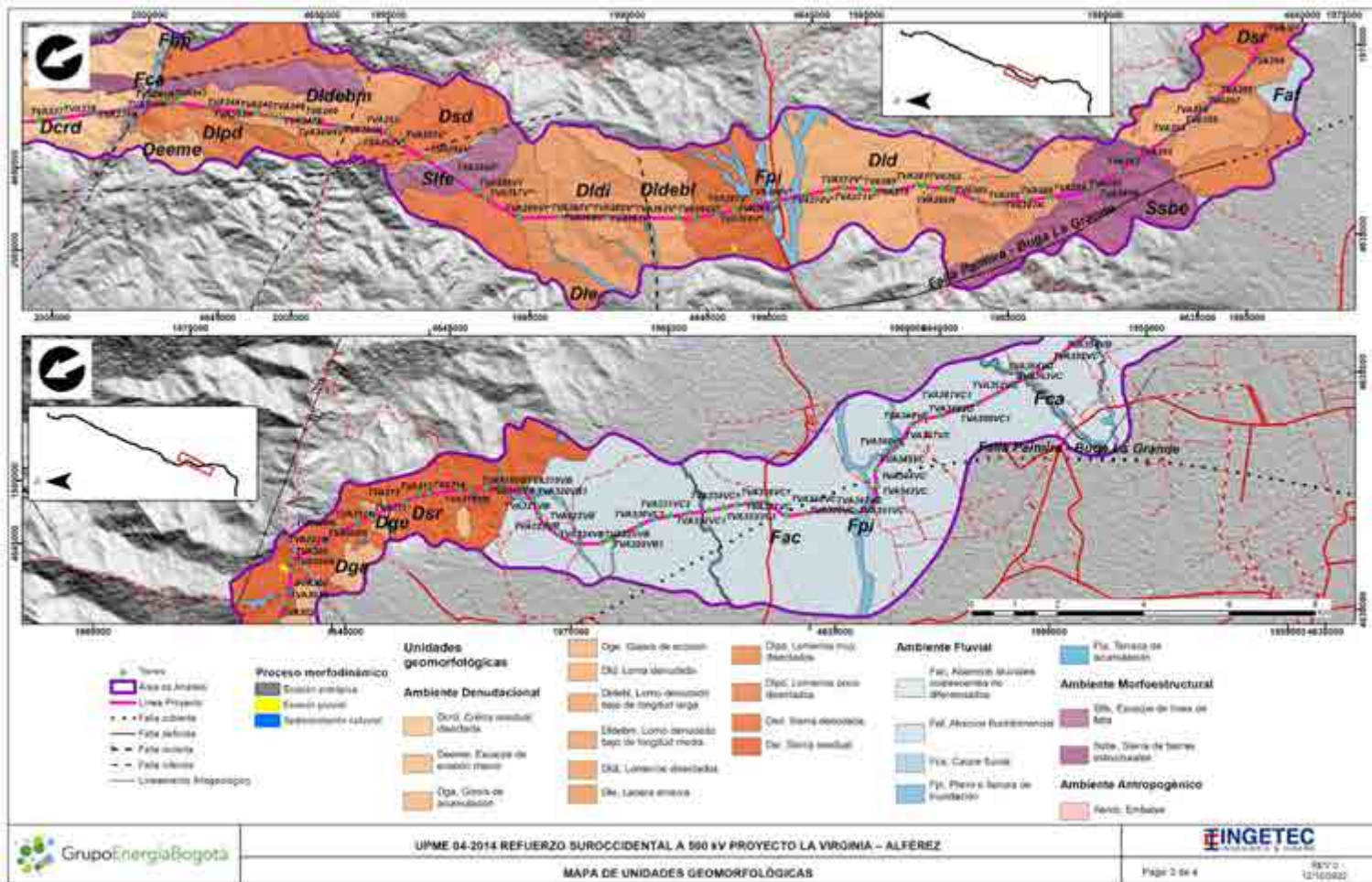


AMBIENTE	CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (ha)	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (ha)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (%)
	Fpi	Plano o llanura de inundación	2066,08	11,82	88,40	19,58
	Fpla	Planicie y delta lacustrino	4263,36	24,38	132,38	29,32
	Fta	Terraza de acumulación	919,06	5,26	13,10	2,90
	Ftae	Escarpe de terraza de acumulación	110,77	0,63	1,17	0,26
	Ftas	Terraza de acumulación subreciente	142,14	0,81	7,26	1,61
<b>TOTAL</b>			<b>17484,75</b>	<b>100</b>	<b>451,49</b>	<b>100,00</b>

- Abanico aluvial (Fa)

Constituido por una superficie en vista de planta con forma de cono, con perfil ligeramente convexo y morfología plana. El origen de esta geoforma está asociado a la acumulación torrencial y fluvial en forma radial, en sectores donde una corriente desemboca en una zona relativamente plana. Está caracterizada principalmente porque los sedimentos se depositan radialmente desde el ápice del abanico, el cual se ubica en la salida de la corriente desde las montañas. Es importante también mencionar que por lo general, la superficie del abanico es atravesada por diversos canales, que son más profundos hacia el ápice y más someros al alejarse del mismo. El área ocupada por esta unidad se caracteriza porque presenta baja pendiente (menor a 3°) y porque se explaya abarcando un área que se extiende por decenas de metros en la zona más distal. Los materiales predominantes corresponden a limos, arenas y gravas que se ubican desde la zona distal hacia el ápice respectivamente.







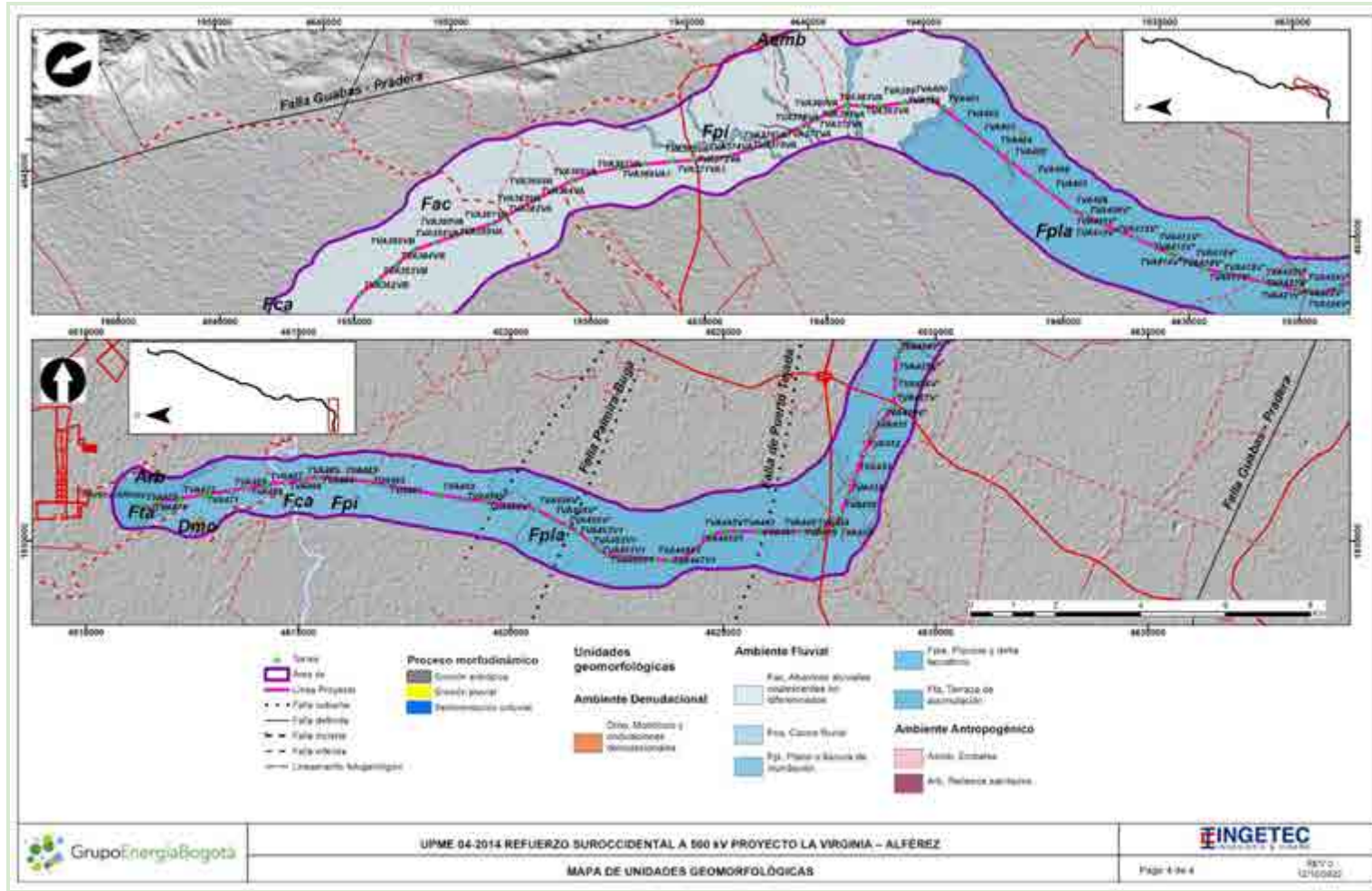


Figura 41. Áreas de las principales zonas donde se identificaron las unidades de origen fluvial

- Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados (Fac)

Superficie ondulada localizada en los frentes montañosos, que se han formado por la unión de varios abanicos aluviales coalescentes, formando llanuras depositacionales de piedemonte o Bajadas. Presentan pendientes del orden de  $1^\circ$  a  $5^\circ$ , aunque pueden alcanzar  $10^\circ$  cerca de los ápices de los abanicos. Generalmente presenta drenaje dicotómico. (Fotografía 53)



Fotografía 53. Abanicos Aluviales coalescentes no diferenciados.  
E 4855077,77; N 2183509,53  
Fuente: GEB. (2018).

- Abanico fluviotorrencial (Faf)

Superficie en forma de cono, de laderas cóncavas a convexas de morfología plana, aterrizada. Su origen está relacionado a la acumulación torrencial y fluvial en forma radial, donde una corriente desemboca en una zona plana. Los depósitos aluviales se depositan radialmente desde el ápice del abanico localizado en la salida de la corriente de las montañas. Los canales fluyen cortando el abanico, siendo más profundos en el ápice del abanico y más someros al alejarse de él. Su tamaño puede alcanzar varios kilómetros de largo y de ancho. (Fotografía 54)





Fotografía 54. Abanico Fluviotorrencial. E 4833926,803; N 2174353,221  
Fuente: GEB. (2018).

- Barra puntual (Fbp)

Cuerpo en forma de medialuna de morfología suave ondulada, compuesta de crestas y artesas curvas de poca altura. Estos cuerpos se localizan en la parte cóncava de los meandros de los ríos, como producto de la acumulación de sedimentos erodados de la parte convexa del cauce. Su depósito está constituido por sedimentos generalmente arenosos finos y materiales arcillosos en las artesas. Cuando se dan procesos de migración lateral del cauce, la acumulación de este tipo de barras, pueden conformar conjuntos sencillos o complejos de orillales (Fotografía 55).



Fotografía 55. Identificación de barra puntual en quebrada de la zona aledaña a la torre TVA082. E 4674830; N 2057918

- Cauce fluvial (Fca)

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos. Cuando las corrientes fluyen en zonas semiplanas a planas (llanura aluvial), los cauces son de tipo meándrico o divagante, como producto del cambio súbito de la dirección del flujo. Dependiendo de la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras unidades asociadas (Fotografía 56).



Fotografía 56. Cauce fluvial del río Tuluá en el sector de Platanares  
E 4649938; N 2022986

- Laguna (Flg)

Depósito natural de agua de dimensiones inferiores, en relación a los lagos tanto en área como en profundidad. Dicha profundidad varía de acuerdo a las condiciones ambientales donde se localice y a su grado de colmatación (acumulación de sedimentos). Las lagunas de origen fluvial, se relacionan con la inundación de antiguas depresiones durante la época de alta pluviosidad, estas pueden permanecer incluso en épocas secas ya que son pobremente drenadas (Fotografía 57).



Fotografía 57. Registro de las lagunas identificadas en el área de caracterización.

- Planicie aluvial confinada (Fpac)

Franja de terreno de morfología plana, muy angosta eventualmente inundable, en forma de “U”, limitada por otras geoformas de morfología colinada, alomada o montañosa, que bordean los cauces fluviales, en los cuales se observa el estrangulamiento o estrechamiento del mismo. Constituida por material aluvial (arenas, limos y arcillas). (Fotografía 58)



Fotografía 58. Vista a la geoforma Planicie aluvial confinada  
E 4665754,36; N 2041223,00

- Plano o llanura de inundación (Fpi)

Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de “U” o “V”, al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. En regiones montañosas, donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal, en red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad, se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial (Fotografía 59).



Fotografía 59. Vista a la geforma de Llanura de inundación. Tomada con vista al oeste desde el punto E 4645548; N 1947458.

- Planicie y delta lacustrino (Fpla)

Superficie extensa de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes de varios metros de altura. Su origen está relacionado al desplazamiento lateral del cauce de un río dentro de la llanura aluvial. Su depósito está constituido por arcillas con intercalaciones locales de arenas finas con niveles delgados de gravas y turbas concordantes, producto de la acumulación de materiales transportados por las corrientes. (Fotografía 60)





Fotografía 60. Planicie y delta lacustrino (Fpla). E 4758772,807; N 2161071,134  
Fuente: GEB. (2018).

- Terraza de acumulación (Fta)

Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un río. Su origen está relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Estas terrazas pueden ser parte de cauces rectos a meándricos. Su depósito está constituido por gravas arenas, limos y arcillas, con disminución del tamaño a medida que se aleja del cauce del río. (Fotografía 61)



Fotografía 61. Fotografía con vista a la geoforma Terraza de acumulación. Tomada desde el punto E 4671218,89; N 2051511,66

- Escarpe de terraza de acumulación (Ftae)

Plano vertical a subvertical, escalonado, excavado en sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación. Su origen está relacionado a la incisión y profundización del cauce. La altura de los escarpes puede alcanzar decenas de metros. (Fotografía 62)



Fotografía 62. Escarpe de terraza de acumulación (Ftae) E 4652697,24; N 2008644,68  
Fuente: GEB. (2018).

- Terraza de acumulación subreciente (Ftas)

Superficie plana a suavemente inclinada, remanente de terrazas subrecientes de morfología ondulada, disectadas, localmente basculadas, con inclinaciones entre 3° a 5°, aunque algunos sectores pueden alcanzar los 10° donde se presenta limitada por escarpes de 5 a 20 m. Su origen está relacionado a la ampliación del valle de un río, al ganar importancia la erosión en sus márgenes. La superficie de la anterior llanura aluvial queda adosada a las márgenes del valle en forma de escalón o resalte topográfico que define la terraza. Pueden estar cubiertas por suelos arcillosos fluviales. Su depósito está constituido por arenas, arcillas e intercalaciones locales de grava fina. (Fotografía 63)



Fotografía 63. Vista a la geoforma Terraza de acumulación subreciente.  
E 4654691,47; N 2016765,70

#### 5.1.4.3.3 Ambiente Estructural

Estas geoformas están relacionadas con la tectónica de la zona, directamente con las fallas y plegamientos que se identificaron en el área de caracterización y AI Física. Su expresión geomorfológica es muy resaltada ya que la tendencia a la variación de la resistencia de los materiales es notoria. En el área de caracterización estas geoformas ocupan el 31.63 % de la superficie, relacionadas principalmente con las fallas Quebrada Nueva, Palmira - Buga La Grande, Guabas - Pradera, Potrerillos y el Sistema de fallas del Romeral, además de lineamientos identificados en la zona y pliegues sinclinales y anticlinales (Tabla 14 y Figura 42 y Anexo D2.1).

Las morfoestructuras relacionadas con las geoformas estructurales identificadas se muestran en la Figura 42 y con detalle en el Anexo D1.1. Se describen en el numeral [5.1.2.](#)

Tabla 14. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente estructural

AMBIENTE	CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (ha)	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (ha)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (%)
ESTRUCTURAL	Ses	Espolón	29,95	0,20	0,0	0,00
	Slcp	Ladera contrapendiente	696,34	4,69	24,15	5,70
	Sife	Escarpe de línea de falla	585,14	3,94	5,84	1,38
	Ssan	Sierra anticlinal	1052,66	7,09	37,22	8,78
	Ssbe	Sierra de barras estructurales	734,56	4,95	14,48	3,42
	Sslp	Sierra y lomo de presión	2053,41	13,83	70,37	16,59
	Sss	Sierra sinclinal	2665,91	17,95	52,77	12,44
	Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	1653,93	11,14	134,68	31,76
	Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	56,20	0,38	6,92	1,63
	Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	4116,80	27,72	14,59	3,44
	Sp	Plancha	1204,66	8,11	63,07	14,87
<b>TOTAL</b>			<b>14849,55</b>	<b>100</b>	<b>424,09</b>	<b>100,00</b>



- Espolón (Ses)

Saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollados sobre rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias y limitado por drenajes paralelos a subparalelos. Con laderas de longitudes variables, con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos. (Fotografía 64)



Fotografía 64. Fotografía con vista a la geoforma Espolón  
E 4663708,058; N 2034378,64

- Ladera contrapendiente (Slcp)

Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a muy escarpadas. En esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros). (Fotografía 65)



Fotografía 65. Fotografía con vista a la geoforma Ladera contrapendiente.  
E 4675157,91; N 2058078,13

- Escarpe de línea de falla (Slfe)

Plano vertical a subvertical corto a muy corto, cóncavo a convexo de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada. (Fotografía 66)



Fotografía 66. Escarpe de falla. E 4646782,59; N 1957224,00  
Fuente: GEB. (2018).

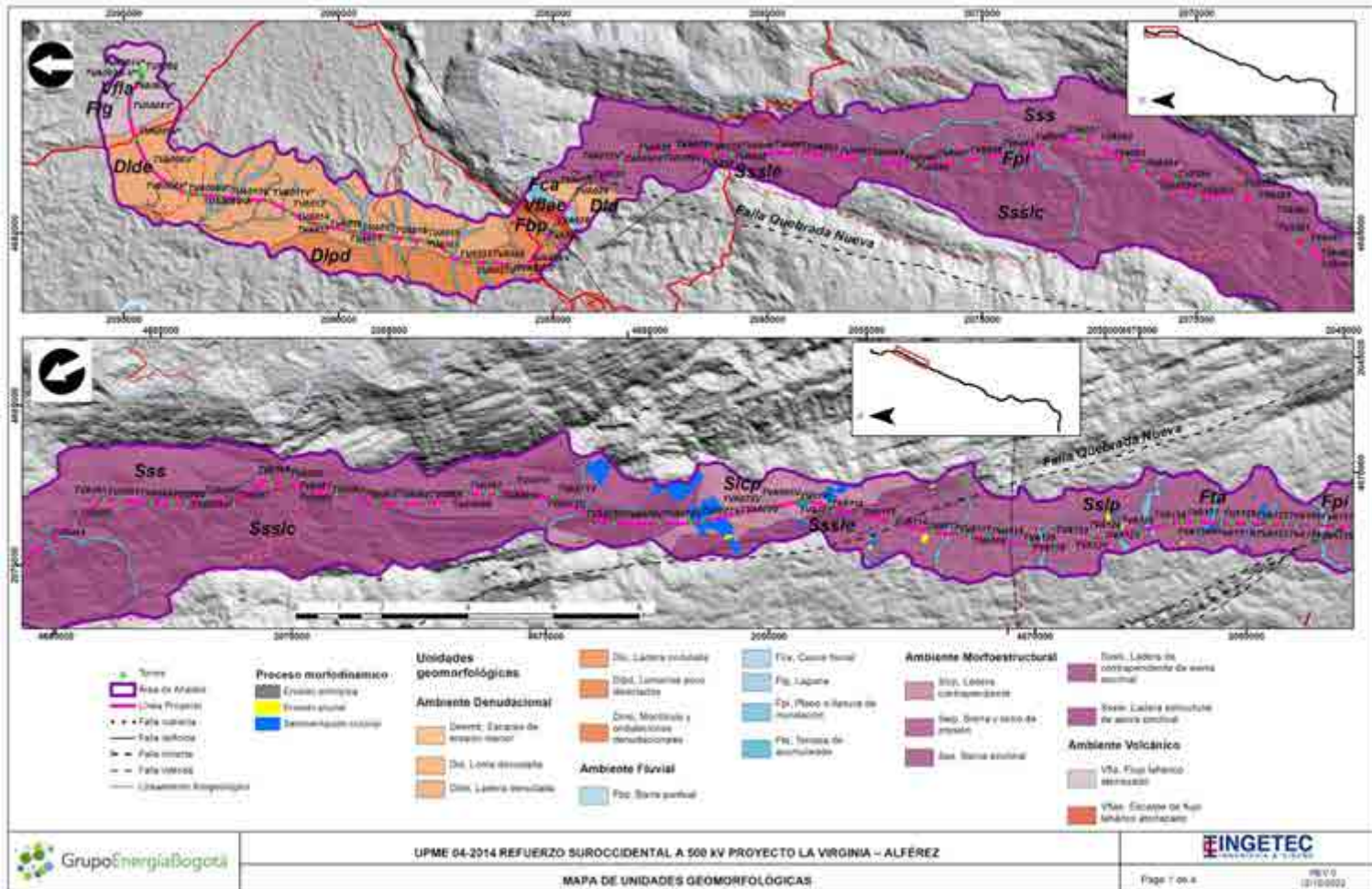
- Sierra anticlinal (Ssan)

Prominencia topográfica elongada de morfología montañosa, de cimas o crestas agudas o redondeadas, limitada por laderas estructurales inclinadas a muy abruptas, rectas o convexas y de longitudes largas. El eje de la estructura está formado por el arqueamiento de los estratos o capas que se inclinan de manera divergente. (Fotografía 67)



Fotografía 67. Fotografía con vista a la Sierra anticlinal.  
E 4657501,35; N 2025064,79







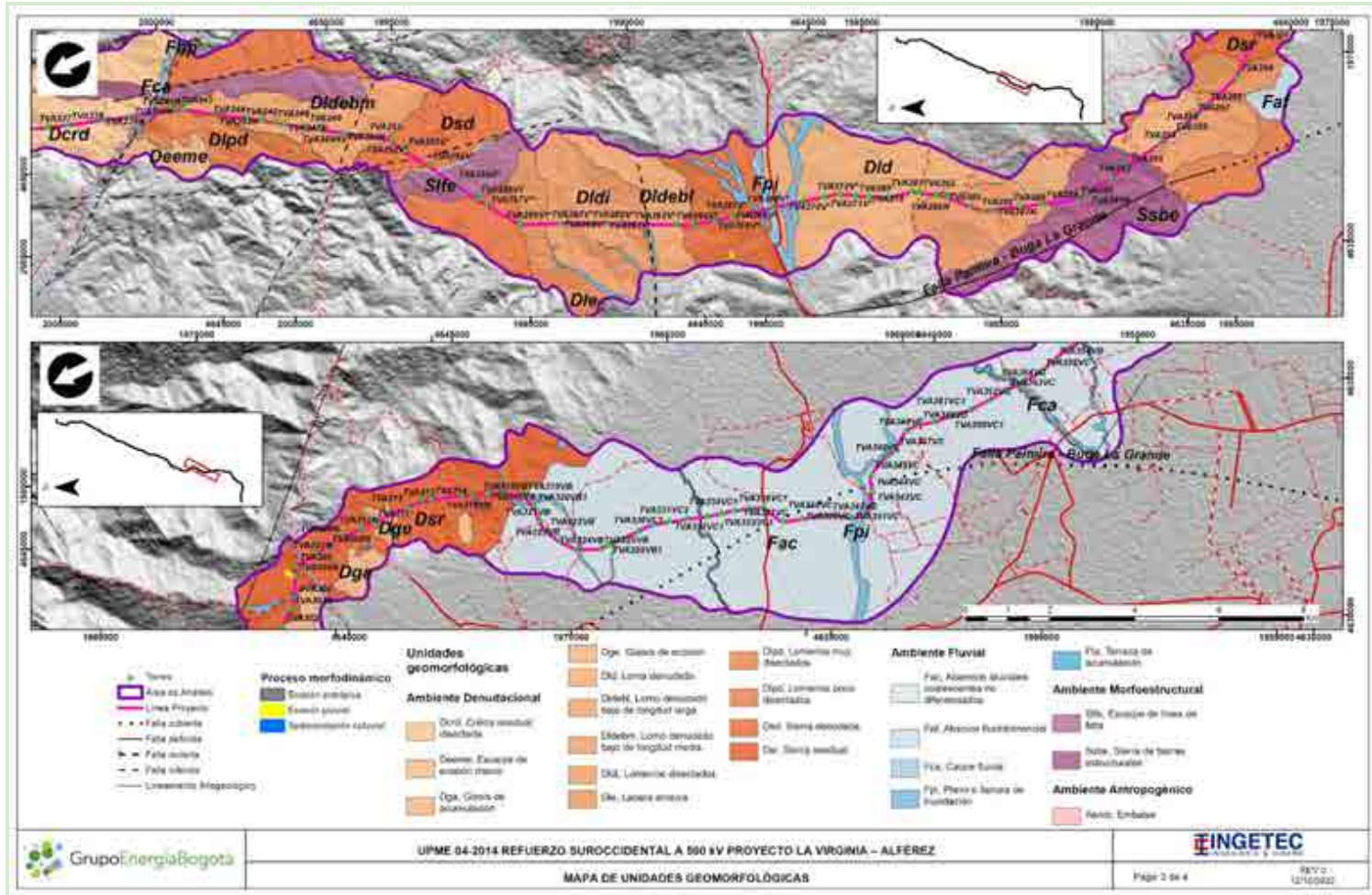


Figura 42. Área donde se localizan las principales geofomas de origen estructural del área de caracterización.

- Sierra de barras estructurales (Ssbe)

Prominencia topográfica elongada de morfología alomada de laderas irregulares a escalonadas cortas, definidas por la disposición estructural vertical o casi vertical de secuencias sedimentarias y metamórficas foliadas (Fotografía 68).



Fotografía 68. Vista panorámica de la geofoma de Sierra de barras estructurales en el sector del Alto de Guacas. E 4638300; N 1982269

- Sierra y lomo de presión (Sslp)

Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen está relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso. (Fotografía 69)



Fotografía 69. Sierra y lomo de presión. E 4671611,02; N 2052334,03

- Sierra sinclinal (Sss)

Prominencia topográfica, en forma de artesa, formada en el eje de un sinclinal, limitada por laderas de contrapendiente. La disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales que han desmantelado los flancos de la estructura invirtiendo el relieve original. (Fotografía 70)



Fotografía 70. Sierra sinclinal. E 4658652,94; N 2026786,61

- Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc)

Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma irregular o escalonada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada al flanco de una sierra sinclinal (Fotografía 71).





Fotografía 71. Vista panorámica de la geoforma Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal en el sector de San Isidro. E 4677737; N 2064014

- Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale)

Superficie con estratos inclinados a favor de la pendiente, de longitud corta, formas convexa a recta y pendiente inclinada a muy abrupta, relacionada al flanco de una estructura anticlinal. Localmente los estratos se presentan con inclinaciones menores de la pendiente natural del terreno. (Fotografía 72)





Fotografía 72. Vista panorámica de la geoforma Ladera estructural de sierra anticlinal  
E 4663759,75; N 2035686,36

- Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)

Superficie definida por estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, conformando una artesa, de longitud corta a moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas, relacionada al flanco de una estructura sinclinal. (Fotografía 73)



Fotografía 73. Ladera estructural de sierra sinclinal. E 4680736,44; N 2078854,01  
Fuente: GEB. (2018).

- Plancha (Sp)

Ladera en capas o estratos inclinados a favor de la pendiente de longitud variable que se presentan como laderas festoneadas o dentadas hacia arriba con pendientes muy abruptas a escarpadas. Su origen obedece a procesos de plegamiento o erosión diferencial que ocurre sobre una secuencia de estratos delgados duros y blandos. (Fotografía 74)



Fotografía 74. Vista panorámica de la geofoma Plancha.  
E 4667696,04; N 2044469,53

#### 5.1.4.3.4 Ambiente Volcánico

Estas geofomas identificadas tienen relación con la actividad volcánica que ha tenido el área. En el área de caracterización estas geofomas ocupan el 0,65% de la superficie, se localizan en el área correspondiente al municipio de Pereira y producto de la actividad del Volcan nevado del Ruiz (Tabla 15, Figura 43 y Anexo D2.1).

Tabla 15. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente volcánico

AMBIENTE	CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN ha	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (ha)	ÁREA DENTRO DEL AI DE INFLUENCIA FÍSICA (%)
VOLCÁNICO	Vfla	Flujo lahárico aterrazado	267,06	86,97	9,23	87,31
	Vflae	Escarpe de flujo lahárico aterrazado	40,02	13,03	1,34	12,69
<b>TOTALES</b>			<b>307,09</b>	<b>100,00</b>	<b>10,57</b>	<b>100</b>

- Escarpe de flujo lahárico aterrazado (Vflae)

Ladera casi vertical de longitud y altura variadas, de forma cóncava o convexa, presente en los bordes de la superficie de remanentes de un depósito de flujo lahárico. Su génesis está asociada a la incisión y socavación de las corrientes hídricas en los depósitos de un lahar o flujo de escombros.

- Flujo lahárico aterrazado (Vfla)

Lóbulo alomado de aspecto tabular y plano suavemente inclinado ( $2^{\circ}$  -  $3^{\circ}$ ), con escarpes de diferente altura. Localmente se localiza paralelo a los ríos a los cuales limita. Su génesis está asociada a la acumulación de productos volcánicos previamente depositados o generados durante la erupción, que han sido mezclados o removidos por cuerpos de aguas superficiales (lagos, ríos, lagunas o provenientes del derretimiento de hielo o nieve durante una erupción). Estos depósitos así acumulados van quedando elevados conforme la corriente hídrica va erosionando y recobrando su cauce. (Fotografía 75)



Fotografía 75. Flujo laharico aterrazado. E 4681977,84; N2095379,84  
Fuente: GEB. (2018).



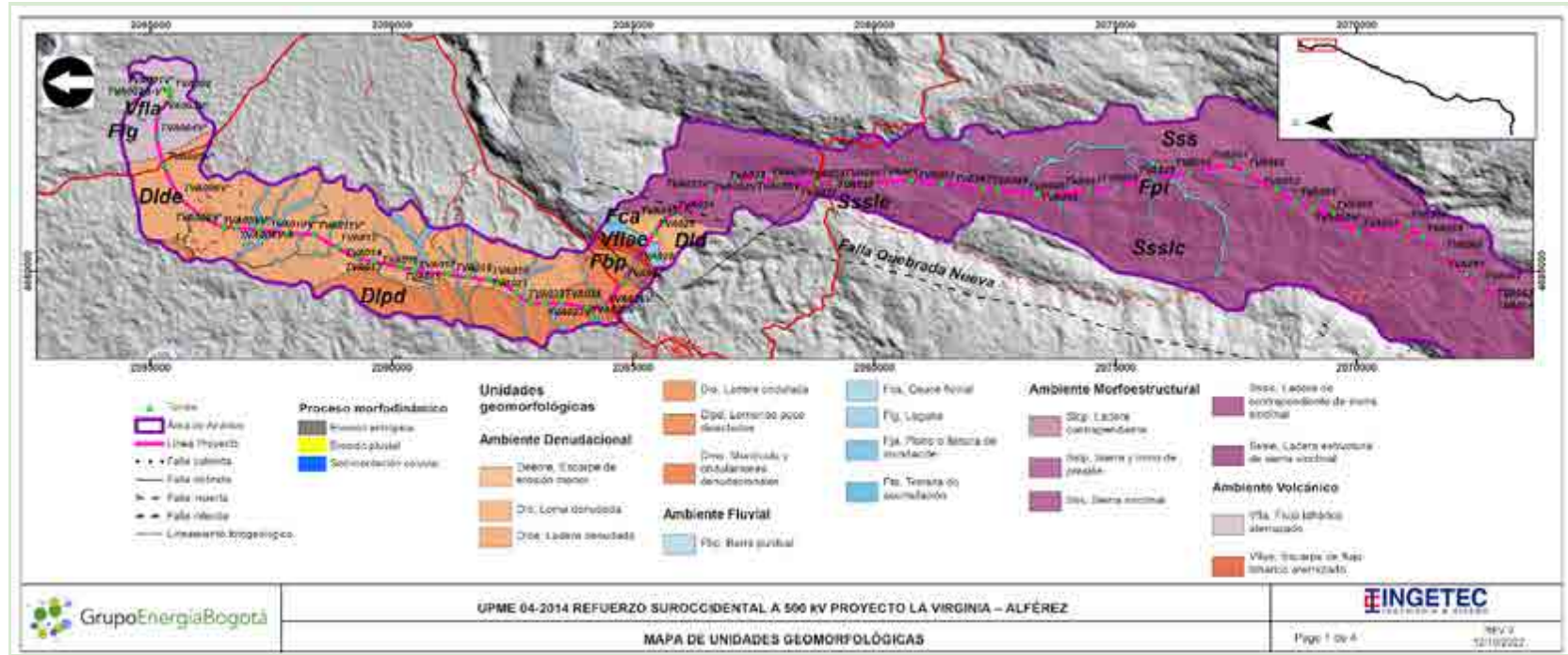


Figura 43. Zona donde se localizan las unidades geomorfológicas de origen volcánico.

#### 5.1.4.3.5 Ambiente Antropogénico

En el área de caracterización estas geoformas ocupan el 0,089% de la superficie, se localizan en el área correspondiente al municipio de Guacarí, relacionada con el embalse Pichichí. (Tabla 16, Figura 44 y Anexo D2.1 )

- Embalse (Aemb)

Acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. La obstrucción del cauce puede ocurrir por causas naturales como, por ejemplo, el derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, la acumulación de placas de hielo o las construcciones hechas por los castores, y por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas. (Fotografía 76)



Fotografía 76. Embalse (Aemb). E 4621018,94; N 1975631,69

- Rellenos sanitarios (Arb)

Montículos alomados o aterrazados formados por la acumulación de desechos orgánicos o industriales sin diferenciar, los cuales son dispuestos de manera mecánica o manual.

Tabla 16. Relación de unidades geomorfológicas de ambiente antropogénico

AMBIENTE	CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (ha)	ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)	ÁREA DE INFLUENCIA FÍSICA (ha)	ÁREA DE INFLUENCIA FÍSICA (%)
ANTROPOGÉNICO	Arb	Rellenos sanitarios	6,86	16,37	0,00	0,00
	Aemb	Embalse	35,04	83,63	0,00	0,00
<b>TOTALES</b>			<b>41,90</b>	100	0,00	0,00

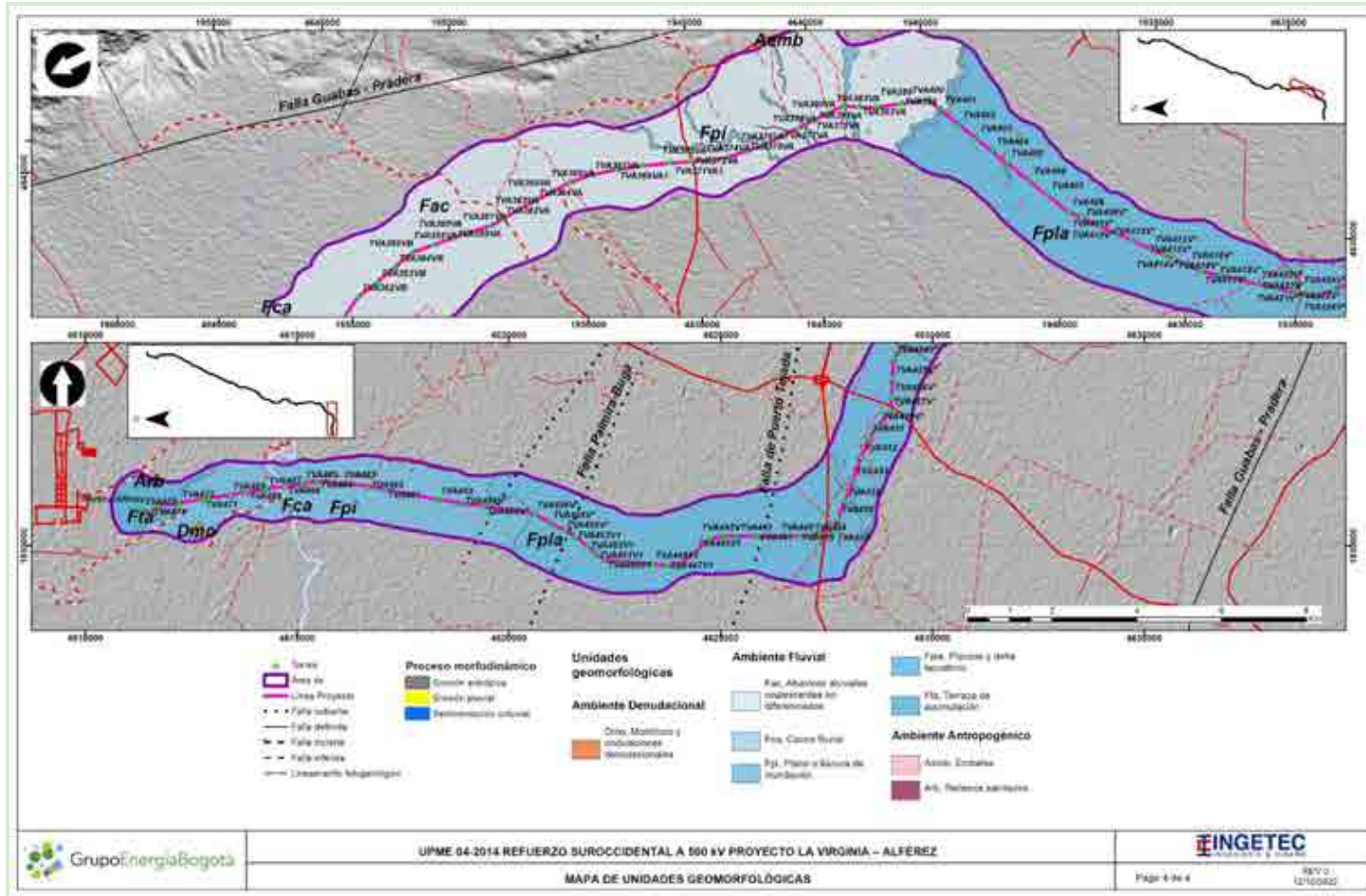


Figura 44. Zona donde se localizan las unidades geomorfológicas de origen Antropogénico.

#### 5.1.4.4 Procesos Morfodinámicos

El área de influencia del Componente Geosférico presenta procesos exógenos los cuales acogen los elementos determinantes en la generación de movimientos en masa. Los procesos geomorfológicos que existen en la zona corresponden a procesos denudativos erosivos y de movimientos en masa locales.

La identificación de los procesos morfodinámicos para el área de caracterización se realizó principalmente por medio de la interpretación de imágenes satelitales u ortofotos tomadas en los años 2016 y 2020. Por medio de estas imágenes se identificaron y clasificaron los procesos presentes en el área de caracterización del trazado energético, destacando sus principales rasgos.

Los movimientos en masa se clasificaron por Varnes (1978) y Cruden y Varnes (1996) que corresponden a procesos erosivos y puntualmente deslizamientos, los cuales no se encuentran a menos de 100 m de los sitios de torre para la zona de servidumbre. Sin embargo se presenta un análisis del área de mayor extensión “área de caracterización”, indicando los procesos allí presentes, por lo cual para cada uno de los análisis se presentan tanto los procesos del área de caracterización como la del área de servidumbre (Al física), ampliando la interpretación en el área de servidumbre con información correspondiente a cada uno de los procesos encontrados. La correlación de los procesos morfodinámicos, los ambientes geomorfológicos, geofomas y las unidades geológicas expuestas se resumen en la Tabla 11.

El análisis multitemporal permite identificar el cambio que han tenido las laderas respecto a procesos de degradación durante el tiempo y en la etapa actual de la caracterización de la línea base.

Se realizó un análisis multitemporal para la zona del proyecto, con énfasis en procesos de inestabilidad de laderas, evaluando la dinámica a lo largo del tiempo.

Para ello, se analizaron ortofotografías de la zona, las cuales se encuentran a diferente escala y abarcan diferente área. Estas fotografías del área del proyecto fueron registradas en los años 2016 y 2020. El trabajo de interpretación se realizó a escala 1:10.000 como lo indican los términos de referencia, sin embargo para la ortofoto del año 2020 que presenta mayor resolución la escala de análisis fue mucho mayor, alcanzando la visualización a 1:2.000.

A continuación se presentan los resultados encontrados en el análisis de las dos épocas.



#### 5.1.4.4.1 Procesos morfodinámicos imagen año 2016

En el análisis fotogeológico realizado con énfasis en procesos de remoción en masa, en el aérea se observa a mayor detalle zonas de geformas principalmente denudacionales con erosión lineal concentrada. Se presentan zonas con procesos erosivos como principal degradación en el área, sectores con aumento de erosión a desarrollo de surcos y cárcavas.

Se corrobora la existencia de los escarpes estructurales erodados asociados a las estructuras (fallas y pliegues) identificadas en la geología estructural, al igual que los procesos de remoción en masa y procesos de sedimentación aluvial y coluvial, los cuales concuerdan con la litología cuaternaria presente en la zona.

En general la zona de caracterización se identificaron 297 sectores con procesos morfodinámicos donde se encuentran principalmente erosión laminar y antrópica. Estos sectores ocupan un área de 554,85 ha que corresponde al 1,18% del área de caracterización (Tabla 17 , Figura 45 y Anexo D2.2).

Tabla 17. Principales procesos morfodinámicos identificados en el área de caracterización

<b>TIPO DE PROCESO (DENUDATIVO)</b>	<b>ÁREA (Ha)</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
Erosión Antrópica	330,13	Latente
Erosión Laminar	224,72	Latente

Se realizó la identificación de los procesos que se encuentran dentro del área de influencia directa de las torres que corresponden al área de servidumbre, con presencia de 23 procesos los cuales corresponden a erosión laminar principalmente, erosión antrópica y en menor proporción erosión laminar.

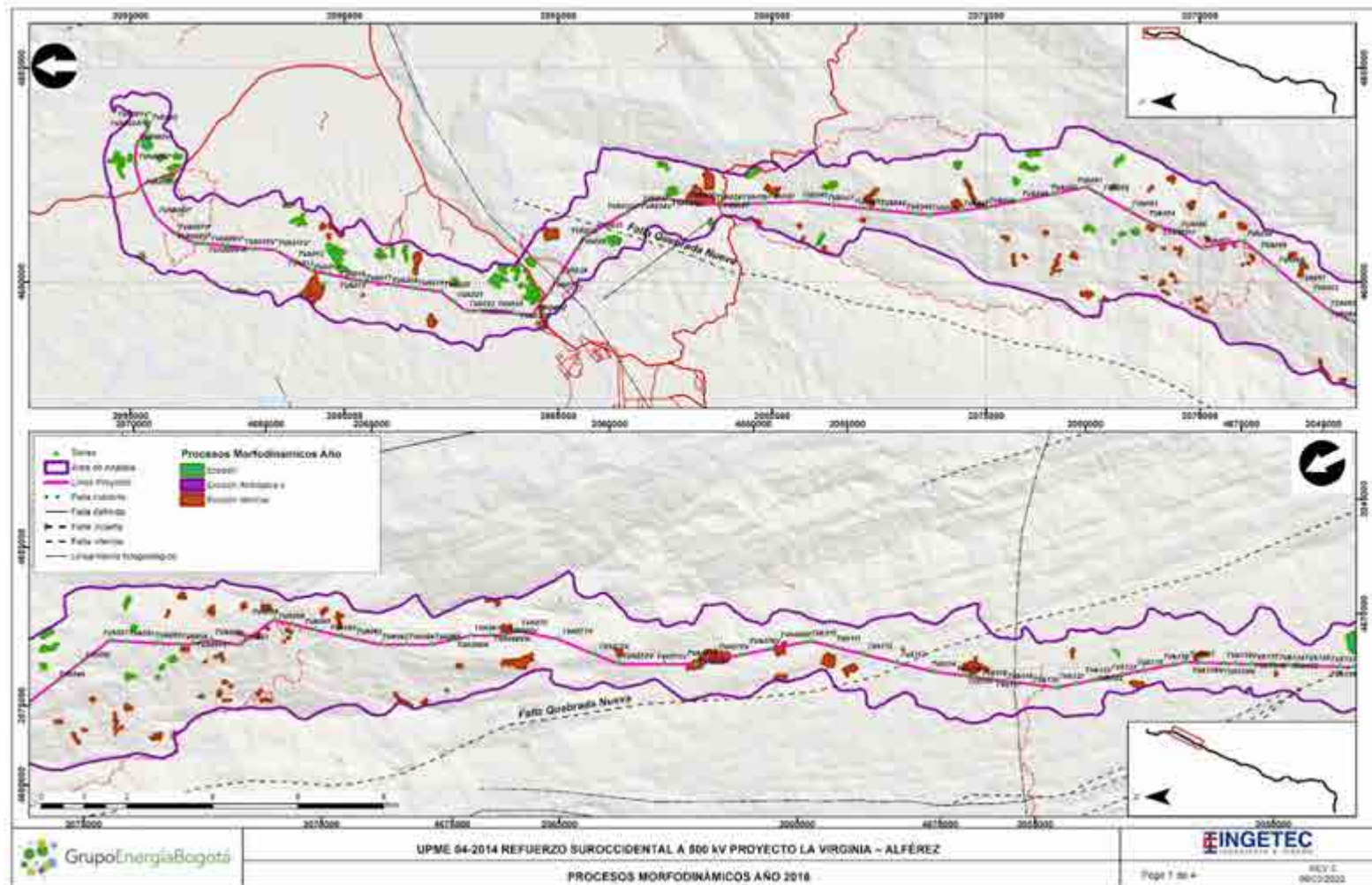
En la Tabla 18 se listan los procesos identificados en el área de servidumbre, las torres cercanas con posible afectación y la distancia o localización a éstas.

Tabla 18. Características principales de los procesos morfodinámicos identificados en el área de influencia física.

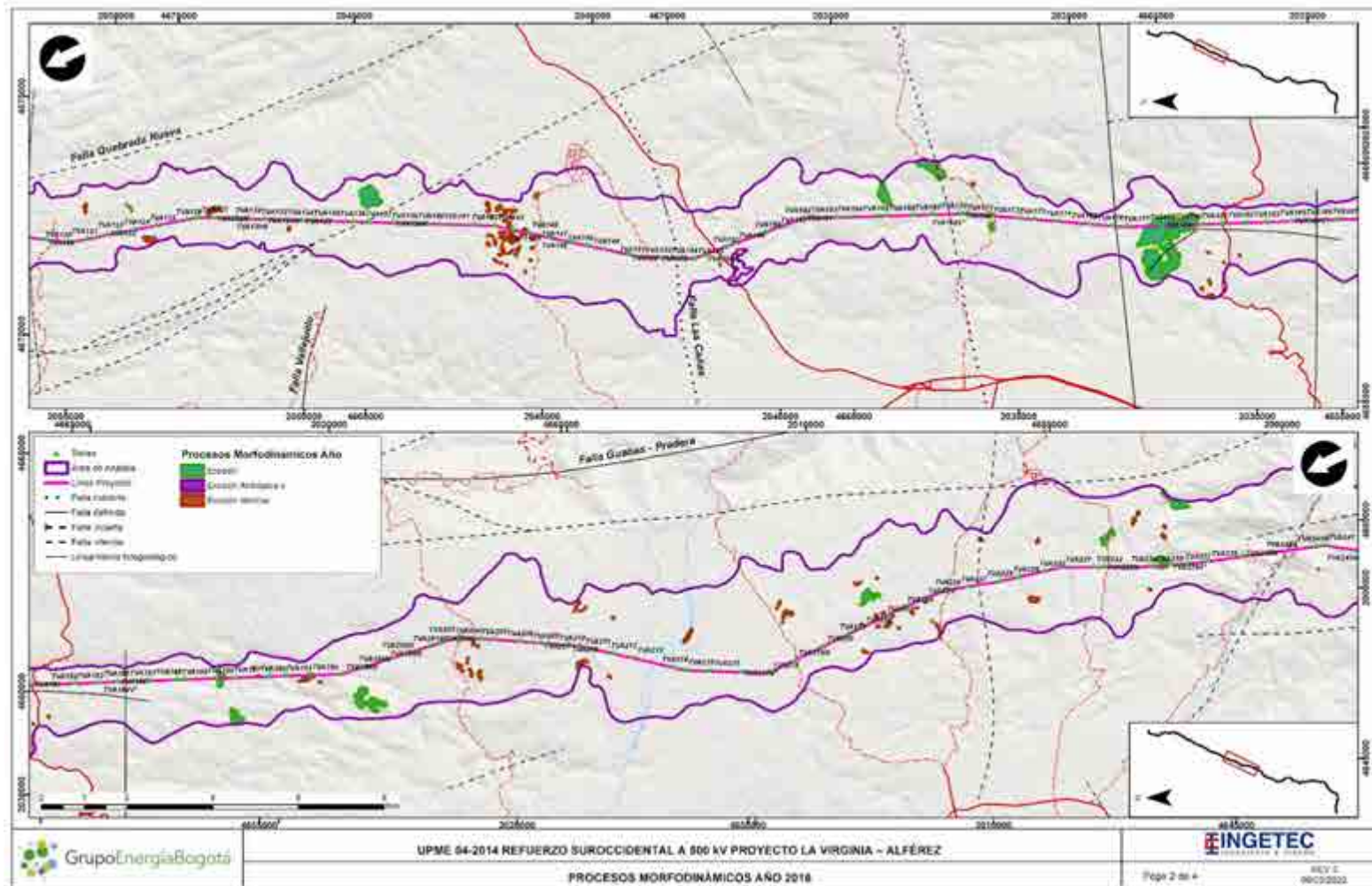
ID PROCESO	TIPO DE PROCESO	UNIDAD GEOLÓGICA	PENDIENTE		ÁREA PROCESO (ha)	TORRE MÁS CERCANA	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO RESPECTO A LA TORRE	FUENTE DE INFORMACIÓN	AÑO DE IDENTIFICACIÓN
			(%)						
PM-34	Denudativo/ Erosión Antrópica	Formación Zarzal	Mi	56,16	0,13	TVA027	Proceso a 129 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Fi	43,84					
PM-40	Denudativo/ Erosión laminar	Formación Zarzal	Mi	44,83	0,04	TVA017	Proceso a 306 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Fi	55,17					
PM-44	Denudativo/ Erosión laminar	Formación Cinta de Piedra	Li	0,02	2,74	TVA036	Proceso a 12 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Mi	0,55					
			Fi	23,97					
			Le	70,80					
			Me	4,66					
PM-56	Denudativo/ Erosión laminar	Formación Cinta de Piedra	Fi	10,20	0,05	TVA048	Proceso a 40 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Le	89,79					
PM-80	Denudativo/ Erosión laminar	Formación Cinta de Piedra	Fi	0,40	0,20	TVA058	Proceso a 223 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Le	99,60					
PM-81	Denudativo/ Erosión laminar	Formación Cinta de Piedra	Lp	3,27	0,02	TVA058	Proceso a 475 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Li	40,24					
			Mi	44,22					
			Fi	12,26					
PM-94	Denudativo/ Erosión laminar	Formación Cinta de Piedra	Le	100,00	0,02	TVA070	Proceso a 130 m de la torre	Imagen satelital	2016
PM-98	Denudativo/ Erosión laminar	Formación Cinta de Piedra	Li	0,11	4,92	TVA076V	Torre dentro del polígono del proceso	Imagen satelital	2016
			Mi	2,39					
			Fi	11,46					
			Le	72,87					
			Me	7,65					
			Fe	4,82					
			Te	0,70					
PM-101	Denudativo/ Erosión laminar	Formación Cinta de Piedra	Li	3,96	0,79	TVA079V	Proceso a 131m de la torre	Imagen satelital	2016
			Mi	7,50					
			Fi	19,39					

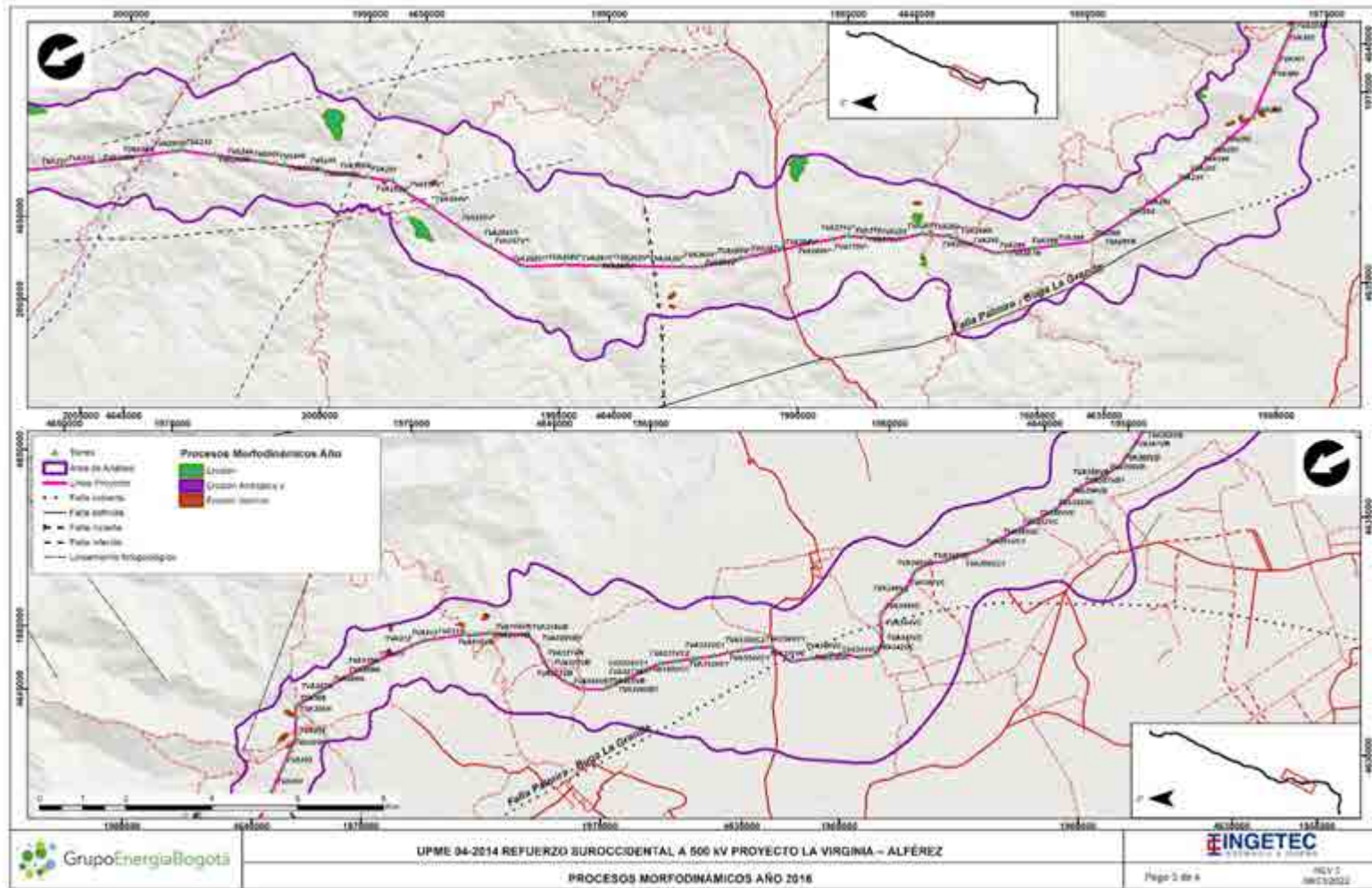
ID PROCESO	TIPO DE PROCESO	UNIDAD GEOLÓGICA	PENDIENTE		ÁREA PROCESO (ha)	TORRE MÁS CERCANA	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DEL PROCESO RESPECTO A LA TORRE	FUENTE DE INFORMACIÓN	AÑO DE IDENTIFICACIÓN
				(%)					
			Le	66,31					
			Me	2,84					
PM-157	Denudativo/ Erosión laminar	Formación La Pobreza	Lp	1,11	0,29	TVA144N	Proceso a 15m de la torre	Imagen satelital	2016
			Li	23,55					
			Mi	59,50					
			Fi	15,83					
PM-161	Denudativo/ Erosión laminar	Depósitos Aluviales	Li	5,53	0,14	TVA144N	Proceso a 68 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Mi	49,53					
			Fi	4,11					
			Mi	3,97					
			Fi	36,86					
PM-162	Denudativo/ Erosión laminar	Formación La Pobreza	Lp	1,93	0,81	TVA145	Proceso a 5 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Li	16,55					
			Mi	14,67					
			Fi	66,84					
PM-200	Denudativo/ Erosión Antrópica	Formación La Paila	Mi	0,03	0,96	TVA190	Proeso a 12 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Fi	7,24					
			Le	92,73					
PM-202	Denudativo/ Erosión laminar	Formación La Paila	Fi	2,74	0,22	TVA192	Proceso a 182 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Le	97,26					
PM-203	Denudativo/ Erosión laminar	Formación La Paila	Fi	3,70	0,05	TVA192	Proceso a 295 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Le	96,30					
PM-205	Denudativo/ Erosión laminar	Formación La Paila	Mi	0,01	0,46	TVA194	Torre dentro del polígono del proceso	Imagen satelital	2016
			Fi	6,75					
			Le	76,76					
			Me	16,49					
PM-206	Denudativo/ Erosión laminar	Formación La Paila	Fi	28,29	0,16	TVA194	Proceso a 107 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Le	71,71					
PM-241	Denudativo/ Erosión laminar	Depósitos de Conos Aluviales	Mi	100,00	0,00	TVA223	Proceso a 52 m de la torre	Imagen satelital	2016

ID PROCESO	TIPO DE PROCESO	UNIDAD GEOLÓGICA	PENDIENTE		ÁREA PROCESO (ha)	TORRE MÁS CERCANA	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DEL PROCESO RESPECTO A LA TORRE	FUENTE DE INFORMACIÓN	AÑO DE IDENTIFICACIÓN
				(%)					
PM-264	Denudativo/ Erosión Antrópica	Batolito de Buga	Fi	17,45	0,59	TVA236V*	Proceso a 18 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Le	75,66					
			Me	6,89					
PM-268	Denudativo/ Erosión laminar	Macizo Ofiolítico de Ginebra	Fi	11,95	0,13	TVA252V*	Proceso a 188 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Le	71,11					
			Me	16,94					
PM-291	Denudativo/ Erosión Antrópica	Formación La Paila	Lp	0,47	3,34	TVA178	Torre dentro del polígono del proceso	Imagen satelital	2016
			Li	0,42					
			Mi	2,75					
			Fi	27,48					
			Le	68,88					
			Me	0,00					
PM-292	Denudativo/ Erosión Antrópica	Formación La Paila	Li	1,19	3,34	TVA179	Torre dentro del polígono del proceso	Imagen satelital	2016
			Mi	3,84					
			Fi	24,12					
			Le	70,85					
			Me	0,00					
PM-295	Denudativo/ Erosión laminar	Macizo Ofiolítico de Ginebra	Mi	4,98	0,05	TVA299	Proceso a 43 m de la torre	Imagen satelital	2016
			Fi	32,47					
			Le	62,55					









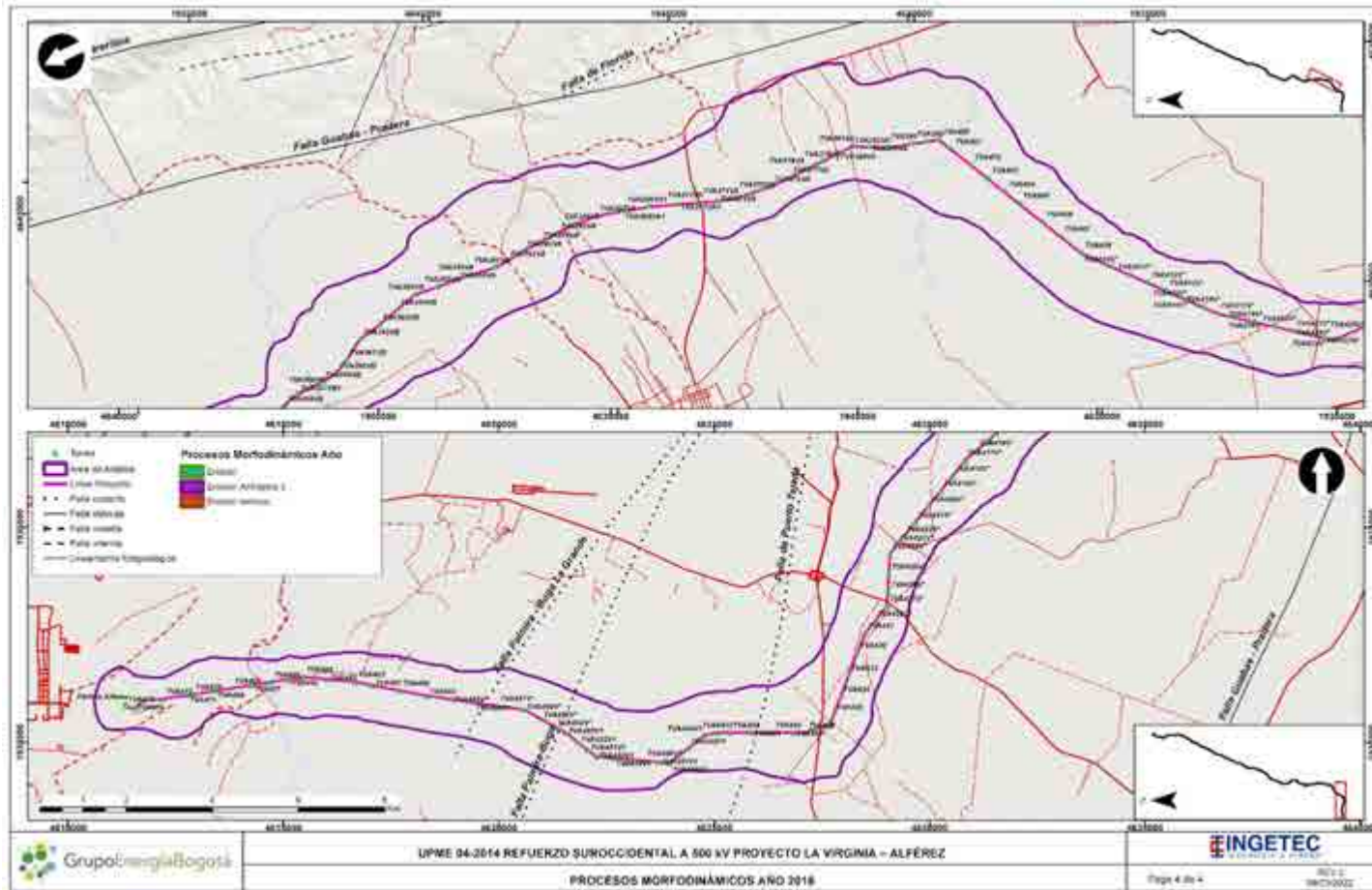


Figura 45. Análisis de procesos morfológicos - Año 2016



#### 5.1.4.4.2 Procesos morfodinámicos imagen año 2020

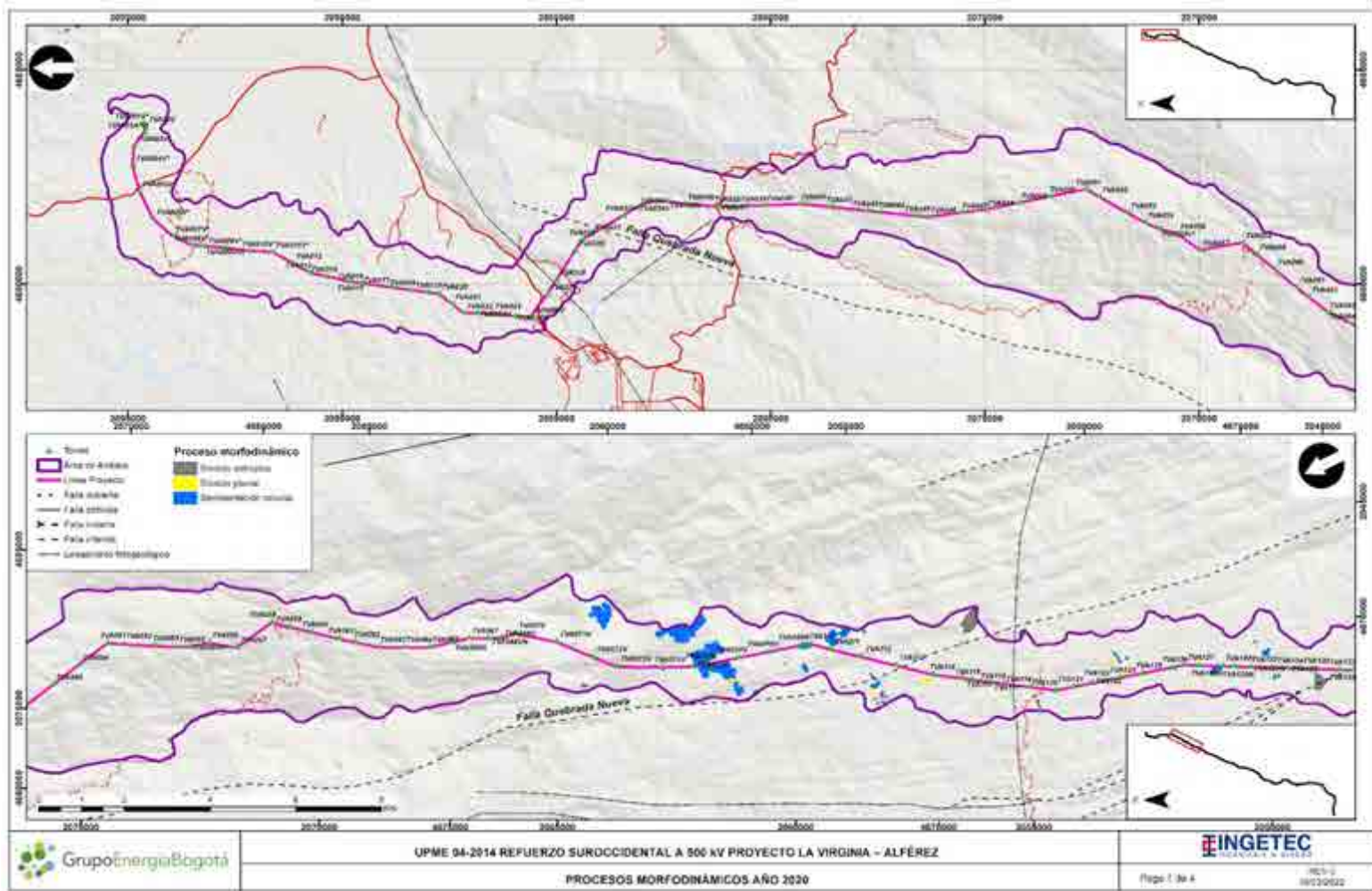
En el análisis e interpretación de esta imagen se puede identificar que existe aumento de procesos, aunque se evidencia una recuperación de la cobertura vegetal. Se identificaron procesos que afectan los suelos de la zona; sin embargo, casi en la totalidad de éstos se encuentran fuera del área de implantación de la torre.

En el área de caracterización se identificaron 255 sectores con procesos de remoción en masa, clasificados de tipo constructivo o depositacional, así mismo de tipo denudativo principalmente, con procesos como remoción en masa (cárcavas, flujos, deslizamientos rotacionales, reptaciones, surcos y terracetos), erosión laminar y antrópica.

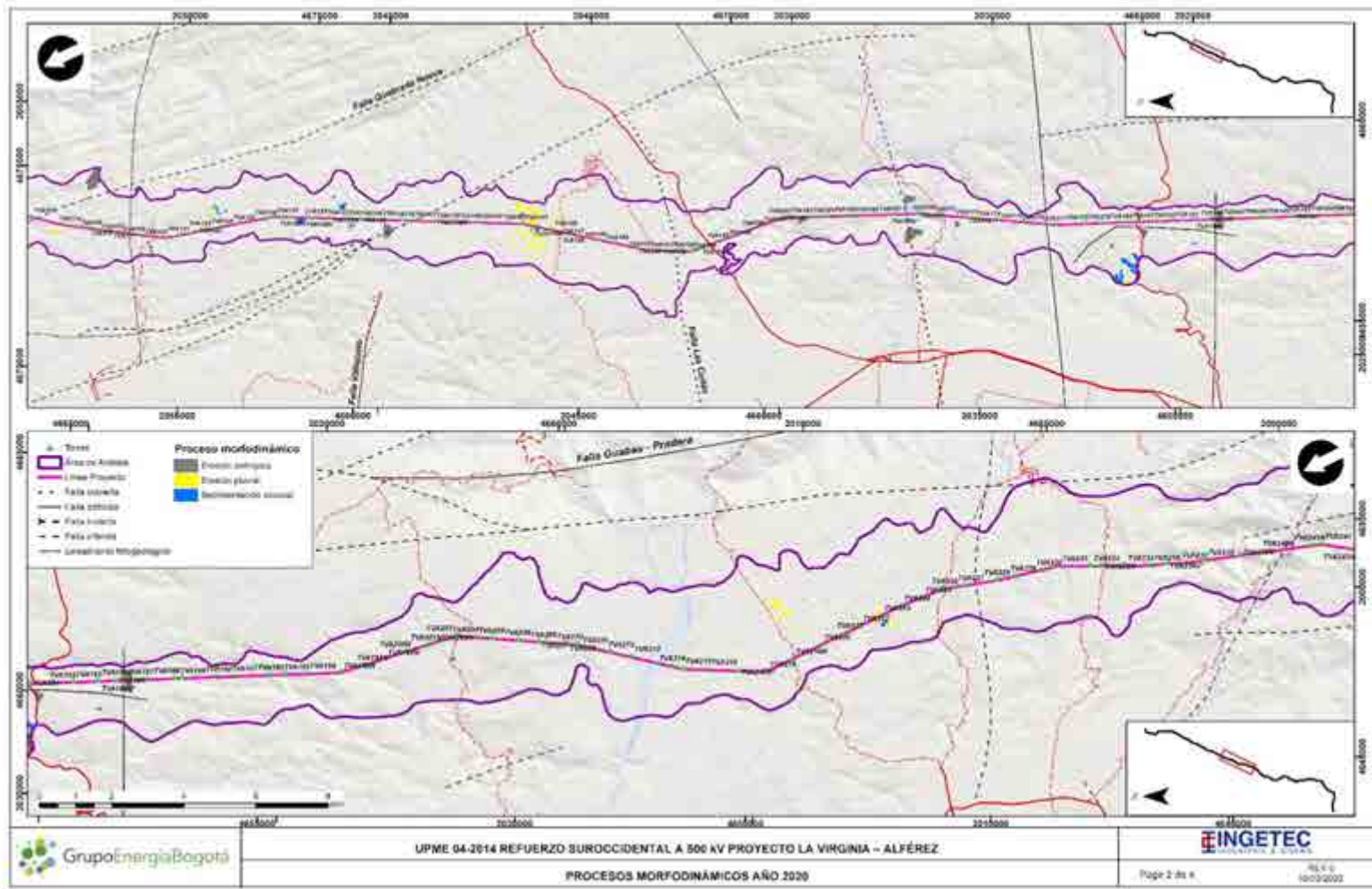
En la Tabla 19 se presentan los procesos identificados agrupados por su tipo de proceso, donde se indica el área que ocupa y se pueden observar espacialmente en la Figura 46 y Anexo D2.2

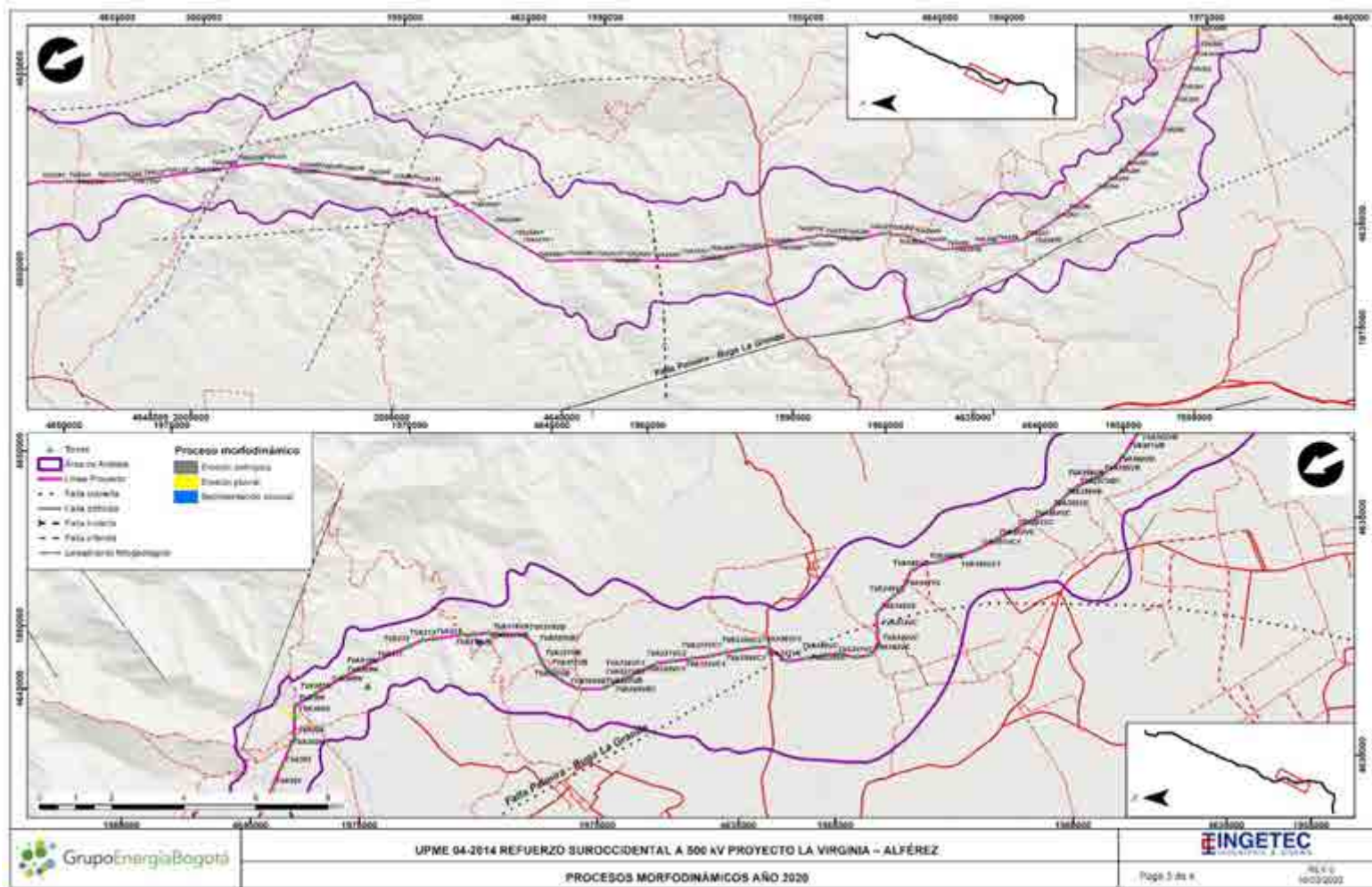
Tabla 19. Procesos morfodinámicos actuales en el área de caracterización

OBSERVACIÓN (TIPO PROCESO DENUDATIVO)	ÁREA (Ha)	ACTIVIDAD
Acarcavamiento y erosión laminar intensa	0,45	Latente
Cárcava	0,99	Latente
Erosión Antrópica	41,90	Latente
Erosión Laminar	14,66	Latente
Flujo	0,31	Latente
Flujo de detritos	10,91	Latente
Deslizamiento Reptación	1,65	Latente
Surcos	1,10	Latente
Terracetos	93,88	Latente
Deslizamiento Rotacional	0,07	Latente









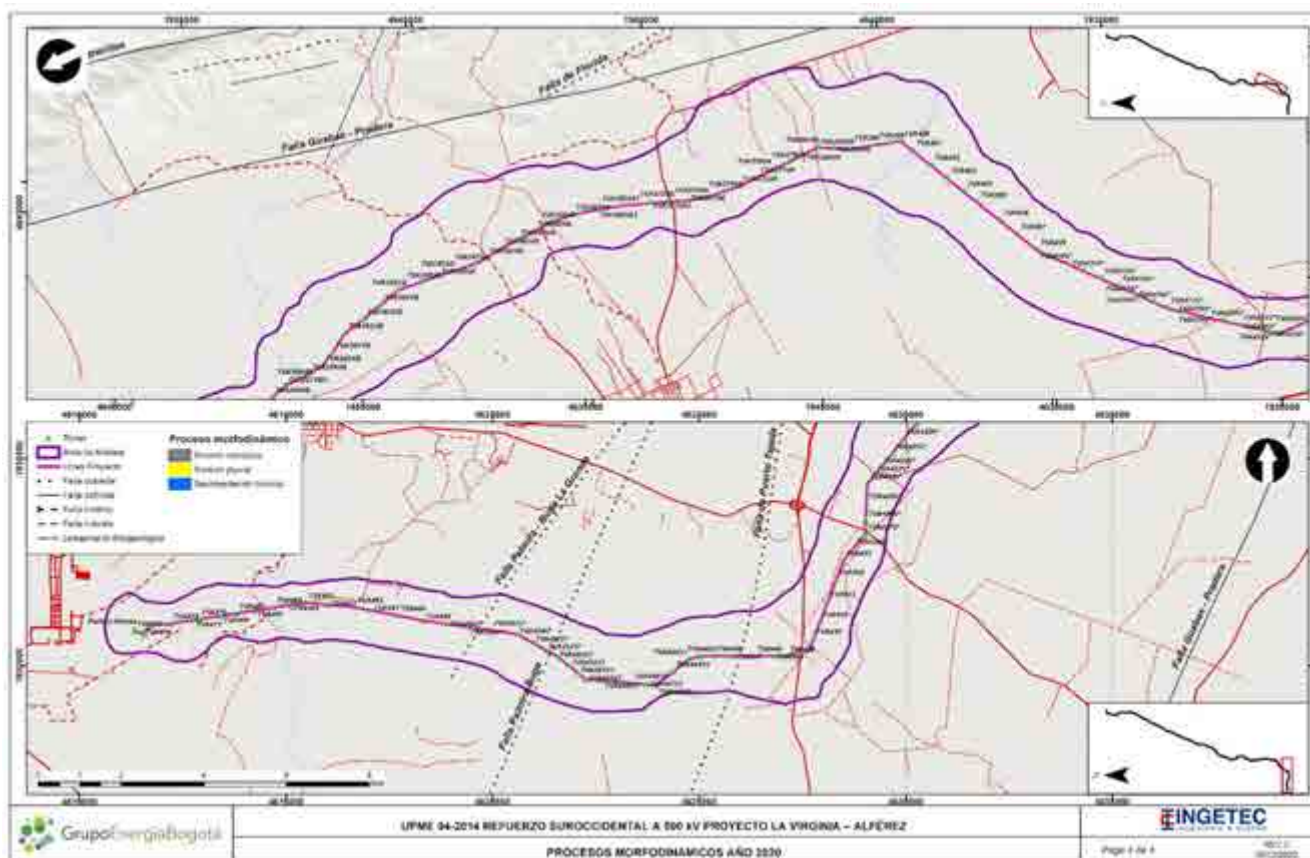


Figura 46. Mapa de procesos morfodinámicos recientes en la zona de análisis

---

Se realizó la identificación de los procesos que se encuentran dentro del área de influencia directa de las torres que corresponden al área de servidumbre, allí se identificaron 21 procesos que corresponden principalmente a erosión laminar; también se identificó erosión antrópica, en menor proporción terracetos y flujos de detritos muy locales.

En la Tabla 20 y Tabla 21 se listan los procesos identificados en el área de servidumbre, las torres cercanas con posible afectación, la distancia o localización a éstas y las características de los materiales afectados.



Tabla 20. Procesos de remoción en masa dentro del AI Física.

ID PROCESO	TIPO DE PROCESO	UNIDAD LITOLÓGICA	PENDIENTE		ÁREA PROCESO (ha)	TORRE MÁS CERCANA	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO RESPECTO A LA TORRE	FUENTE DE INFORMACIÓN	AÑO DE IDENTIFICACIÓN
				(%)					
PM-5	Denudativo /Erosión Antrópica	Formación Cinta de Piedra	Fi	9,0	0,34	TVA075V	Proceso a 164 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Le	91,0					
PM-6	Denudativo /Erosión Antrópica	Formación Cinta de Piedra	Le	100,0	0,02	TVA075V	Proceso a 147 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
PM-7	Denudativo /Erosión Antrópica	Formación Cinta de Piedra	Fi	87,0	0,09	TVA075V	Proceso a 30 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Le	13,0					
PM-12	Deslizamiento - Terraceta	Formación Cinta de Piedra	Mi	4,2	5,01	TVA077V	Torre incluida en el área del proceso	Imagen Satelital	2020
			Fi	17,2					
			Le	37,9					
			Me	37,5					
			Fe	3,1					
PM-14	Deslizamiento - Terraceta	Formación Cinta de Piedra	Mi	4,8	0,58	TVA076V	Proceso a 10 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Fi	22,9					
			Le	71,5					



ID PROCESO	TIPO DE PROCESO	UNIDAD LITOLÓGICA	PENDIENTE		ÁREA PROCESO (ha)	TORRE MÁS CERCANA	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO RESPECTO A LA TORRE	FUENTE DE INFORMACIÓN	AÑO DE IDENTIFICACIÓN
				(%)					
			Me	0,8					
PM-24	Deslizamiento - Terraceta	Formación Cinta de Piedra	Lp	0,7	2,55	TVA080V	Torre incluida en el área del proceso	Imagen Satelital	2020
			Li	5,5					
			Mi	5,3					
			Fi	40,7					
			Le	27,4					
			Me	9,7					
			Fe	7,0					
			Te	3,6					
PM-59	Deslizamiento - Flujo de detritos	Formación La Paila	Li	0,8	2,55	TVA129	Proceso a 29 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Mi	4,0					
			Fi	56,4					
			Le	38,8					
PM-66	Deslizamiento - Flujo de detritos	Formación La Pobreza (TMpo)	Lp	0,6	0,48	TVA144N	Proceso a 24 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Li	8,8					

ID PROCESO	TIPO DE PROCESO	UNIDAD LITOLÓGICA	PENDIENTE		ÁREA PROCESO (ha)	TORRE MÁS CERCANA	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO RESPECTO A LA TORRE	FUENTE DE INFORMACIÓN	AÑO DE IDENTIFICACIÓN
				(%)					
			Mi	57,6					
			Fi	32,9					
PM-89	Erosión laminar	Formación La Pobreza	Fi	9,1	0,02	TVA143	Proceso a 30 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Le	90,9					
PM-116	Erosión laminar	Formación La Pobreza	Fi	100,0	0,07	TVA143	Proceso a 28 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
PM-117	Erosión laminar	Formación La Pobreza	Le	100,0	0,05	TVA143	Proceso a 108 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
PM-139	Erosión laminar	Depósitos aluviales (Qal)	Li	7,8	0,09	TVA144N	Proceso a 73 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Mi	51,6					
			Fi	40,6					
PM-140	Erosión laminar	Formación La Pobreza	Lp	1,9	1,66	TVA145	Proceso a 17 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Li	12,7					
			Mi	15,3					
			Fi	70,0					
PM-154	Erosión Antrópica	Formación La Paila	Mi	1,1	1,36	TVA163	Proceso a 133 m de la Torre	Imagen Satelital	2020

ID PROCESO	TIPO DE PROCESO	UNIDAD LITOLÓGICA	PENDIENTE		ÁREA PROCESO (ha)	TORRE MÁS CERCANA	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO RESPECTO A LA TORRE	FUENTE DE INFORMACIÓN	AÑO DE IDENTIFICACIÓN
				(%)					
			Fi	68,8					
			Le	30,1					
PM-185	Erosión Antrópica	Formación La Paila	Li	0,3	4,44	TVA186	Proceso a 3 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Mi	1,7					
			Fi	13,0					
			Le	62,5					
			Me	22,4					
			Fe	0,1					
PM-186	Erosión laminar	Formación La Paila	Fi	3,1	0,15	TVA192	Proceso a 190 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Le	96,9					
PM-189	Erosión laminar	Formación La Paila	Le	100,0	0,02	TVA192	Proceso a 301 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
PM-230	Erosión laminar	Depósitos de Conos Aluviales	Li	58,1	0,09	TVA223	Proceso a 38 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Mi	41,9					
PM-235	Erosión laminar	Formación La Paila	Lp	0,8	0,10	TVA223	Proceso a 173 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Li	17,9					

ID PROCESO	TIPO DE PROCESO	UNIDAD LITOLÓGICA	PENDIENTE		ÁREA PROCESO (ha)	TORRE MÁS CERCANA	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO RESPECTO A LA TORRE	FUENTE DE INFORMACIÓN	AÑO DE IDENTIFICACIÓN
				(%)					
			Mi	72,9					
			Fi	8,4					
PM-236	Erosión laminar	Depósitos de Conos Aluviales	Nv	2,8	0,13	TVA223	Proceso a 193 m de la Torre	Imagen Satelital	2020
			Lp	8,4					
			Li	18,6					
			Mi	60,1					
			Fi	10,1					
PM-373	Erosión laminar	Formación La Pobreza	Le	100,0	0,04	TVA143	Proceso a 88 m de la Torre	Imagen Satelital	2020

Tabla 21. Características adicionales de los procesos morfodinámicos.

ID PROCESO	MATERIAL AFECTADO (UNIDAD GEOLÓGICA)	MATERIAL DESPLAZADO	HUMEDAD NATURAL	NIVEL FREÁTICO	CAUSAS	AÑO DE OCURRENCIA
PM-5	Formación Cinta de Piedra	Suelo residual	Sin información	No se observó	Antrópica	Sin información
PM-6	Formación Cinta de Piedra	Suelo residual	Sin información	No se observó	Antrópica	Sin información
PM-7	Formación Cinta de Piedra	Suelo residual	Sin información	No se observó	Antrópica	Sin información
PM-12	Formación Cinta de Piedra	Suelo residual	Sin información	No se observó	Antrópica	Sin información
PM-14	Formación Cinta de Piedra	Suelo residual	Sin información	No se observó	Antrópica	Sin información
PM-24	Formación Cinta de Piedra	Suelo residual	Sin información	No se observó	Antrópica	Sin información
PM-59	Formación La Paila	Suelo residual con niveles de granulometría gruesa	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información



ID PROCESO	MATERIAL AFECTADO (UNIDAD GEOLÓGICA)	MATERIAL DESPLAZADO	HUMEDAD NATURAL	NIVEL FREÁTICO	CAUSAS	AÑO DE OCURRENCIA
PM-66	Formación La Pobreza	Suelo residual con niveles de granulometría gruesa	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-89	Formación La Pobreza	Suelo residual	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-116	Formación La Pobreza	Suelo residual	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-117	Formación La Pobreza	Suelo residual	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-139	Depósitos aluviales (Qal)	Suelo residual	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-140	Formación La Pobreza	Suelo residual	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-154	Formación La Paila	Suelo residual de origen Volcano-sedimentario	Sin información	No se observó	Antrópica	Sin información
PM-185	Formación La Paila	Suelo residual de origen Volcano-sedimentario	Sin información	No se observó	Antrópica	Sin información

ID PROCESO	MATERIAL AFECTADO (UNIDAD GEOLÓGICA)	MATERIAL DESPLAZADO	HUMEDAD NATURAL	NIVEL FREÁTICO	CAUSAS	AÑO DE OCURRENCIA
PM-186	Formación La Paila	Suelo residual de origen Volcano-sedimentario	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-189	Formación La Paila	Suelo residual de origen Volcano-sedimentario	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-230	Depósitos de Conos Aluviales	Suelo residual de origen Volcano-sedimentario	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-235	Formación La Paila	Suelo residual de origen Volcano-sedimentario	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-236	Depósitos de Conos Aluviales	Suelo residual de origen Volcano-sedimentario	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información
PM-373	Formación La Pobreza	Suelo residual de origen Volcano-sedimentario	Sin información	No se observó	Intemperismo - Agentes exógenos	Sin información

#### 5.1.4.5 Susceptibilidad a procesos de remoción en masa

La zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa del área de influencia del trazado de la línea de transmisión, se elaboró con base al método Heurístico (Figura 47), el cual se basa en la combinación de mapas cualitativos mediante la combinación de variables y el uso de puntajes ponderados que se asignan a cada uno de los factores que lo componen, utilizando la herramienta de intersección de capas o álgebra de mapas de ArcGIS 10.3.



Figura 47. Metodología usada en la zonificación de susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

La ponderación es asignada por el especialista, quien con base en su experiencia y conocimiento de la zona asigna valores para indicar el grado de contribución a la inestabilidad del terreno; la suma de los puntajes de todos los componentes da como resultado un mapa de valores numéricos, los cuales se dividen por rangos para definir áreas con distintos grados de susceptibilidad. Las etapas de evaluación, análisis y procesamiento de la información se ilustran en la Figura 48.

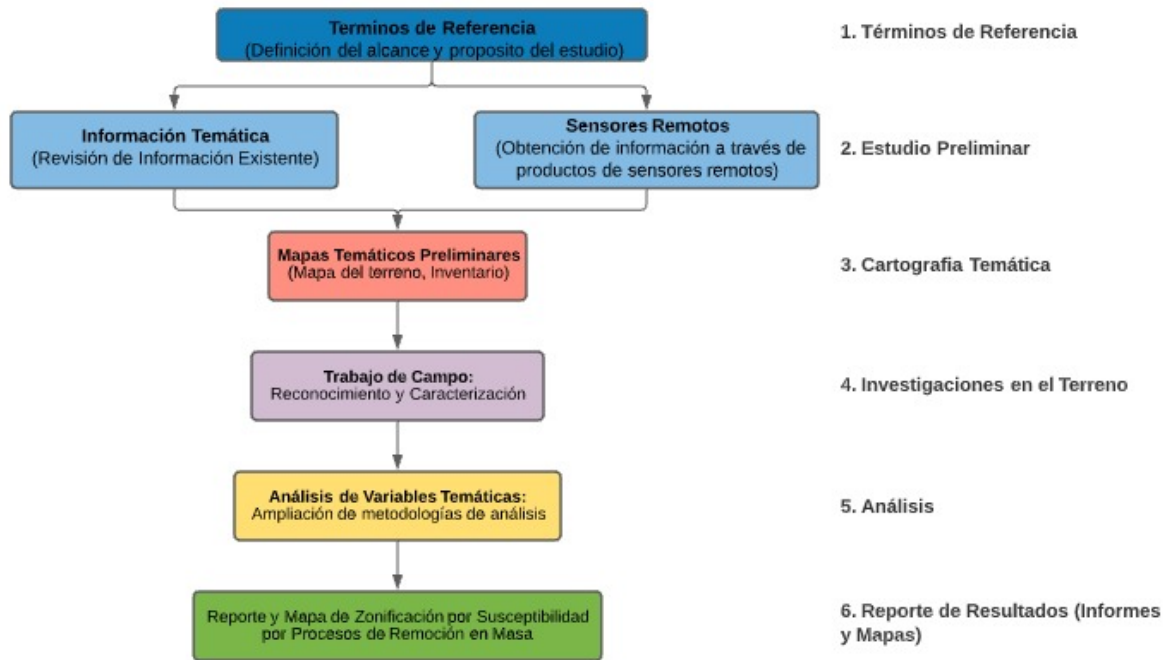


Figura 48. Metodología general para el desarrollo de la zonificación por susceptibilidad por movimientos en masa.

Fuente: Adaptado y modificado de SGC, 2012.

El método utilizado para la zonificación por susceptibilidad, utiliza cada factor o variable de mapeo (pendiente, geología, cobertura, suelo, geoformas) realizando una combinación lineal de las calificaciones (Figura 49) que da como resultado el mapa final y indicando valores ponderados de densidades de acuerdo a los insumos utilizados, que se representan de forma espacial en el área de caracterización.

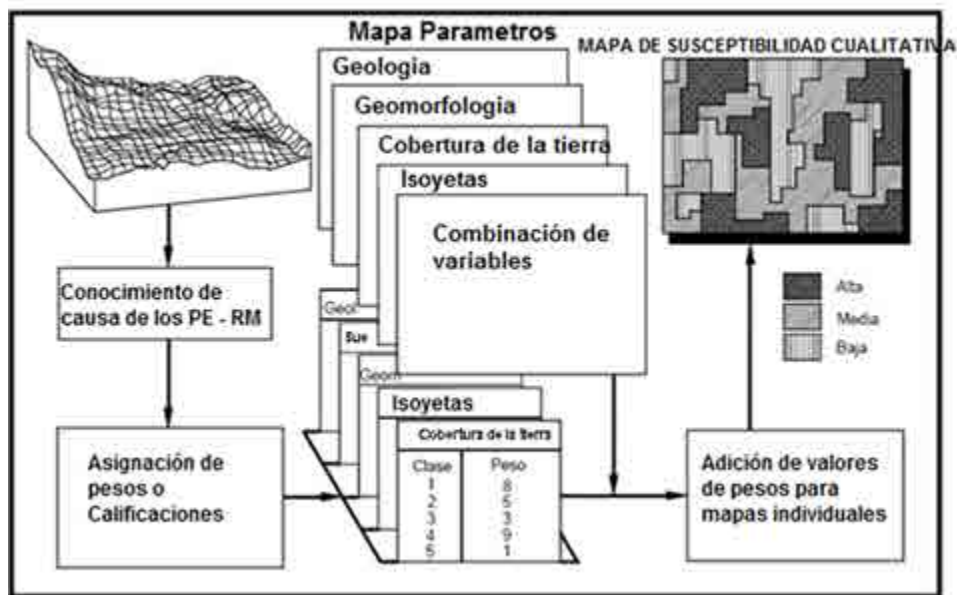


Figura 49. Proceso de implementación y uso del software para el análisis estadístico de susceptibilidad por movimientos en masa.

Fuente: Tomado de SGC, 2012.

Una vez los criterios o variables de calificación se estandarizan o parametrizan y sus respectivos pesos han sido establecidos, el método de la combinación lineal ponderada, es el método de agregación de los criterios de evaluación de calificación. Así, el índice de susceptibilidad a movimientos en masa (IDS) se obtiene de la suma de cada uno de estos multiplicado por su respectivo peso (obtenido de la calificación) (Ecuación 1), es decir:

$$IDS = \sum_{i=1}^n c_i * v_i$$

Ecuación 1. Índice de susceptibilidad a movimientos en masa.

Dónde:

**IDS** = Índice de Susceptibilidad

**n** = Número de variables



**c** = Criterio de evaluación

**v** = Peso de cada variable

Por lo anterior se define para el resultado de la susceptibilidad final los pesos de cada variable como se indica en la Ecuación 2.

$$\text{Susceptibilidad final} = 0,35 \text{ geomorfología} + 0,25 \text{ geología} + 0,20 \text{ coberturas vegetales} + 0,20 \text{ suelos}$$

Ecuación 2. Ecuación para la generación de la susceptibilidad final, producto de la combinación lineal ponderada de las variables de análisis.

Fuente: Adaptado de SGC, 2012.

Cada variable es calificada independiente dando lugar a la construcción de la matriz multicriterio la cual evalúa la calificación de la susceptibilidad producto de la combinación lineal ponderada.

Es importante que las variables entre sí sean congruentes en sus características físicas. En la Figura 50, se presentan los valores ponderados de las variables geomorfología, geología, cobertura y suelos en la generación de la zonificación por susceptibilidad por movimientos en masa.



Figura 50. Valores ponderados de las variables utilizadas en la generación de la zonificación de susceptibilidades por movimientos en masa.

Estos valores se describen de forma cualitativa como, muy baja, baja, media o moderada, alta y muy alta, grado de susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa. En este estudio se ha considerado incluir la geología, geomorfología (pendientes y geformas), cobertura del suelo y suelos como variables principales de mapas temáticos para realizar la combinación cuantitativa con la metodología Heurística mencionada.

Esta relación a los pesos en los valores ponderados, se ha considerado, que el criterio geomorfológico y litológico son las variables de mayor preferencia en relación a las demás, ya que estas condicionan en gran medida la susceptibilidad a la generación de movimientos en masa.

#### 5.1.4.5.1 Análisis y ponderación de variables

Para la ponderación de las variables de cada uno de los mapas temáticos utilizados se tuvo en cuenta el control de campo y el conocimiento de las variables previamente observadas en campo. La metodología utilizada para tal ponderación en cada uno de los mapas temáticos comprende la evaluación de cada variable como se mencionó anteriormente teniendo en cuenta el método desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980, como una ayuda a la toma de decisiones, consiste en dividir una situación compleja y poco estructurada en sus partes que la componen; arreglando estas partes, o variables, en un orden jerárquico; asignando valores numéricos a juicios subjetivos sobre la importancia relativa de cada variable; y sintetizando los juicios para determinar cuál variable tiene la mayor prioridad y deben actuar bajo la influencia del resultado de la situación (SGC, 2012).

Se realiza la evaluación en primer nivel de la jerarquía para la generación del mapa de susceptibilidad, en segundo nivel, los cuatro criterios principales (geología, geomorfología, suelos y cobertura) que a su vez en tercer nivel, la temáticas que son evaluadas independientes para obtener la evaluación del criterio principal y finalmente, el mapa final de zonificación por susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Figura 51).

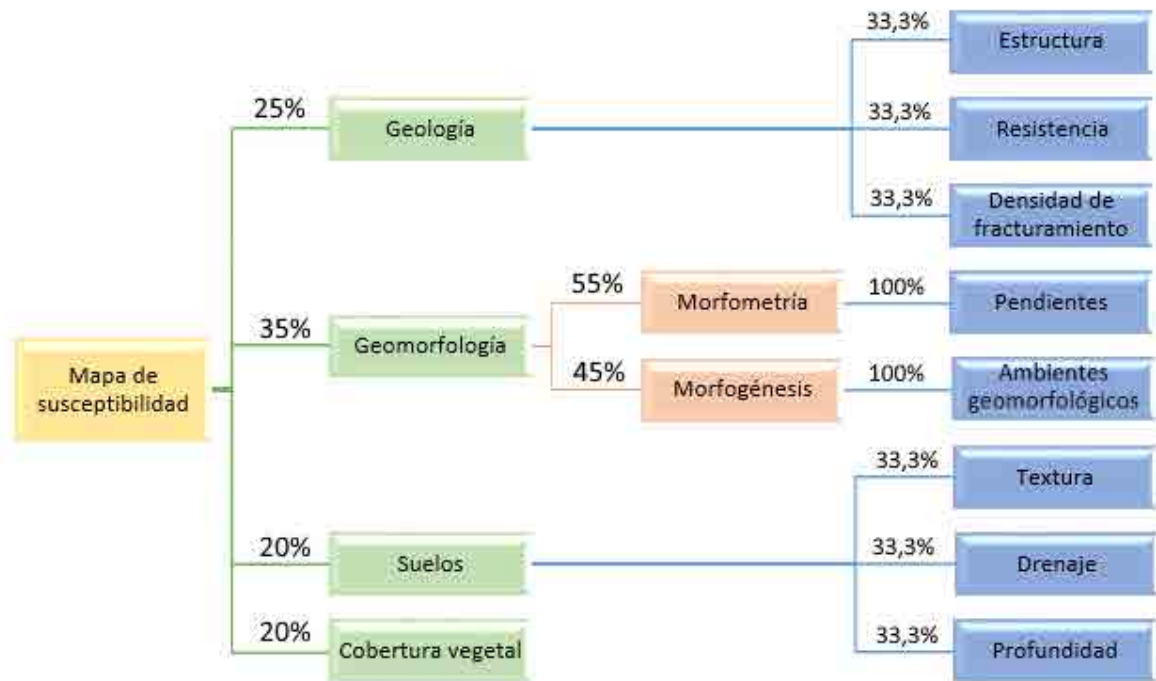


Figura 51. Diagrama de Jerarquía para la elaboración del mapa de susceptibilidad y con sus respectivos pesos por importancia de criterio.

Fuente: Adaptado de SGC, 2012.

- Geología

Esta variable contempla los elementos principales de las propiedades y características de cada uno de los diferentes tipos de rocas, las propiedades geomecánicas indicativas de resistencia, meteorización y la existencia de planos de debilidad o estructuras geológicas como planos de falla, diaclasas, discontinuidades estratigráficas o planos de estratificación contribuyen a la calidad y resistencia de la roca, así como su fábrica y estructura. Las fallas evaluadas en esta variable se describen en el numeral 5.1.2.

Contemplando estos elementos se realizó la calificación a cada unidad geológica presente en la zona de influencia, indicada en la Tabla 22 y representada espacialmente en la Figura 52 y Anexo D2.1.

Tabla 22. Ponderación de las unidades geológicas para la evaluación de la susceptibilidad de los movimientos en masa

UNIDAD GEOLÓGICA	ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	PORCENTAJE DEL ÁREA RESPECTO AL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD (%)
Depósitos de flujos de lodo y ceniza recientes	3	Susceptibilidad Media	1,65
Formación La Pobreza	4	Susceptibilidad Alta	2,19
Depósitos de derrubios	3	Susceptibilidad Media	1,26
Formación Zarzal	4	Susceptibilidad Alta	3,6
Batolito de Buga	1	Susceptibilidad Muy Baja	5,79
Depósitos Aluviales	1	Susceptibilidad Baja	6,79
Depósitos de conos aluviales	3	Susceptibilidad Media	17,95
Depósitos de terraza	2	Susceptibilidad Baja	12,64
Formación Cinta de Piedra	2	Susceptibilidad Baja	14,46
Macizo Ofiolítico de Ginebra	3	Susceptibilidad Media	14,37
Formación La Paila	4	Susceptibilidad Alta	19,31

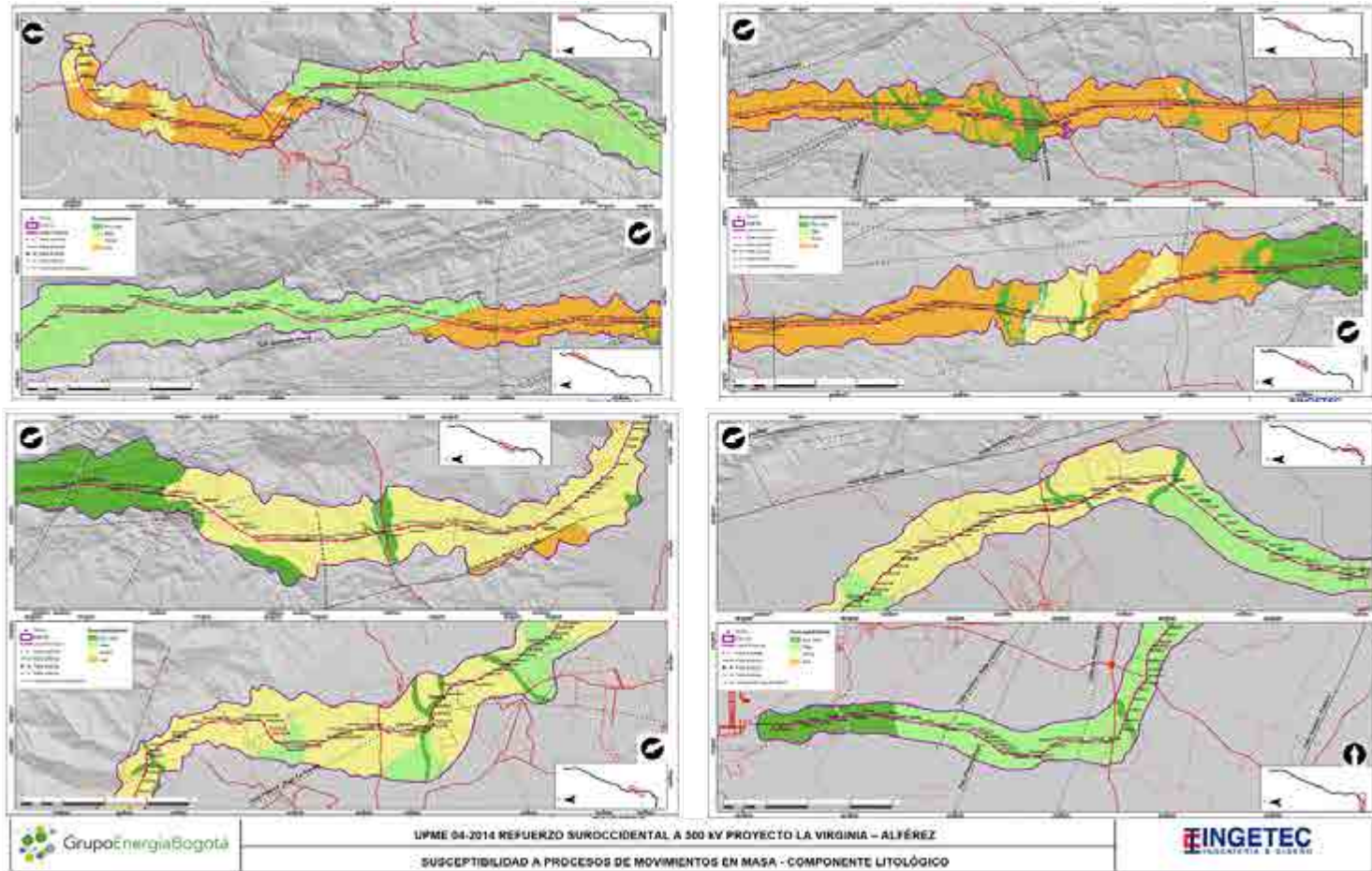


Figura 52. Mapa de rangos de susceptibilidad de las unidades litológicas a la generación de movimientos en masa



De acuerdo con las características de la litología presente el área del proyecto se identifica que las formaciones La Paila, Zarzal y La Pobreza son las que presentan mayor susceptibilidad en el trazado. Las rocas que conforman estas formaciones corresponden principalmente a secuencias clásticas conformadas por arenas, limos y conglomerados con poco contenido de cemento entre partículas, lo cual hace que se valore a mayor susceptibilidad.

- Geomorfología

La variable de geomorfología comprende principalmente los atributos de morfometría y morfogénesis los cuales agrupan las formas del terreno que tienen relaciones genética y geográficamente y han sido afectadas por procesos geomórficos similares. La geomorfología presenta un peso del 35% la cual incluye los atributos de morfometría y morfogénesis la cual presenta los porcentajes de evaluación de 55% y 45% respectivamente para conformar el componente de geomorfología (Figura 53).

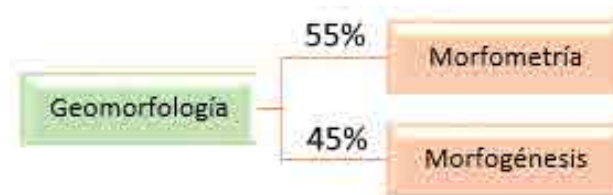


Figura 53. Diagrama de atributos dentro de la variable Geomorfología, con sus respectivos porcentajes.

Fuente: Adaptado de SGC, 2012.

El atributo de morfometría se representa en los aspectos cuantitativos de la pendiente donde se realizó la comparación según la relación geométrica del terreno cuyo insumo principal corresponde al modelo digital de elevación (DEM).

El mapa de pendientes define el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, la cual está relacionada directamente con los movimientos en masa ya que existe la relación directa que a mayor grado de pendiente mayor es la susceptibilidad a presentar movimientos en masa.

Para el área analizada se presentan grados de susceptibilidad desde muy bajos a muy altos y su respectivo porcentaje de ocupación en la zona de influencia del proyecto (Tabla 23).

Tabla 23. Clasificación de los grados de susceptibilidad respecto a la pendiente del terreno en el área de caracterización

CLASIFICACIÓN MORFOMÉTRICA	ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	PORCENTAJE ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)
A nivel, 0-1% (a)	1	Muy baja susceptibilidad	1,55
Ligeramente plana, 1-3% (a)	1	Muy baja susceptibilidad	2,51
Ligeramente inclinada, 3-7% (b)	1	Muy baja susceptibilidad	16,96
Moderadamente inclinada, 7-12% (c)	2	Baja susceptibilidad	20,63
Fuertemente inclinada, 12-25% (d)	3	Media o moderada susceptibilidad	25,94
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50% (e)	4	Alta susceptibilidad	25,49
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% (f)	5	Muy alta susceptibilidad	6,03
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, 75-100% (g)	5	Muy alta susceptibilidad	0,77
Totalmente escarpada, >100% (g)	5	Muy alta susceptibilidad	0,13

El análisis realizado de acuerdo a las ponderaciones nos indica que el 21.02% del área se encuentra en susceptibilidad muy baja ante la ocurrencia de procesos de remoción en masa, el 20.63% en susceptibilidad baja, el 25,94% en susceptibilidad media, el 25.49% en susceptibilidad alta y el 6.93% en susceptibilidad muy alta.

Como se observa en la Figura 54 y Anexo D2.1, existen en el área de caracterización diversidad de terrenos que han sido afectados por la dinámica tectónica y ha dado lugar a zonas de mayor pendiente así mismo zonas modeladas por los agentes meteorizantes así mismo por su origen y ambiente de depositación presentan pendientes planas a ligeramente inclinadas.

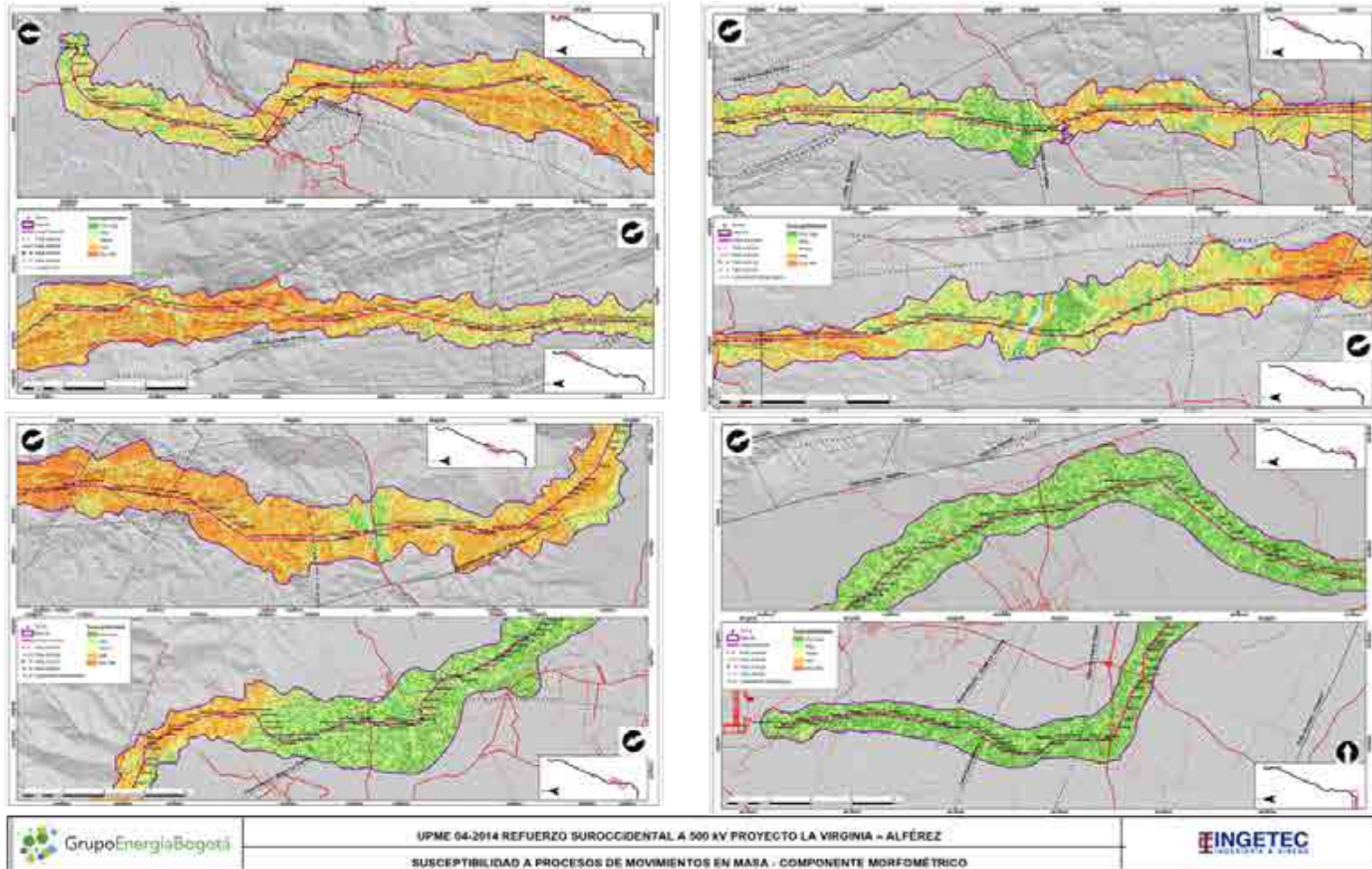


Figura 54. Mapa de rangos de susceptibilidad del atributo morfométrico a la generación de movimientos en masa

El atributo morfogenético corresponde a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas en que se generaron las geoformas. Se catalogan de acuerdo a su ambiente el cual se basa en los procesos endógenos y exógenos que dieron y dan origen a la formación, evolución y modificación de las mismas durante los intervalos del tiempo geológico. Los diferentes ambientes se agrupan en ambiente morfoestructural, ambiente volcánico, ambiente denudacional, ambiente fluvial y lagunar y ambiente antropogénico los cuales fueron los identificados en el presente estudio.

La asociación de procesos exógenos y endógenos a los diferentes ambientes puede ser subjetivo ya que pueden existir geoformas y paisajes que pueden ser objeto del intenso fracturamiento relacionado con la tectónica regional y actualmente han sufrido procesos denudativos que han modelado el terreno de forma intensa por lo cual pueden ser clasificados bajo su condición actual o viceversa.

De acuerdo con la metodología adaptada del Servicio Geológico Colombiano, 2012 se adopta la propuesta de calificación de ambientes morfogenéticos de acuerdo al origen de las geoformas existentes en el área del proyecto presentadas en la Tabla 24 y la representación espacial de la calificación dada a los diferentes ambientes geomorfológicos identificados en el área de caracterización como se observa en la Tabla 24.

Tabla 24. Propuesta de clasificación morfogenética de las formas del terreno en el área de caracterización.

<b>AMBIENTE MORFOGENÉTICO</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
Ambiente Fluvial y Lagunar	2
Ambiente Volcánico	3
Ambiente Estructural	4
Ambiente Denudacional	4
Ambiente Antropogénico	4

Fuente: Tomado y modificado de Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimiento en masa, SGC 2012.

Basado en la propuesta de clasificación morfogenética y el análisis en la variable geomorfológica realizada la calificación de acuerdo a los diferentes ambientes morfogenéticos identificados a lo largo del trazado de la línea de transmisión (Tabla 25), así como su representación espacial en el área observada en la Figura 55 y Anexo D2.1.

Tabla 25. Calificación ponderada a los ambientes morfogenéticos de las formas del terreno en el área de caracterización.

CLASIFICACIÓN MORFOGENÉTICA	ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	PORCENTAJE AL ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)
Ambiente Fluvial y Lagunar	2	Susceptibilidad Baja	37,27%
Ambiente Volcánico	3	Susceptibilidad Media	0,66%
Ambiente Estructural	4	Susceptibilidad Alta	31,30%
Ambiente Denudacional	4	Susceptibilidad Alta	30,69%
Ambiente Antropogénico	4	Susceptibilidad Alta	0,09%

Fuente: Tomado y modificado de Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimiento en masa, SGC 2012.



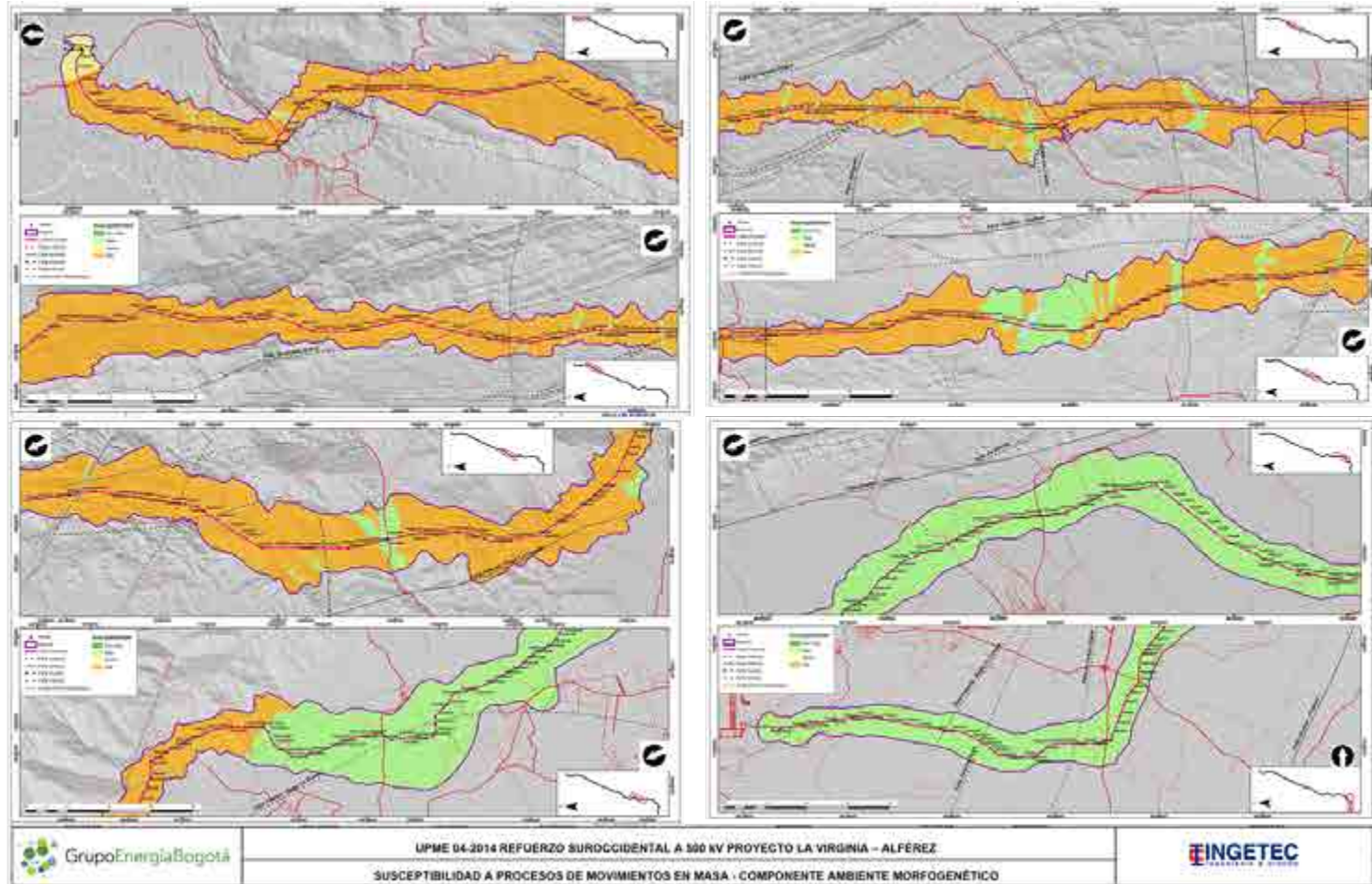


Figura 55. Mapa de rangos de susceptibilidad del atributo morfo genético a la generación de movimientos en masa.

La susceptibilidad geomorfológica a procesos de remoción en masa final indica que para el área de caracterización se presentan calificaciones de susceptibilidad desde baja a alta, las cuales tienen en cuenta la integración de la evaluación de los atributos morfométricos y morfogenéticos se observan en la Tabla 26, Figura 56 y Anexo D2.1.

Tabla 26. Calificación final del componente geomorfológico a la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA m <sup>2</sup>	%
Baja	16864,16	35,90
Media	3626,19	7,72
Alta	26480,15	56,38

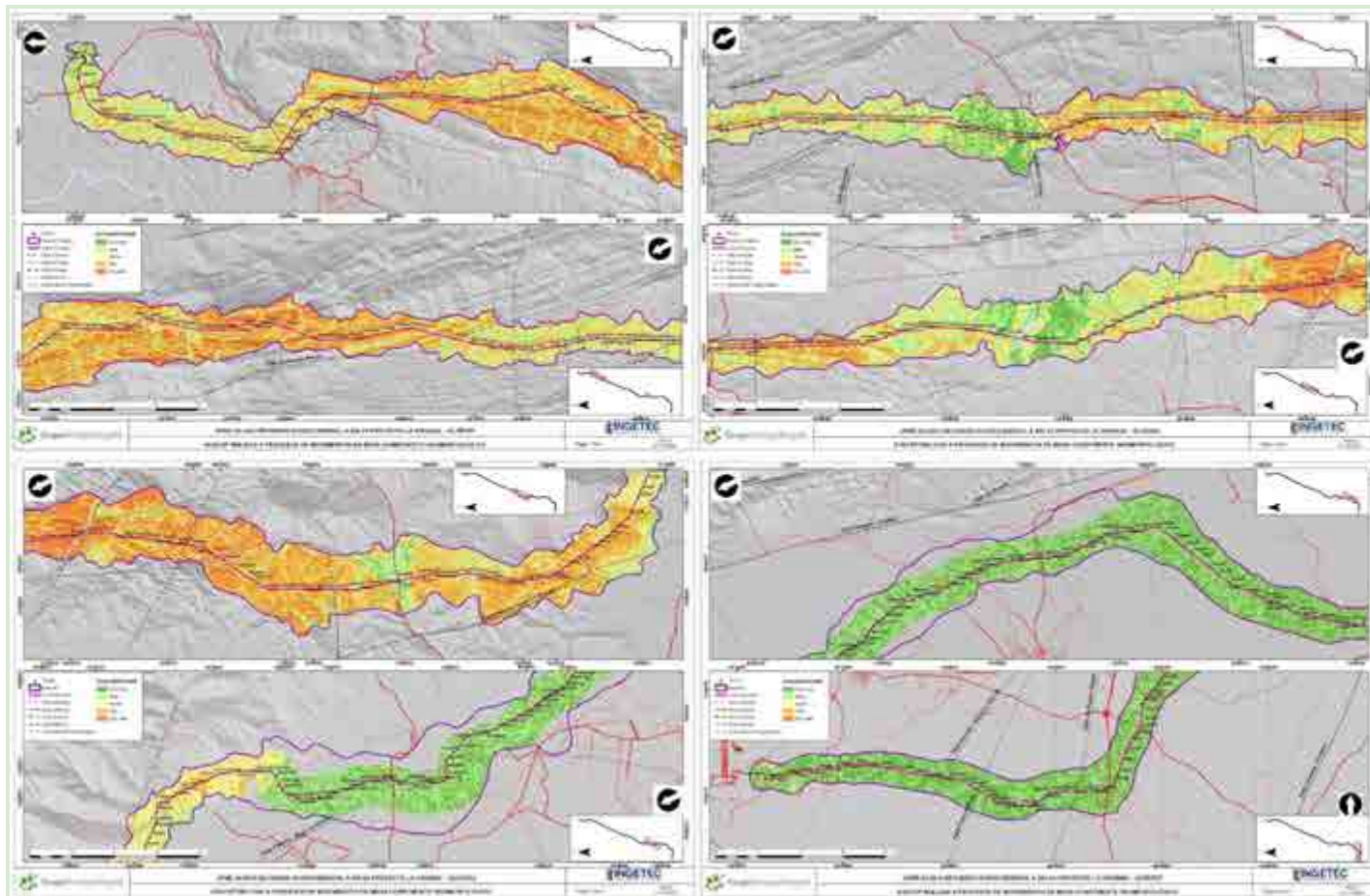


Figura 56. Mapa de susceptibilidad geomorfológica para la generación de movimientos en masa del área del proyecto.

- Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal es un resultado de la interacción de la dinámica natural geológica, geomorfológica, suelo, clima y sistemas de comunidades bióticas, interrumpida por el hombre para su supervivencia y desarrollo. Dicha interrupción genera o contribuye a la precisión de diferentes procesos como afectación en la evolución de las especies, deterioro de ecosistemas, cambios en el patrón de ciclos hidrológicos, cambios en las formas de relieve (en gran número de casos en forma negativa produciendo movimientos en masa, flujos, avalanchas, erosión entre otros) (Servicio Geológico Colombiano, 2012, pag 78).

Actúa como un agente protector del suelo contra el accionar de la lluvia, en especial al reducir el potencial erosivo de las gotas o factor de erodabilidad, al disminuir la energía de la escorrentía y al mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Con respecto a la estabilidad del terreno, la cobertura vegetal cumple dos funciones principales, mantiene el contenido de agua en la superficie del suelo, y da consistencia a este por el entramado mecánico de sus raíces, generando un efecto físico mecánico de amarre del suelo, acelera la germinación, establece y desarrolla otras especies, regula la radiación solar, regula la dirección y velocidad del viento, y mantiene el nicho ecológico.

La vegetación incluyen un nivel de materia orgánica en el perfil de suelo, disminuyendo la susceptibilidad del terreno a los deslizamientos, ya que ésta mejora la agregación del suelo, el desarrollo radicular, la capacidad de infiltración, la retención de agua, la conductividad hidráulica, el contenido del aire en el suelo y la disminución del escurrimiento superficial de agua, entre otros aspectos.

Para la zona de influencia de la línea de transmisión se identificaron 34 unidades de coberturas vegetales mediante el análisis de imágenes satelitales y control de campo. Los criterios, definiciones y clasificación corresponden a la Metodología CORINE Land Cover adaptada por el IDEAM (2010).

En la zona del proyecto predomina un área de 39272,44 ha con vegetación correspondiente cultivos permanentes arbóreos, pastos limpios, pastos arbolados, pastos enmalezados, mosaico de cultivos, mosaico de pastos y cultivos vegetación acuática sobre cuerpos de agua, lagunas, lagos y ciénagas naturales, cuerpos de agua artificiales, otros cultivos permanentes herbáceos, caña, otros cultivos permanentes arbustivos, café, cítricos, correspondientes a coberturas de media susceptibilidad que cubren el 86,80% del área de caracterización, donde caña, pastos limpios, pastos arbolados, pastos enmalezados y vegetación secundaria alta ocupan mayor área.

Las coberturas catalogadas como muy baja susceptibilidad ocupan el 11.4% del área de caracterización (Tabla 27), donde la vegetación que ocupa casi toda el área de susceptibilidad muy baja corresponde a bosque de galería y ripario, y canales.

Tabla 27. Ponderación de las diferentes coberturas vegetales para la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

TIPO DE COBERTURA	ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	PORCENTAJE AL ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)
Bosque de galería y ripario	1	Susceptibilidad Muy baja	11,37
Café	3	Susceptibilidad Media	0,26
Canales	2	Susceptibilidad Baja	0,04
Caña	3	Susceptibilidad Media	25,67
Cítricos	3	Susceptibilidad Media	0,00
Cuerpos de agua artificiales	3	Susceptibilidad Media	0,30
Cultivos permanentes arbóreos	3	Susceptibilidad Media	0,08
Cultivos permanentes arbustivos	3	Susceptibilidad Media	0,84
Guadual	3	Susceptibilidad Media	4,95
Guadual sin agua	3	Susceptibilidad Media	0,14
Instalaciones recreativas	4	Susceptibilidad Alta	0,005
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	3	Susceptibilidad Media	0,07
Mosaico de cultivos	3	Susceptibilidad Media	0,47
Mosaico de pastos y cultivos	3	Susceptibilidad Media	1,75
Otros cultivos permanentes	3	Susceptibilidad Media	0,02



TIPO DE COBERTURA	ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	PORCENTAJE AL ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)
arbustivos			
Otros cultivos permanentes herbáceos	3	Susceptibilidad Media	0,02
Otros cultivos transitorios	3	Susceptibilidad Media	0,35
Pastos arbolados	3	Susceptibilidad Media	12,37
Pastos enmalezados	3	Susceptibilidad Media	6,68
Pastos limpios	3	Susceptibilidad Media	20,04
Plantación forestal	3	Susceptibilidad Media	0,03
Red vial y terrenos asociados	4	Susceptibilidad Alta	0,19
Ríos	4	Susceptibilidad Alta	0,28
Tejido urbano continuo	4	Susceptibilidad Alta	0,16
Tejido urbano discontinuo	4	Susceptibilidad Alta	0,85
Tierras desnudas y degradadas	4	Susceptibilidad Alta	0,05
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	3	Susceptibilidad Media	0,02
Vegetación secundaria alta	3	Susceptibilidad Media	4,69
Vegetación secundaria baja	3	Susceptibilidad Media	7,61
Zonas arenosas naturales	4	Susceptibilidad Alta	0,09
Zonas industriales o comerciales	3	Susceptibilidad Media	0,45
Zonas pantanosas	4	Susceptibilidad Alta	0,14
Zonas quemadas	4	Susceptibilidad Alta	0,01

TIPO DE COBERTURA	ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	PORCENTAJE AL ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)
Zonas verdes urbanas	3	Susceptibilidad Media	0,005

Las áreas que presentan susceptibilidad alta conforman el 1,79% del área analizada, más de la mitad del área corresponde a tejido urbano discontinuo, discontinuo y zonas recreativas, por lo que la zona de implantación no se encuentra en estos sectores (Figura 57 y Anexo D2.1)

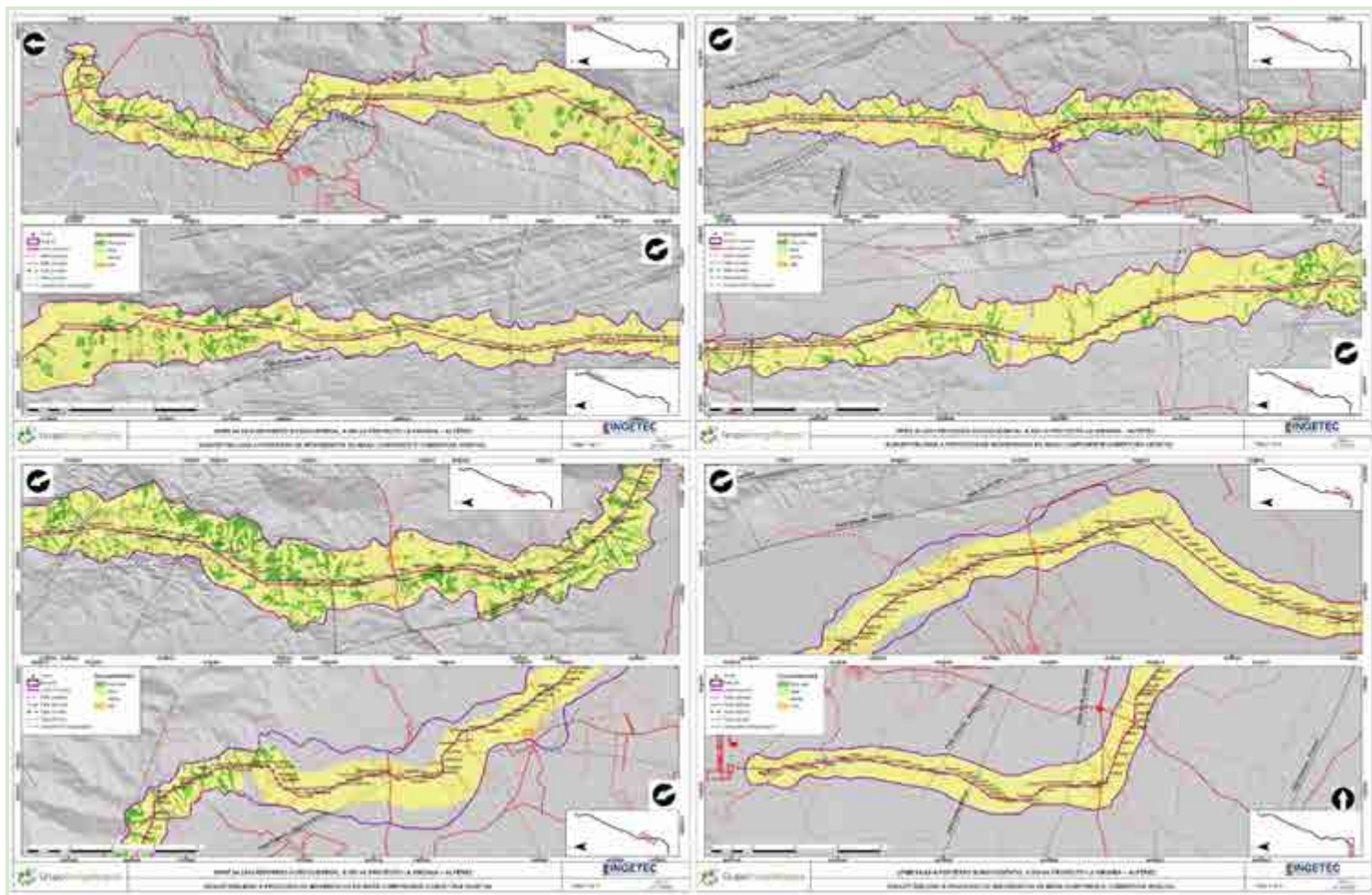


Figura 57. Calificación del componente coberturas vegetales a la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

- Suelos

La génesis de los suelos está directamente relacionada con la meteorización de la roca la cual ha perdido las características físicas y químicas que la caracterizan.

La evolución de los suelos puede llevar a situaciones de respuesta ante la dinámica de coberturas vegetales, el clima y los cambios antrópicos, causando un deterioro y movimientos de este que pueden indicar el grado de susceptibilidad a movimientos en masa.

La variable suelos permite analizar y evaluar su condición mediante las características textura, drenaje y profundidad (Figura 58). Estas características se analizan de la información base del IGAC tomando como referencia los mapas de suelo de los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca, las cuales se evalúan de acuerdo al criterio del experto.

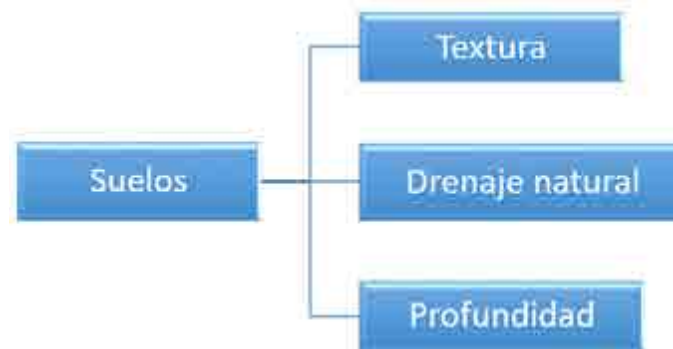


Figura 58. Diagrama de atributos de calificación de la variable suelo.  
Fuente: Adaptado de SGC, 2012.

La valoración cuantitativa de las variables se realiza por medio de una ponderación lineal de los tres criterios seleccionados, y cada criterio es evaluado de forma independiente teniendo en cuenta las clasificaciones recomendadas por el SGC y la USDA. A continuación se presentan las tablas de calificación de acuerdo con las variables analizadas.

Tabla 28. Clasificación de susceptibilidad de la textura de los suelos, en relación con la remoción en masa.

CLASE TEXTURAL	CALIFICACIÓN
Suelos gravosos, arenosos y franco areno-gravosos (Gr, A, FAGrP). Textura gruesa.	1
Suelos franco-arenosos (AF), franco areno gravosos (FAGr), francoarcillo-areno gravosos (FARAGr), franco areno-gravosos (FARGr) y franco gravosos (FGr). Textura moderadamente gruesa.	2
Suelos areno-arcilloso (ArA), areno-gravosos (ArGr), franco arcilloso (FA) y franco arcillo-limoso con contenido de gravas (FARLGr). Textura media.	3
Franco (F), franco orgánico (F-Org), franco arcilloso (FAR), franco arenoso-arcilloso (FARa), franco arcillo limoso (FARL), franco limoso (FL) y franco limoso orgánico (FLOrg). Textura moderadamente fina.	4
Suelos arcillosos (Ar) y arcillo limoso (ArL). Textura fina.	5

A= Arena; L= Limo; Ar= Arcilla; F= Franco; Gr= Grava; P= Piedra; Org= Orgánico.

Fuente: Modificado y adaptado de SGC, 2012 y la Guía de clasificación de suelos USDA.

Tabla 29. Clasificación de la susceptibilidad del drenaje natural del suelo en relación con la remoción en masa.

CLASE	CARACTERÍSTICAS	CALIFICACIONES POR CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
Excesivo	No retienen agua después de las lluvias.	1
Moderado excesivo	No retienen agua para las plantas después de las lluvias. El nivel freático nunca sube por encima de 2 metros.	
Bueno (Bien)	Suelos óptimos para el abastecimiento de agua y aire a los cultivos. Nivel freático siempre por debajo de 80 cm.	2
Moderado	El agua es removida lentamente hasta el nivel freático (40-80 cm. en época de lluvias).	3



CLASE	CARACTERÍSTICAS	CALIFICACIONES POR CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
	Requiere drenaje para cultivos permanentes.	
Imperfecto	Suelos con capas impermeables que impiden percolación en época de lluvias.	4
Pobre	El agua es removida lentamente y los perfiles están mojados en la época de lluvias. Se requiere drenaje.	
Muy pobre	Agua freática cerca o sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	5
Pantanosos	Agua freática sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	

Fuente: Tomado de Guía metodológica de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa. SGC. (2012).

Tabla 30. Clasificación de susceptibilidad de la profundidad del suelo en relación con la remoción en masa.

PROFUNDIDAD	CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN
0-25	Muy baja o muy superficial	1
25-50	Baja o superficial	2
50-100	Media o moderadamente profunda	3
100-150	Alta o profunda	4
mayor a 150	Muy alta o muy profunda	5

Fuente: Tomado de Guía metodológica de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa. SGC. (2012).

De acuerdo con el análisis y calificación de los atributos de la variable suelos se define que el área analizada presenta sectores con susceptibilidad al movimiento en masa de calificaciones muy baja, baja, media y alta, como se puede observar en la Tabla 31.

Tabla 31. Ponderación de las categorías de susceptibilidad a remoción en masa de los suelos en relación con las áreas que ocupan en el área de caracterización del proyecto.

<b>CATEGORÍA</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>ÁREA DE OCUPACIÓN (Ha)</b>	<b>PORCENTAJE DE OCUPACIÓN EN EL ÁREA DE CARACTERIZACIÓN (%)</b>
Susceptibilidad muy baja	1	862,20	1,96
Susceptibilidad baja	2	22072,77	50,05
Susceptibilidad media	3	21162,45	47,99
Susceptibilidad alta	4	0,14	0,0003

En la Figura 59 y Anexo D2.1, se observa la espacialización de las áreas que presentan susceptibilidad a presentar procesos de remoción en masa.

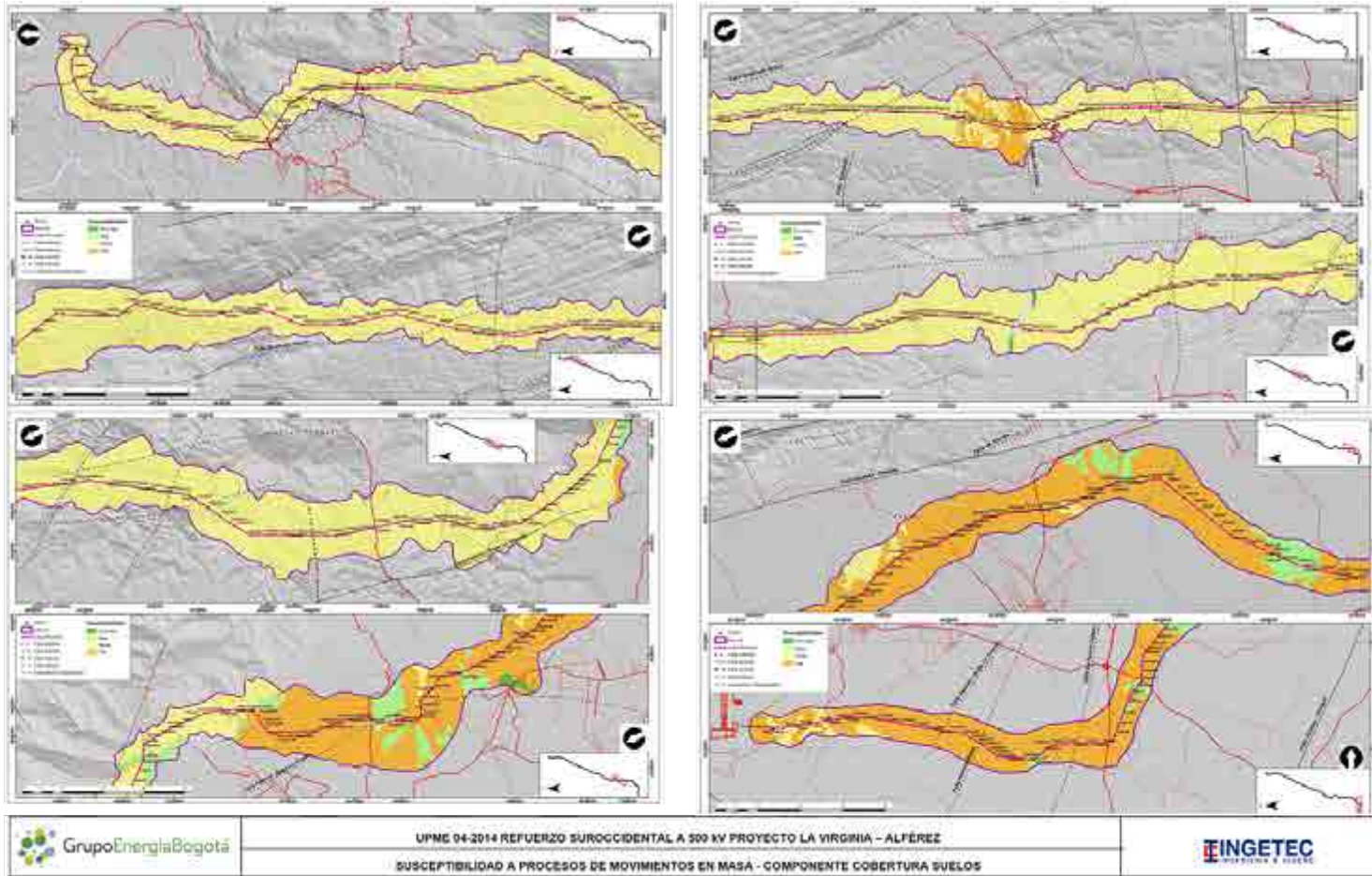


Figura 59. Calificación del componente suelos a la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

#### 5.1.4.5.2 Resultados de la Evaluación de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa

La combinación de los mapas temáticos dividiendo cada uno de ellos en clases (unidades) y asignando un peso a cada clase según su contribución a la generación de movimientos en masa, es el insumo para la generación del mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del área de caracterización.

Para este proceso, el índice de susceptibilidad final a los movimientos en masa se obtiene mediante la suma de cada criterio de evaluación (clase dentro del mapa temático) multiplicado por su propio peso (el peso de cada componente). El área final del análisis de susceptibilidad es menor que el área de caracterización debido a que el área de cobertura vegetal suministrada no cubre la misma extensión de los otros componentes analizados.

Con la aplicación de este método en el área se evaluó la susceptibilidad en un rango de cuatro ponderaciones, y se encontraron cuatro rangos de susceptibilidad a los movimientos en masa para el área: medio, bajo y muy bajo (Figura 60 y Anexo D2.1).

De acuerdo con esta clasificación de grados de susceptibilidad se encontró que el grado de susceptibilidad media del 49,41% y muy baja a baja presenta mayor distribución en la zona con un 50,59% del área total evaluada (Tabla 32).

Tabla 32. Susceptibilidad a los movimientos en masa

RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Muy Baja	579,65	1,31
Baja	21739,25	49,41
Media	21797,04	49,28

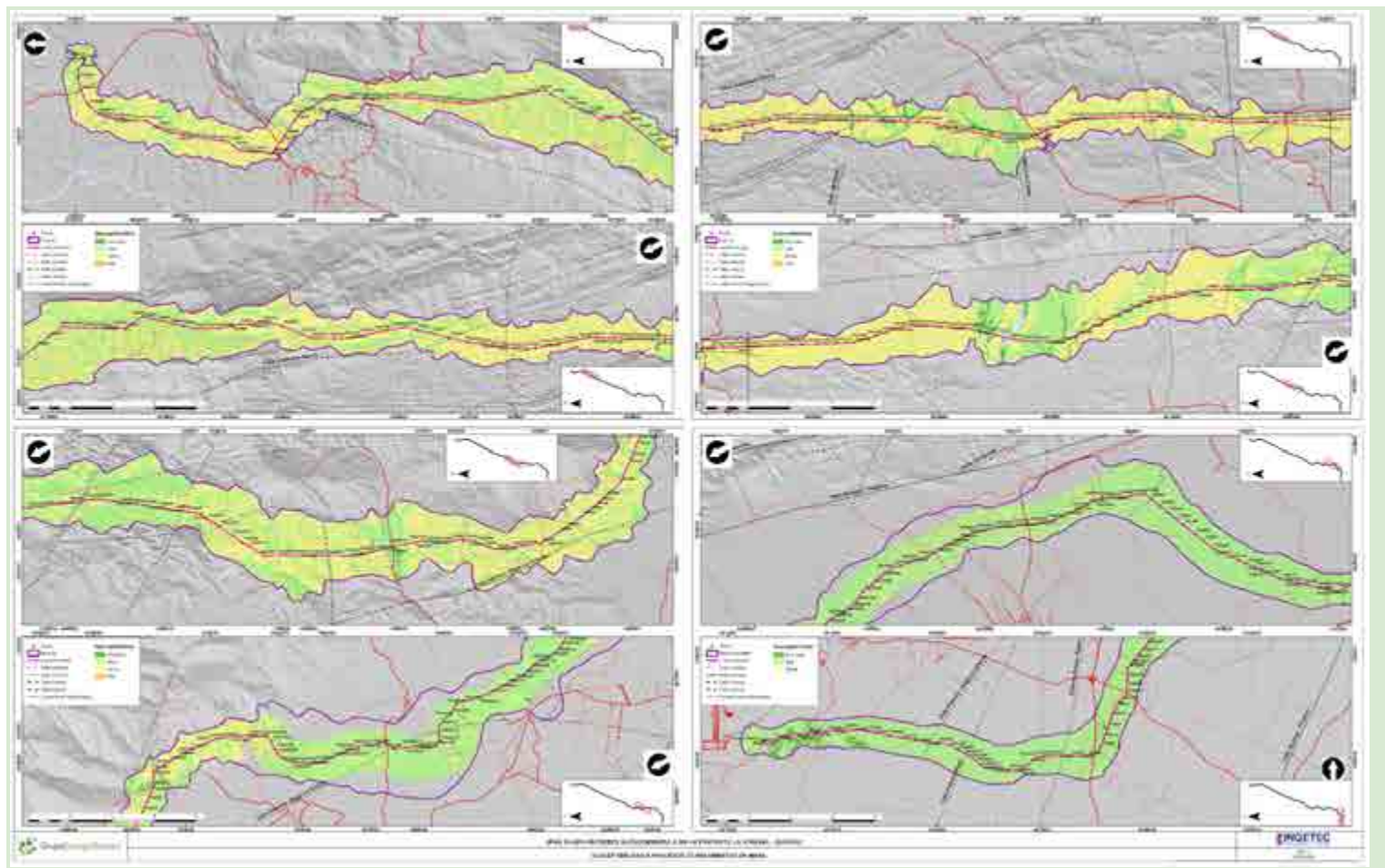


Figura 60. Mapa de zonificación de la susceptibilidad por procesos de erosión y movimientos en masa del área de caracterización.



- Susceptibilidad muy Baja

Zonas suavemente inclinadas con pendientes inferiores a 7°, presentes en unidades geomorfológicas propias de ambientes fluviales de grandes ríos, en especial llanuras de inundación; la composición litológica corresponde con rocas de resistencia intermedia o depósitos sin consolidar.

La posibilidad de generar inestabilidad del terreno es muy baja, los movimientos en masa son mínimos a nulos en donde la reptación pueden identificarse de manera esporádica. Estas áreas no son susceptibles a movimientos en masa, la condición de relieve plano y estable, hace que los suelos por condición natural no contribuyan significativamente a generar movimientos, sin embargo en ocasiones pueden presentar movimientos en masa esporádicos, cuando son afectadas por intervención antrópica. Sus características permiten catalogarlas como terrenos sin susceptibilidad a movimientos en masa.

- Susceptibilidad baja

Zonas con laderas con pendientes inclinadas con rangos entre 7° a 11°, presentes en unidades geomorfológicas propias de grandes planicies principalmente aluviales; de composición litológica de depósitos antiguos con buena consolidación; los movimientos en masa de tipo reptación y propagación lateral pueden identificarse de manera esporádica y no tan reciente.

El número de eventos es bajo a casi nulo y poco probable de incrementarse. Se presentan suelos sobre todo del orden de los inceptisoles (poco evolucionados) y entisoles (poca o ninguna evolución genética, que por la inclinación, no representan mayor predisposición a los movimientos en masa; sobre ellos han evolucionado diversos tipos de bosques y se han implementado actividades agropecuarias de relativo bajo impacto por el relieve, agrupadas con relictos de bosques o espacios naturales, arbustales y vegetación secundaria.

Estas áreas pueden ser susceptibles a deslizamientos de suelo o roca, si son afectadas por intervención antrópica. Sus características permiten catalogarlas como terrenos estables.

- Susceptibilidad Media

Zonas con laderas muy inclinadas a abrupta cuyos rangos de pendiente son del orden de 11° a 19°, presentes en unidades geomorfológicas de origen denudacional son predominantes; las rocas de origen sedimentario e ígneo de resistencia intermedia y

---

blanda debido a procesos de meteorización así como los depósitos coluviales, que pueden producir procesos de remoción de carácter local; los cuales tiene ocurrencia reciente y poco frecuente; con procesos erosivos moderados (terrasetas o patas de vaca).

En esta clase de susceptibilidad, además de suelos inceptisoles y entisoles, aparecen oxisoles (suelos más evolucionados) y además de texturas arcillosas, existen suelos con texturas francas y francas arenosas. Las coberturas de la tierra están relacionadas con actividades agropecuarias, herbazales, arbustales, vegetación secundaria o en transición y pequeños sectores con bosques denso alto de tierra firme; gran parte de las áreas con actividades agropecuarias está incluida en este grado de susceptibilidad.

Estas áreas son susceptibles a deslizamientos de suelo o roca cuando son afectadas por intervención antrópica o actividad sísmica. Sus características permiten calificar estas zonas como zonas relativamente estables.

---

## BIBLIOGRAFÍA

AIS (2009). Estudio general de amenaza sísmica de Colombia.

AIS (2010). Nuevo Reglamento de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR - 10 (Decreto 926 de 2010 – Ley 400 de 1997)

AIS (2014). Norma Colombiana de Diseño Sísmico de Puentes LRFD, CCP-14. Convenio de Asociación 1314 de 2013.

Alfonso, C. A., P. E. Sacks, D. T. Secor, J. Rine, y V. Pérez, 1994, A Tertiary fold and thrust belt in the Valle del Cauca Basin, Colombian Andes: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 7/3-4, p. 387-402.

Barrero D, Álvarez J, Kassem T. 1969. Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico - *Boletín Geológico* - revistas.sgc.gov.co.

Cediel, F., Barrero, D., & Cáceres, C. (1998). Seismic expresión of structural styles in the Basins of Colombia. Bogotá: Ecopetrol, Geotec, Robertson.

Cediel, F., Shaw, R.P. y Cáceres, C. (2003). Tectonic assembly of the Northern Andean block. *AAPG Memoir* 79. p. 815-848

Cortés, M. y Angelier, J. (2005). Current state of stress in the northern Andes as indicated by focal mechanisms of earthquakes. *Tectonophysics* 403 (2005) 29 -58

ETAYO, F., (y 20 autores más), 1983. Mapa de terrenos geológicos de Colombia, Publ. Geol. Esp. del INGEOMINAS. No 14-1. Bogotá, Colombia

Gómez, H. (1970). "Geología del Valle Alto del Río Cauca, Zonas I y II CVC." *Ingeominas Informe* 1566 85.

Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS. 2001. Mapa Geológico Departamento del Valle del Cauca Escala 1:250.000 Memoria Explicativa

Instituto Colombiano de Geología y Minería. INGEOMINAS, 1984. Memoria de la Geología y geoquímica de la Plancha 224 Pereira.

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. 1985. Geología de la Plancha 243 Armenia

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. 1985. Geología de la Plancha 261 Tuluá. Escala 1: 100.000.

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. 1985 Geología de la Plancha 280 Palmira.

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. 1985 Geología de la Plancha Plancha 300, Cali

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, (1999). El Terremoto del Quindío (Enero de 1999), Informe Técnico Científico. Volumen II: Zonificación Sismo-geotécnica Indicativa de Armenia-Quindío

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, 2004. Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geológica para Ingeniería Volumen II, Padilla y otros.

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, 2004. Propuesta metodológica para el desarrollo de una zonificación geomecánica básica Volumen VI. Calderón, Y. y otros.

Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Bogotá, 2011.

López, M. C., F. A. Audemard, y A. A. Velásquez. Compresión Holocena en el Valle del Cauca, Colombia: I Seminario Latinoamericano de Sismología, II Congreso Colombiano de Sismología. Armenia. 2004.

Montes, N. y Sandoval, A. (2001). Base de Datos de Fallas Activas de Colombia - Compilación Bibliográfica. INGEOMINAS. Bogotá. 331 páginas.

Padilla y otros, Propuesta metodológica para el desarrollo de la Cartografía Geológica para Ingeniería. Volumen II, SGS, 2004.

París y J. A. Romero L. 1994. Fallas Activas en Colombia Volumen 34, N° 2-3, pp. 1 - 53.

Red Sismológica Nacional de Colombia -RSNC- (2020). Catálogo instrumental (1993-2020). Fecha de consulta: Septiembre de 2020. Disponible en <http://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/index.php> .

SAATY, T.L. (1980): The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.

Servicio geológico colombiano SGC. 2012. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000.

Servicio geológico colombiano SGC (,2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa..

Servicio Geológico Colombiano, SGC 2018. Mapa geológico de Colombia, Esc:1:100000.

Servicio Geológico Colombiano (2018). Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia.

Servicio Geológico Colombiano (2020). Catálogo de sismicidad histórica nacional. Disponible en [http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irATablaCompleta&opciones=MAPA\\_ACTUAL\\_SISMOS](http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irATablaCompleta&opciones=MAPA_ACTUAL_SISMOS).

Taboada, A., Dimate, C. y Fuenzalida, A. (1998). Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción. Física de la Tierra ISSN: 02144557 1998, No.10: 111-147

Taboada, A., Rivera, L.A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J. y Rivera, C. (2000). Geodynamics of the Northern Andes: Subductions and Intra-continental deformation (Colombia). Tectonics Vol. 19, p. 787-813.

Verdugo & Aspden, 1984. INGEOMINAS. Geología de la Plancha 299 Jamundí.

VERSTAPPEN, H.Th. VAN ZUIDAM, R.A., 1992. El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos, Una base para la evaluación de recursos y riesgos naturales. Revised ed. Enschede, ITC Publ. 10, 89p.



1	Noviembre 2022			
0	Julio 2022			
<b>Versión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 <b>Grupo Energía Bogotá</b> <b>UPME 04-2014 REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 kV</b> <b>PROYECTO LA VIRGINIA – ALFÉREZ</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>				
<b>Capítulo 5.1 MEDIO ABIÓTICO (NUMERAL 5.1.5)</b> 				
<b>ESCALA</b> <b>SIN</b>	<b>FORMATO</b> <b>Carta</b>	<b>CÓDIGO GEB:</b> <b>EEB-U414-CT102150-L380-HSE-2006</b>		
		<b>CÓDIGO CONTRATISTA:</b> <b>04517.01-INF-LL-EAMB-CAP5.1.5-0011</b>		

---

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>17</b>
<b>2. GENERALIDADES</b>	<b>17</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>17</b>
<b>4. ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>17</b>
<b>5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>18</b>
5.1. MEDIO ABIÓTICO	18
5.1.5. Suelos y Usos del Suelo	18
5.1.5.1. Suelos a nivel general	19
5.1.5.1.1. Complejo MQL.	27
5.1.5.1.2. Asociación MQK.	28
5.1.5.1.3. Asociación MQA.	29
5.1.5.1.4. Asociación MQD.	30
5.1.5.1.5. Asociación MRA.	31
5.1.5.1.6. Asociación MRB.	32
5.1.5.1.7. Asociación MRD.	33
5.1.5.1.8. Asociación RC.	34
5.1.5.1.9. Asociación MWE	35
5.1.5.1.10. Asociación LWA.	36
5.1.5.1.11. Complejo LWB.	37
5.1.5.1.12. Asociación LWC.	38
5.1.5.1.13. Complejo LWD.	38
5.1.5.1.14. Asociación PRA.	39
5.1.5.1.15. Complejo ZA.	40
5.1.5.1.16. Asociación PWA.	41
5.1.5.1.17. Complejo PWB.	42
5.1.5.1.18. Asociación GL-PS.	43
5.1.5.1.19. Consociación GL.	44
5.1.5.1.20. Complejo FL-GU.	45
5.1.5.1.21. Consociación LF.	46
5.1.5.1.22. Consociación GU.	47

---

5.1.5.1.23. Consociación RL.	48
5.1.5.1.24. Consociación FL.	48
5.1.5.1.25. Asociación FL-MN.	49
5.1.5.1.26. Consociación JR	50
5.1.5.1.27. Consociación MN.	51
5.1.5.1.28. Consociación PM.	52
5.1.5.1.29. Consociación PL.	53
5.1.5.1.30. Consociación AR.	54
5.1.5.1.31. Complejo (AR-NM).	55
5.1.5.1.32. Complejo CE-NM.	55
5.1.5.1.33. Consociación NM.	56
5.1.5.1.34. Consociación ES.	57
5.1.5.1.35. Complejo ES-PR.	58
5.1.5.1.36. Complejo ES-SO.	59
5.1.5.1.37. Complejo NM-PR.	59
5.1.5.1.38. Complejo GN-GU	60
5.1.5.1.39. Consociación GN.	61
5.1.5.1.40. Complejo MN-PL.	62
5.1.5.1.41. Consociación AD.	63
5.1.5.1.42. Consociación VJ.	64
5.1.5.1.43. Consociación AM.	65
5.1.5.1.44. Complejo PWC.	66
5.1.5.1.45. Complejo (CK-RC).	66
5.1.5.1.46. Consociación CQ.	67
5.1.5.1.47. Consociación JN.	68
5.1.5.1.48. Asociación VP.	69
5.1.5.2. Suelos a nivel semidetallado	70
5.1.5.2.1. Consociación MQSS-A.	70
5.1.5.2.2. Consociación MQSS-B.	71
5.1.5.2.3. Consociación MQSR-D.	71
5.1.5.2.4. Consociación MQSR-F	72
5.1.5.2.5. Consociación MQSE-I.	74
5.1.5.2.6. Consociación MQSP-H.	75
5.1.5.2.7. Consociación MQFL-D.	75

---

---

5.1.5.2.8. Consociación MQFL-E.	76
5.1.5.2.9. Consociación MQFL-G.	78
5.1.5.2.10. Consociación MQLL-B.	79
5.1.5.2.11. Consociación MQLL-D.	80
5.1.5.2.12. Consociación MQLL-H	80
5.1.5.2.13. Consociación MQQP-D.	81
5.1.5.2.14. Complejo MQVV-F.	82
5.1.5.2.15. Complejo MQZV-B.	82
5.1.5.2.16. Consociación MQZV-C.	83
5.1.5.2.17. Asociación MRD.	84
5.1.5.2.18. Asociación RC.	85
5.1.5.2.19. Consociación MRQP-A.	85
5.1.5.2.20. Consociación MRQT-B.	86
5.1.5.2.21. Consociación MRVV-D	86
5.1.5.2.22. Consociación MVSS-A.	87
5.1.5.2.23. Consociación MVSR-B.	87
5.1.5.2.24. Consociación MVLL-A.	88
5.1.5.2.25. Consociación MVZV-A.	88
5.1.5.2.26. Consociación LQTS-A	89
5.1.5.2.27. Consociación LQTR-B	89
5.1.5.2.28. Consociación LQTE-D	90
5.1.5.2.29. Consociación LQSS-A.	91
5.1.5.2.30. Consociación LQSR-C	91
5.1.5.2.31. Consociación LQSE-D	92
5.1.5.2.32. Consociación LQLL-C.	93
5.1.5.2.33. Consociación LQLL-D.	93
5.1.5.2.34. Consociación LQVV-A.	94
5.1.5.2.35. Consociación LQZV-A.	94
5.1.5.2.36. Consociación LQZV-B	95
5.1.5.2.37. Consociación LRTS-B	96
5.1.5.2.38. Consociación LRTR-E.	96
5.1.5.2.39. Consociación LRSS-A.	97
5.1.5.2.40. Consociación LRSR-B.	97
5.1.5.2.41. Consociación LRSR-C.	98

---

5.1.5.2.42. Consociación LRSE-E.	99
5.1.5.2.43. Consociación LRLL-B.	100
5.1.5.2.44. Consociación LRLL-C	101
5.1.5.2.45. Consociación LRZV-A.	101
5.1.5.2.46. Consociación LVTS-A.	102
5.1.5.2.47. Consociación LVTR-B.	102
5.1.5.2.48. Consociación LVSS-A.	103
5.1.5.2.49. Consociación LVSR-B	104
5.1.5.2.50. Consociación LVLL-A.	104
5.1.5.2.51. Consociación LVZV-A.	105
5.1.5.2.52. Consociación LWTS-A.	105
5.1.5.2.53. Consociación LWTR-B	106
5.1.5.2.54. Consociación LWSS-A.	106
5.1.5.2.55. Consociación LWSR-B.	107
5.1.5.2.56. Consociación LWLL-A.	108
5.1.5.2.57. Consociación LWLL-B.	108
5.1.5.2.58. Consociación LWVV-C.	109
5.1.5.2.59. Consociación LWZV-A.	109
5.1.5.2.60. Consociación PQLC-A.	110
5.1.5.2.61. Consociación PQLL-D.	111
5.1.5.2.62. Consociación PQLL-E.	111
5.1.5.2.63. Consociación PQASP-D.	112
5.1.5.2.64. Consociación PQASP-F.	113
5.1.5.2.65. Consociación PQAST-H.	114
5.1.5.2.66. Consociación PQVP-A.	115
5.1.5.2.67. Consociación PQVV-D.	116
5.1.5.2.68. Consociación PQZV-A.	117
5.1.5.2.69. Asociación PRA.	118
5.1.5.2.70. Complejo ZA.	118
5.1.5.2.71. Complejo (FL-GU).	119
5.1.5.2.72. Consociación GU.	120
5.1.5.2.73. Consociación RL.	121
5.1.5.2.74. Consociación (FL).	122
5.1.5.2.75. Consociación (LF).	122

---



---

5.1.5.2.76. Asociación (FL-MN).	123
5.1.5.2.77. Complejo (MN-PL).	124
5.1.5.2.78. Consociación JR.	125
5.1.5.2.79. Consociación MN.	125
5.1.5.2.80. Consociación PL.	127
5.1.5.2.81. Consociación PM.	128
5.1.5.2.82. Asociación (GL-PS).	129
5.1.5.2.83. Consociación GL.	129
5.1.5.2.84. Complejo (ES-SO).	130
5.1.5.2.85. Complejo (AR-NM).	131
5.1.5.2.86. Complejo (ES-PR).	131
5.1.5.2.87. Complejo (NM-PR).	132
5.1.5.2.88. Complejo (CE-NM).	133
5.1.5.2.89. Consociación ES.	134
5.1.5.2.90. Consociación NM.	135
5.1.5.2.91. Consociación AR.	136
5.1.5.2.92. Consociación AD.	136
5.1.5.2.93. Consociación GN.	137
5.1.5.2.94. Complejo (GN-GU).	138
5.1.5.2.95. Consociación VJ.	138
5.1.5.2.96. Consociación AM.	139
5.1.5.2.97. Complejo (CK-RC).	140
5.1.5.2.98. Consociación CQ.	141
5.1.5.2.99. Consociación JN.	142
5.1.5.2.100. Complejo VQPV-B.	143
5.1.5.2.101. Consociación VQTP1-A.	143
5.1.5.2.102. Consociación VVPV-A.	144
5.1.5.2.103. Asociación VP.	145
5.1.5.2.104. Análisis de resultados y relación con el proyecto	146
5.1.5.3. Estado actual de los suelos.	147
5.1.5.3.1. Erosión actual.	147
5.1.1.3.2. Estado actual del suelo en cuanto a la salinización	150
5.1.5.3.3. Estado actual de los suelos y el riesgo de desertificación	153
5.1.5.4. Análisis de los servicios ecosistémicos del suelo	158

---

---

5.1.5.4.1. Capacidad de provisión de alimentos y fibras	159
5.1.5.4.2. Servicio ecosistémico de regulación y fijación de carbono	162
5.1.5.4.3. Servicio ecosistémico de soporte de las actividades humanas	164
5.1.5.5. Clasificación agrológica y uso potencial.	167
5.1.5.5.1. Análisis de resultados y relación con el proyecto	171
5.1.5.6. Uso actual del suelo	179
5.1.5.7. Conflictos de uso del suelo	184
5.1.5.8. Usos de los suelos con respecto al ordenamiento territorial	189
5.1.5.9. Bibliografía	193

---

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Leyenda de Suelos a escala 1:100.000.
- Tabla 2. Criterios para la identificación de la erosión en suelos.
- Tabla 3. Estado actual de los suelos en cuanto a la erosión
- Tabla 4. Criterios para la identificación de suelos afectados por salinización.
- Tabla 5. Estado actual de la salinidad de los suelos por unidad cartográfica
- Tabla 6. Variables y criterios de ponderación para la categorización de la desertificación.
- Tabla 7. Categorización de criterios en el área de influencia abiótica
- Tabla 8. Riesgo por Erosión.
- Tabla 9. Riesgo por salinización.
- Tabla 10. Riesgo por clima.
- Tabla 11. Riesgo por el régimen de humedad.
- Tabla 12. Servicio de provisión de alimentos y fibras en el área de influencia abiótica.
- Tabla 13. Capacidad de uso de las tierras en el área de influencia abiótica.
- Tabla 14. Coberturas y usos actuales del suelo en el área de influencia abiótica.
- Tabla 15. Tipos de conflictos de uso del suelo y símbolo utilizado
- Tabla 16. Tipos de conflictos de uso del suelo.
- Tabla 17. Matriz de calificación por conflicto de uso del suelo.
- Tabla 18. Símbolos Uso potencial y Uso actual.
- Tabla 19. Correlación de estudios antecedentes y su área de influencia municipal.

---

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Perfil Modal 25 (Suelo Typic Haplustepts representativo de la unidad MQL), municipio de Obando, vereda Sierra Mocha.

Fotografía 2. Perfil Modal 24 (suelo Typic Dystrudepts, representativo de la unidad MQK), Municipio de Obando, vereda Salem.

Fotografía 3. Perfil Modal 22 (Suelo Typic Dystrudepts representativo de la unidad MQA), municipio de Guacarí, vereda Alto de la Julia.

Fotografía 4. Perfil Modal 23 (Suelo Typic Dystrudepts representativo de la unidad MQD), municipio de Ginebra, vereda Patio Bonito.

Fotografía 5. Perfil Modal 27 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MRA), municipio de Tuluá, vereda El Brasil.

Fotografía 6. Perfil Modal 29 (Suelo Typic Humudepts representativo de la unidad MRB), municipio de Guacarí, vereda Alto de la Julia.

Fotografía 7. Perfil Modal 26 (Suelo Humic Dystrudept representativo de la unidad MRD), municipio de Ginebra, vereda La Selva.

Fotografía 8. Perfil Modal 1 (Suelo Typic Humudepts representativo de la unidad MWE), municipio de Obando, vereda Salem.

Fotografía 9. Perfil Modal 3 (Suelo Vertic Haplustepts representativo de la unidad LWA), municipio de Bugalagrande, vereda Raicerros.

Fotografía 10. Perfil Modal 4 (Suelo Typic Humudepts representativo de la unidad LWB), municipio de Bugalagrande, vereda Raicerros.

Fotografía 11. Perfil Modal 2 (Suelo Entic Haplustolls representativo de la unidad LWD), municipio de Bugalagrande, vereda Raicerros.

Fotografía 12. Perfil Modal NP 12 (Suelo Humic Dystrustepts representativo de la unidad PRA), municipio de Guacarí.

Fotografía 13. Perfil Modal 16 (Suelo Typic Durustalfs representativo de la unidad ZA), municipio de Zarzal, vereda Vallejuelo

Fotografía 14. Perfil Modal 19 (Suelo Typic Argiudolls representativo de la unidad PWA), municipio de Andalucía, vereda Pardo.

Fotografía 15. Perfil Modal 20 (Suelo Typic Argiudolls representativo de la unidad PWB), municipio de Andalucía, vereda Pardo.

---

Fotografía 16. Perfil Modal NP 7 (Suelo Lithic Humustepts representativo de la unidad GL-PS), municipio Palmira.

Fotografía 17. Perfil Modal 7 (Suelo Udic Calciusterts representativo de la unidad GL), municipio de Candelaria, vereda El Tiple

Fotografía 18. Perfil Modal 36 (Suelo Fluvaquentic Haplustolls representativo de la unidad FL-GU), municipio de Candelaria, vereda El Cabuyal.

Fotografía 19. Perfil Modal NP 6 (Suelo Sodic Calciusterts representativo de la unidad LF), municipio de Candelaria, vereda El Cabuyal.

Fotografía 20. Perfil Modal 9 (Suelo Fluvaquentic Haplustolls representativo de la unidad GU), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.

Fotografía 21. Perfil Modal 33 (Suelo Typic Haplusterts encontrado en la unidad FL), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja

Fotografía 22. Perfil Modal 12 (Suelo Typic Haplustolls encontrado en la unidad FL-MN), municipio de Candelaria, vereda Buchitolo.

Fotografía 23. Perfil Modal 11 (Suelo Typic Haplustolls encontrado en la unidad JR), municipio de Candelaria, vereda La Regina.

Fotografía 24. Perfil Modal 13V (Suelo Cumulic Haplustolls, encontrado en la unidad MN), municipio de Candelaria, vereda El Tiple.

Fotografía 25. Perfil Modal 8 (Suelo Vertic Haplustolls representativo de la unidad PM), municipio de Candelaria, vereda San Joaquin.

Fotografía 26. Perfil Modal 10 (Suelo Pachic Haplustolls representativo de la unidad PL), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.

Fotografía 27. Perfil Modal 15V (Entic Haplustolls identificado en la unidad cartográfica NM), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 28. Perfil Modal 14 (Suelo Vertic Haplustepts encontrado en la unidad ES), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 29. Perfil Modal 14V (Suelo Udic Haplusterts encontrado en la unidad ES-PR), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 30. Perfil Modal 39 (Suelo Udic Haplusterts encontrado en la unidad ES-PR), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 31. Perfil Modal 15 (Suelo Entic Haplustolls representativo de la unidad NM-PR), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.



---

Fotografía 32. Perfil Modal NP 9 (Suelo Typic Haplustepts representativo de la unidad GN), Municipio El Cerrito.

Fotografía 33. Perfil Modal 34 (Suelo Chromic Udic Haplusterts representativo de la unidad AD), municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

Fotografía 34. Perfil Modal 17 (Suelo Udic Haplusterts representativo de la unidad VJ), municipio de Zarzal, vereda Vallejuelo.

Fotografía 35. Perfil Modal 18 (Suelo Entic Haplusterts representativo de la unidad AM), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 36. Perfil Modal 35 (Suelo Fluventic Haplustepts representativo de la unidad CK-RC), municipio de Candelaria, vereda San Joaquin.

Fotografía 37. Perfil Modal 21 (Suelo Vertic Endoaquepts representativo de la unidad JN), municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

Fotografía 38. Perfil Modal 31 (Suelo Typic Haplustolls representativo de la unidad VP), municipio de Pereira, vereda Azufral.

Fotografía 39. Perfil Modal 1 (Suelo Typic Haplustepts encontrado en la unidad MQSR-F), municipio de Obando, vereda Salem.

Fotografía 40. Perfil Modal 25 (Suelo Typic Eutrudepts encontrado en la unidad MQSR-F), municipio de Obando, vereda Sierra Mocha

Fotografía 41. Perfil Modal 24 (Typic Eutrudepts, encontrado en la unidad MQSR-F), municipio de Obando, vereda Salem.

Fotografía 42. Perfil Modal 22 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MQFL-D), municipio de Guacarí, vereda Alto de la Julia

Fotografía 43. Perfil Modal 29 (Suelo Lithic Ustorthents encontrado en la unidad MQFL-D), municipio de Guacarí, vereda Alto de la Julia.

Fotografía 44. Perfil Modal 23 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MQFL-E), municipio de Ginebra, vereda Patio Bonito.

Fotografía 45. Perfil Modal 26 (Suelo Humic Dystrudept encontrado en la unidad MQFL-E), municipio de Ginebra, vereda La Selva.

Fotografía 46. Perfil Modal 27 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MQFL-E), municipio de Tuluá, vereda El Brasil.

Fotografía 47. Perfil Modal 26 (Suelo Humic Dystrudept representativo de la unidad MRD), municipio de Ginebra, vereda La Selva.

---

Fotografía 48. Perfil Modal 4 (Suelo Entic Ustorthents encontrado en la unidad LRSE-E), municipio de Bugalagrande, vereda Raicerros.

Fotografía 49. Perfil Modal 19 (Suelo Aquertic Haplustalfs encontrado en la unidad PQASP-D), municipio de Andalucía, vereda Pardo.

Fotografía 50. Perfil Modal 20 (Suelo Typic Durustalfs encontrado en la unidad PQAST-H), municipio de Andalucía, vereda Pardo.

Fotografía 51. Perfil Modal 2 (Suelo Aquertic Eutrudepts encontrado en la unidad PQVP-A), municipio de Bugalagrande, vereda Raicerros.

Fotografía 52. Perfil Modal 16 (Suelo Typic Haplustalfs encontrado en la unidad ZA), municipio de Zarzal, vereda Vallejuelo.

Fotografía 53. Perfil Modal 36 (Suelo Fluvaquentic Haplustolls encontrado en la unidad (FL-GU), municipio de Candelaria, vereda El Cabuyal.

Fotografía 54. Perfil Modal 9 (Suelo Fluvaquentic Haplustolls representativo unidad GU), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.

Fotografía 55. Perfil Modal 33 (Suelo Typic Haplusterts encontrado en la unidad FL), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.

Fotografía 56. Perfil Modal 12 (Suelo Typic Haplustolls encontrado en la unidad FL-MN), municipio de Candelaria, vereda Buchitolo.

Fotografía 57. Perfil Modal 11 (Suelo Typic Haplustolls encontrado en la unidad JR), municipio de Candelaria, vereda La Regina.

Fotografía 58. Perfil Modal 10 (Suelo Pachic Haplustolls representativo de la unidad PL), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.

Fotografía 59. Perfil Modal 8 (Suelo Vertic Haplustolls representativo de la unidad PM), municipio de Candelaria, vereda San Joaquín.

Fotografía 60. Perfil Modal 7 (Suelo Udic Calciusterts representativo de la unidad GL), municipio de Candelaria, vereda El Tiple.

Fotografía 61. Perfil Modal 39 (Suelo Udic Haplusterts encontrado en la unidad ES-PR), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 62. Perfil Modal 15 (Suelo Entic Haplustolls representativo de la unidad NM-PR), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 63. Perfil Modal 14 (Suelo Vertic Haplustepts encontrado en la unidad ES), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

---

Fotografía 64. Perfil Modal 15V (Entic Haplustolls identificado en la unidad cartográfica NM), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 65. Perfil Modal 34 (Suelo Chromic Udic Haplusterts representativo de la unidad AD), municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

Fotografía 66. Perfil Modal 17 (Suelo Udic Haplusterts representativo de la unidad VJ), municipio de Zarzal, vereda Vallejuelo.

Fotografía 67. Perfil Modal 18 (Suelo Entic Haplusterts representativo de la unidad AM), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 68. Perfil Modal 35 (Suelo Fluventic Haplustepts representativo de la unidad CK-RC), municipio de Candelaria, vereda San Joaquin.

Fotografía 69. Perfil Modal 21 (Suelo Vertic Endoaquepts representativo de la unidad JN), municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

Fotografía 70. Perfil Modal 31 (Suelo Vertic Argiustolls representativo de la unidad VP), municipio de Pereira, vereda Azufral.

Fotografía 71. Sectores con erosión hídrica en grado ligero, cerca del Perfil Modal 4 (Suelo Typic Humudepts representativo de la unidad LWLL-A), municipio de Bugalagrande, vereda Raicerros.

Fotografía 72. Erosión hídrica en grado moderado, cerca del Perfil Modal 27 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MWFL-G), municipio de Tuluá, vereda El Brasil.

Fotografía 73. Callejón de caña, cerca del perfil 11, en el cual se observan pequeñas costras salinas en superficie (suelos con alto contenido de magnesio). Municipio de Candelaria, vereda La Regina.

Fotografía 74. Horizonte B magnésico (sales en puntos salinos, 36,73% de porcentaje de saturación de magnesio), perfil 19. Municipio de Andalucía, vereda Pardo

Fotografía 75. Horizonte A del Perfil Modal 11-Suelo Typic Haplustolls encontrado en la unidad JR, con 2,08% de carbono almacenado, municipio de Candelaria, vereda La Regina

Fotografía 76. Horizonte A del Perfil Modal 35, Suelo Fluventic Haplustepts representativo de la unidad CK-RC, con 1,55% de carbono almacenado, municipio de Candelaria, vereda El Estero.

Fotografía 77. En primer plano suelos de lomerío que prestan el servicio ecosistémico de soporte a actividades ganaderas, al fondo y en ese mismo paisaje suelos que

---

soportan bosques densos asociados a cuerpos de agua, municipio de Bugalagrande, vereda Raiceros.

Fotografía 78. Suelo con soporte para actividades agroforestales, en el que se observa en primer plano pastos y al fondo bosques que protegen cuerpos de agua y cultivos de plátano, municipio de Ginebra, vereda La Selva.

Fotografía 79. En primer plano suelo de montaña que prestan el servicio ecosistémico de soporte a actividades ganaderas, al fondo en el paisaje de piedemonte suelos que soportan el desarrollo de infraestructura, zonas urbanas y agricultura, municipio de Ginebra, vereda La Selva.

Fotografía 80. Caña de azúcar en suelos Clase 2, (Unidad MNa) aptos para cultivos transitorios intensivos. Municipio de Candelaria, vereda El Tiple.

Fotografía 81. Perfil Modal 13V. Suelos Cumulic Haplustolls de la unidad MNa, con clase agrológica 2. Municipio de Candelaria, vereda El Tiple.

Fotografía 82. Caña de azúcar en suelos de la clase 3 (Unidad JRa) del cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes. Municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

Fotografía 83. Canales de riego y drenaje en el sitio de realización del perfil Modal 11, Typic Haplustolls francosa fina. Municipio de Candelaria, vereda La Regina.

Fotografía 84. Caña de azúcar en suelos clase 4 (Unidad JNar) suelos de cubetas de decantación artificialmente drenados. Municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

Fotografía 85. Perfil modal 21, suelos Vertic Endoaquetps artificialmente drenados (clase 4). Municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

Fotografía 86. Suelos de vallecito categorizados en clase 5, municipio de Cartago, vereda Piedra de Moler.

Fotografía 87. Bosque de Galería desarrollado en los suelos clase 5. municipio de Cartago, vereda Piedra de Moler.

Fotografía 88. Tierras de la clase 6, (Unidad VPe2) desarrolladas en terrazas disectadas del paisaje de Valle, aptas para pastoreo con ganadería extensiva. Municipio de Pereira, vereda Azufral.

Fotografía 89. Perfil Modal 31, Vertic Argiustolls, Unidad VPe2, con erosión moderada. Municipio de Pereira, vereda Azufral.

Fotografía 90. Suelos en laderas de filas y vigas (Unidad MQFL-Gf2), con clase agrológica 7. Municipio de Tuluá, vereda El Brasil.

---

Fotografía 91. Perfil Modal 27, representativo de la unidad de suelos MQFL-Gf2. Municipio de Tuluá, vereda El Brasil.

Fotografía 92. Suelos de espinazos con pendientes fuertes y de clase 8, aptos para conservación y recuperación de la naturaleza. Municipio de Obando, vereda Salem.

Fotografía 93. Perfil Modal 24, desde donde se observan espinazos con pendientes fuertes de la unidad MQSS-Bg2, categorizados en clase 8. Municipio de Obando, vereda Salem.

Fotografía 94. Cultivos permanentes intensivos (Caña) en el municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

Fotografía 95. Infraestructura de riego y drenaje en la vereda la Regina del municipio de Candelaria.

Fotografía 96. Infraestructura de transporte en el municipio de Cerrito, al lado ganadería semi intensiva con pastos arbolados. Municipio del Cerrito, vereda El Placer.

Fotografía 97. Mecanización de tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar (Cultivos permanentes intensivos). Municipio de Candelaria, vereda San Joaquin.

Fotografía 98. Pastoreo extensivo en pastos enmalezados en el municipio de Ginebra, vereda La Floresta.

Fotografía 99. En primer plano pastos limpios (Ganadería intensiva), al fondo bosque de Galería y ripario (Conservación y/o recuperación), municipio de Ginebra, vereda La Selva.

Fotografía 100. Cultivo de Naranja (Cultivos permanentes intensivos) en el municipio de Andalucía, vereda Pardo.

Fotografía 101. Talud del abanico aluvial subreciente, cerca del río Bugalagrande utilizado en cultivos permanentes intensivos. Municipio de Andalucía, vereda Pardo.

Fotografía 102. Tierras en uso adecuado (Suelos de los albardones del río Cauca aptos para cultivos transitorios intensivos, utilizados en cultivos permanentes intensivos). Municipio de Candelaria, vereda San Joaquin.

Fotografía 103. Tierras en uso adecuado (Suelos aptos para cultivos permanentes intensivos, actualmente cultivados con naranja en el municipio de Andalucía, vereda Pardo).

Fotografía 104. Tierras con sobreutilización moderada cerca del Perfil Modal 26 (Suelos aptos para sistemas agrosilvopastoriles que actualmente se utilizan en ganadería extensiva). municipio de Ginebra, vereda La Selva



---

Fotografía 105. Tierras con sobreutilización ligera en el municipio de Pereira, vereda Azufral (Suelos aptos para ganadería extensiva que actualmente se utilizan en ganadería intensiva).

Fotografía 106. Tierras con subutilización ligera, cerca del Perfil Modal 22, aptas para sistemas silvoagrícolas utilizadas actualmente en ganadería extensiva. Municipio de Guararí, vereda Alto de la Julia.

Fotografía 107. Tierras con sobreutilización severa, aptas para conservación (CRE) y utilizadas actualmente en pastoreo extensivo. Municipio de Tuluá, vereda El Brasil.

---

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo D3.1. Formato de perfiles
- Anexo D3.2. Resultados de laboratorio
- Anexo D3.3. Leyenda de suelos 25K
- Anexo D3.4. Infiltraciones
- Anexo D3.5. Capacidad de uso de las tierras
- Anexo D3.6. Mapa de conflictos con respecto al territorio
- Anexo D3.7. Carbono orgánico por unidad de suelo 100k
- Anexo D3.8. Conflictos uso suelo
- Anexo D3.9. Suelos servicio ecosistémico de soporte
- Anexo D3.10. Cálculo fertilidad suelos Ingetec
- Anexo D3.11. Análisis de salinidad
- Anexo D3.12. Riesgo desertificación
- Anexo D3.13. Conflictos uso territorio EOT, POMCA
- Anexo D3.14. Mapa de suelos
- Anexo D3.15. Mapa de capacidad de uso de las tierras
- Anexo D3.16. Mapa de puntos de monitoreo de suelos
- Anexo D3.17. Mapa de conflictos de uso
- Anexo D3.18. Mapa de uso actual

---

## 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

### 5.1. MEDIO ABIÓTICO

#### 5.1.5. Suelos y Usos del Suelo

El suelo, es un cuerpo natural que comprende sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, que ocupa un espacio, y que se caracteriza por horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural (USDA - NRCS, 2014). El estudio del suelo se basa en la comprensión de la naturaleza, las propiedades, dinámicas y funciones del suelo como parte del paisaje y los ecosistemas; inicia con la disponibilidad de información confiable sobre la morfología de los suelos y otras características obtenidas a través del estudio y la descripción del suelo en el campo (FAO, 2009).

Los ambientes edafogenéticos son áreas en las que coinciden la posición geomorfológica (paisaje y tipo de relieve), la litología o la naturaleza de los sedimentos (material de origen) y el clima ambiental. Por lo tanto, las poblaciones de suelos que allí ocurren presentan un grado relativo de similitud, lo que facilita la interpretación, tanto de su capacidad de uso y manejo como de su vulnerabilidad ante la acción de los factores ambientales y la actividad del hombre. Por consiguiente, su identificación y análisis es muy útil, en el caso del presente EIA, para prever los impactos del proyecto sobre el área de influencia del componente edafológico y para conocer las limitaciones del medio edáfico para el desarrollo de las obras proyectadas y para evaluar el estado actual de la erosión, la posible salinización, la desertificación y remoción (IDEAM 2015, Minambiente, IGAC).

La delimitación y caracterización de los suelos es un proceso donde se determinan los factores y procesos de su formación, referidos al material parental, los cambios en el relieve, las variaciones climáticas y la erosión; en aras de conocer aspectos importantes de la física de suelos, como son: el régimen de agua, aire y temperatura, los procesos de floculación y dispersión de los coloides del suelo, la retención y el movimiento de agua, la formación de la estructura y la distribución del espacio poroso, y con el fin de separar en unidades de suelo con características homogéneas. El conocimiento y la descripción de las características del suelo son fundamentales para llevar a cabo el Ordenamiento Territorial de los recursos naturales en el país; A partir de estas, se desarrollan diversas técnicas de caracterización que permiten conocer las condiciones del suelo, importantes

---

para el crecimiento de las plantas, la sostenibilidad del mismo y las actividades asociadas al manejo de suelos agropecuarios o conservacionistas para determinada área de estudio (Valenzuela, & Torrente, 2010, 594).

Para el presente documento, la delimitación y caracterización permite conocer las características de los suelos y del entorno, basados en estudios generales y semidetallados de suelos, junto con observaciones realizadas directamente en campo (Ver Anexo D3.1. Formato de perfiles). La descripción de suelos se hace de lo general a lo particular, de acuerdo con los paisajes, tipos de relieve y formas del terreno. La potencialidad de los suelos se determina en función de la capacidad de uso de las tierras; para el establecimiento de un uso adecuado a través de las limitaciones pedogenéticas observadas en campo se hace una agrupación de las unidades cartográficas de suelo según su uso y manejo, ubicándose en clases y subclases, definido por La Metodología para la Clasificación de Las Tierras por su Capacidad de Uso, IGAC 2014.

El capítulo de Suelos y Usos del Suelo se aborda de lo general a lo particular, realizando la descripción de las unidades a escala 1:100.000, a partir de la información presentada en el Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca, IGAC 2004 y el Estudio general de suelos y zonificación de tierras de Risaralda, IGAC 2004. Para posteriormente realizar la descripción de las unidades de suelos a escala 1:25.000 a partir de la integración de los estudios anteriormente mencionados con el Levantamiento Semidetallado de Suelos Escala 1:25.000 de las cuencas priorizadas por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca- CVC, 2014. En ambos casos la descripción de las unidades cartográficas se realiza en forma descendente, siguiendo la estructura de la leyenda adjunta. Ver Tabla 1 y Anexo D3.3. Leyenda de suelos 25K.

#### 5.1.5.1. Suelos a nivel general

A continuación, se presentan las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 a partir de la información plasmada en los estudios de suelos IGAC, 2004. Se destaca la presencia de 48 unidades cartográficas de suelos en el área de influencia abiótica, de las cuales 43 serán intervenidas por el proyecto, las unidades unidades FL-GU, GL-PS, MN-PL, LWC y RC no serán intervenidas. Así, se presenta la leyenda de suelos, donde se observa la relación con la geomorfología y los perfiles realizados en campo por INGETEC para el proyecto. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Leyenda de suelos a escala 1:100.000.

Paisaje	Clima	Tipo de Relieve	Forma del Terreno	Unidad de Suelos Escala 1:100.000	Unidad de suelos Escala 1:25.000	Tipo de unidad cartográfica y Componentes	Perfil realizado por INGETEC	Coordenadas origen único Nacional	
								Este	Norte
Montaña	Medio húmedo	Espinazo	Laderas	MQL	MQSR-Ff2	<b>Complejo:</b> Typic Haplustepts, fina	Perfil 25	4676503,93	2062230,22
				MQK	MQSR-Fe	<b>Asociación:</b> Typic Dystrudepts, fina	Perfil 24	4676060,29	2061250,72
		Filas y vigas	Cimas y laderas	MQA	MQFL-Dep	<b>Asociación:</b> Typic Dystrudepts, fina	Perfil 22	4639077,35	1979153,08
				MQD	MQFL-Ee2	<b>Asociación:</b> Typic Dystrudepts, fina	Perfil 23	4641971,19	1971871,15
	Medio seco	Filas y vigas	Cimas y laderas	MRA	MQFL-Gf2	<b>Asociación:</b> Typic Dystrudepts, fina	Perfil 27	4650804,46	2003356,10
				MRB	MQFL-De	<b>Asociación:</b> Typic Humudepts, fina	Perfil 29	4639272,65	1978492,65
				MRD	MQFL-Ef	<b>Asociación:</b> Humic Dystrustepts, fina	Perfil 26	4641982,97	1973975,09
				RC	No presenta infraestructura asociada	<b>Asociación:</b> Typic Haplustoll	No presenta infraestructura asociada		



Paisaje	Clima	Tipo de Relieve	Forma del Terreno	Unidad de Suelos Escala 1:100.000	Unidad de suelos Escala 1:25.000	Tipo de unidad cartográfica y Componentes	Perfil realizado por INGETEC	Coordenadas origen único Nacional		
								Este	Norte	
	Cálido húmedo	Vallecitos aluviales	Vega	MWE	MQSR-Fe	<b>Asociación:</b> Typic Humudepts, fina	Perfil 1	4675639,61	2060251,04	
Lomerío	Cálido seco	Cuestas y crestones homoclinales	Laderas	LWA	LWZV-Ab	<b>Asociación:</b> Vertic Haplustepts, francosa fina	Perfil 3	4664771,23	2040106,03	
				LWB	LRSE-Eg	<b>Complejo:</b> Typic Humudepts, fina	Perfil 4	4657541,84	2022979,62	
		Vallecitos aluviales	Vega	LWC	No presenta infraestructura asociada	<b>Asociación:</b> Fluventic Hapludolls	No presenta infraestructura asociada			
				LWD	PQVP-Ab	<b>Complejo:</b> Entic Haplustolls, francosa gruesa	Perfil 2	4656043,03	2018169,25	
Pie de monte	Medio seco	Lomas y colinas	Cimas y laderas	PRA	PQLL-Ddp	<b>Asociación:</b> Humic Dystrustepts, franca fina	NP 12	4641362,76	1975507,22	
	Cálido seco	Lomas y colinas	Cimas y laderas	ZA	ZAd2	<b>Complejo:</b> Typic Durustalfs, fina	Perfil 16	4665371,24	2041422,66	
		Abanico -terrazza	Plano o talud	PWA	PQASP-Da	<b>Asociación:</b> Typic Argiudolls, franca fina	Perfil 19	4653726,44	2014969,17	

Paisaje	Clima	Tipo de Relieve	Forma del Terreno	Unidad de Suelos Escala 1:100.000	Unidad de suelos Escala 1:25.000	Tipo de unidad cartográfica y Componentes	Perfil realizado por INGETEC	Coordenadas origen único Nacional	
								Este	Norte
				PWB	PQAST-Hd	<b>Complejo:</b> Typic Argiudolls, fina	Perfil 20	4653905,29	2015192,00
		Abanico aluvial reciente	Cuerpo y base	(GL-PS)	(GL-PS)ak	<b>Asociación:</b> Lithic Humustepts, fina sobre esqueletal	NP 7	4623102,34	1949512,19
				GL	GLar	<b>Consociación:</b> Udic Calciusterts, fina	Perfil 7	4620590,37	1930758,96
				(FL-GU)	(FL-GU)a	<b>Complejo:</b> Fluvaquentic Haplustolls, francosa fina	Perfil 36	4627945,56	1931067,42
				LF	LFak	<b>Consociación:</b> Sodic Calciusterts, fina	NP 6	4638113,06	1945339,51
				GU	GUa	<b>Consociación:</b> Fluvaquentic Haplustolls, francosa gruesa	Perfil 9	4633415,35	1938757,76
				RL	RLa	<b>Consociación:</b> Fluventic Haplustolls, francosa fina	Perfil 8V	4630262,42	1935835,70

Paisaje	Clima	Tipo de Relieve	Forma del Terreno	Unidad de Suelos Escala 1:100.000	Unidad de suelos Escala 1:25.000	Tipo de unidad cartográfica y Componentes	Perfil realizado por INGETEC	Coordenadas origen único Nacional	
								Este	Norte
				FL	FLa	<b>Consociación:</b> Typic Haplusterts, fina	Perfil 33	4629073,24	1934393,62
Pie de monte	Cálido seco	Abanico aluvial reciente	Cuerpo y base	(FL-MN)	(FL-MN)a	<b>Asociación:</b> Typic Haplustolls, francosa gruesa	Perfil 12	4627589,12	1930375,14
				JR	JRa	<b>Consociación:</b> Typic Haplustolls, francosa fina	Perfil 11	4628717,96	1932836,75
				MN	MNa	<b>Consociación:</b> Cumulic Haplustolls, francosa fina	Perfil 13V	4629032,31	1933499,93
				PM	PMa	<b>Consociación:</b> Vertic Haplustolls, Francosa fina	Perfil 8	4615995,35	1931471,06
				PL	PLa	<b>Consociación:</b> Pachic Haplustolls, francosa fina	Perfil 10	4632169,27	1937652,11
		Abanico coluvio-aluvial	Ápice	AR	ARa	<b>Complejo:</b> Entic Haplustolls, francosa fina	Perfil 5V	4638397,43	1956792,98

Paisaje	Clima	Tipo de Relieve	Forma del Terreno	Unidad de Suelos Escala 1:100.000	Unidad de suelos Escala 1:25.000	Tipo de unidad cartográfica y Componentes	Perfil realizado por INGETEC	Coordenadas origen único Nacional	
								Este	Norte
				(AR-NM)	No presenta perfil por orden público.	<b>Complejo:</b> Vertic Haplustalfs, fina	No se realizó levantamiento de información primaria por orden público.		
				(CE-NM)	(CE-NM)cp	<b>Consociación:</b> Entic Haplustolls, franca fina	Perfil 1V	4639681,81	1969342,45
				NM	NMb	<b>Consociación:</b> Entic Haplustolls, francosa fina	Perfil 15V	4639214,60	1951728,80
				ES	ESa	<b>Consociación:</b> Vertic Haplustepts	Perfil 14	4637612,32	1941740,64
				(ES-PR)	(ES-PR)b	<b>Complejo:</b> Udic Haplusterts, fina	Perfil 14V	4638010,91	1942854,17
				(ES-SO)	No presenta infraestructura asociada	<b>Complejo:</b> Udic Haplusterts, fina	No presenta infraestructura asociada		
				(NM-PR)	(NM-PR)b	<b>Complejo:</b> Entic Haplustolls, francosa fina/ esqueletal arenosa	Perfil 15	4637804,32	1942108,72
			Cuerpo y base	(GN-GU)	(GN-GU)a	<b>Complejo:</b> Typic Haplustolls, fina	NP 2	4637086,28	1962641,53

Paisaje	Clima	Tipo de Relieve	Forma del Terreno	Unidad de Suelos Escala 1:100.000	Unidad de suelos Escala 1:25.000	Tipo de unidad cartográfica y Componentes	Perfil realizado por INGETEC	Coordenadas origen único Nacional	
								Este	Norte
				(GN)	GNa	<b>Consociación:</b> Typic Hapustepts, franca fina	NP 9	4638370,80	1960332,61
				(MN-PL)	No presenta infraestructura asociada	<b>Complejo:</b> Entic Haplustolls, francosa fina	No presenta infraestructura asociada		
				AD	ADar	<b>Consociación:</b> Chromic Udic Haplusterts, fina	Perfil 34	4611419,62	1930808,26
Pie de monte	Cálido seco	Vallecitos	Bajo	VJ	VJar	<b>Consociación:</b> Udic Haplusterts, fina	Perfil 17	4665181,06	2041072,93
			Banco	AM	AMa	<b>Consociación:</b> Entic Haplusterts, fina sobre francosa gruesa	Perfil 18	4637909,52	1942301,61
			Vega	PWC	No presenta perfil por orden público.	<b>Complejo:</b> Typic Haplustolls	No se realizó levantamiento de información primaria por orden público		
Planicie	Cálido seco	Plano de desborde	Albardón	(CK-RC)	(CK-RC)a	<b>Complejo:</b> Fluventic Haplustepts, fina	Perfil 35	4614707,68	1931403,54
				CQ	CQa	<b>Consociación:</b> Fluventic Haplustolls, francosa fina	Perfil 11V	4613184,13	1931165,01



Paisaje	Clima	Tipo de Relieve	Forma del Terreno	Unidad de Suelos Escala 1:100.000	Unidad de suelos Escala 1:25.000	Tipo de unidad cartográfica y Componentes	Perfil realizado por INGETEC	Coordenadas origen único Nacional	
								Este	Norte
			Cubeta de decantación	JN	JNar	<b>Consociación:</b> Vertic Endoaquepts, fina	Perfil 21	4612784,39	1931105,69
Valle	Cálido seco	Terraza	Plano de terraza	VP	VPe2	<b>Asociación:</b> Typic Haplustolls, fina	Perfil 31	4680886,26	2093248,39

---

A continuación, se realiza la descripción de las unidades cartográficas de suelos.

#### **5.1.5.1.1. Complejo MQL.**

Estos suelos están identificados en los municipios Cartago, La victoria y Obando; corresponden a espinazos de montaña fluvio gravitacional. El relieve presente corresponde a moderadamente escarpado, con pendientes entre 50 y 75%.

Los suelos se han originado en el clima medio húmedo, a partir de rocas sedimentarias clásticas arenosas (areniscas y conglomerados) sobre limo arcillosas (limolitas). Muy superficiales a moderadamente profundos, texturas finas a moderadamente gruesas, bien a excesivamente drenados, muy fuerte a moderadamente ácidos, fertilidad moderada. La velocidad de infiltración es moderada. Ver anexo D3.4. Fotografía 1

Unidad conformada por los suelos Typic Haplustepts, fina y Typic Udorthents. Presenta la fase:

MQLf3: fase moderadamente escarpada con erosión severa.



Fotografía 1. Perfil Modal 25 (Suelo Typic Haplustepts representativo de la unidad MQL), municipio de Obando, vereda Sierra Mocha.

#### **5.1.5.1.2. Asociación MQK.**

Suelos identificados en los municipios de Cartago y Obando, corresponde a espinazo de montaña fluvio gravitacional; el relieve varía entre moderadamente quebrado a moderadamente escarpado, con pendientes entre 12 y 75%.

Estos suelos se han originado en el clima medio húmedo a partir de rocas sedimentarias clásticas arenosas con areniscas, intercaladas con rocas sedimentarias limoarcillosas (limolitas) y conglomeráticas parcialmente cubiertas por cenizas volcánicas. Son suelos muy superficiales a moderadamente profundos, texturas finas a moderadamente gruesas, bien drenados, muy fuerte a moderadamente ácidos, fertilidad moderada. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 2.

Esta unidad está conformada por los suelos Typic Dystrudepts, fina, y los suelos Typic Eutrudepts. Se presentan las fases:

MQKd2: fase moderadamente quebrada, erosión moderada

MQKf2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada



Fotografía 2. Perfil Modal 24 (suelo Typic Dystrudepts, representativo de la unidad MQK), Municipio de Obando, vereda Salem.

#### **5.1.5.1.3. Asociación MQA.**

Suelos identificados en los municipios Buga, Guacarí y San Pedro, corresponde a tipo de relieve filas y vigas de montaña fluvio gravitacional; el relieve varía entre moderadamente quebrado y moderadamente escarpado con pendientes entre 12 y 50%.

Desarrollados en clima medio húmedo, son derivados de depósitos superficiales clásticos piroclásticos no consolidados (ceniza volcánica) y/o rocas ígneas volcánicas máficas, afaníticas y porfiríticas (diabasa). Son suelos profundos a moderadamente profundos, texturas medias a moderadamente finas, bien drenados, muy fuerte a moderadamente ácidos, fertilidad baja a moderada. La velocidad de infiltración es moderada. Ver anexo D3.4. Fotografía 3

---

Unidad conformada por los suelos Typic Dystrudepts, fina, y los suelos Typic Hapludands. Se presentan las fases:

- MQAd1: fase moderadamente quebrada, erosión ligera.
- MQAd2: fase moderadamente quebrada, erosión moderada
- MQAe1: fase ligeramente escarpada, erosión ligera
- MQAf1: fase moderadamente escarpada, erosión ligera.
- MQAf2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada.



Fotografía 3. Perfil Modal 22 (Suelo Typic Dystrudepts representativo de la unidad MQA), municipio de Guacarí, vereda Alto de la Julia.

#### **5.1.5.1.4. Asociación MQD.**

Suelos identificados en los municipios de Ginebra, Guacarí y Palmira, corresponde a tipo de relieve filas y vigas de montaña fluvio gravitacional; el relieve es moderadamente escarpado con pendientes entre 50 y 75%.

Suelos originados en clima medio húmedo, a partir de rocas ígneas volcánicas máficas afaníticas y porfiríticas (diabasa) y en algunos sectores (basaltos). Son suelos profundos a superficiales, texturas finas y moderadamente finas, bien drenados, muy fuerte a

---

fuertemente ácidos, fertilidad moderada a alta. La velocidad de infiltración es moderada. Ver anexo D3.4.Fotografía 4.

Esta unidad se conforma por los suelos Typic Dystrudepts, fina y Lithic Udorthents. Se presentan las fases:

MQDf1: fases moderadamente escarpadas, erosión ligera



Fotografía 4. Perfil Modal 23 (Suelo Typic Dystrudepts representativo de la unidad MQD), municipio de Ginebra, vereda Patio Bonito.

#### **5.1.5.1.5. Asociación MRA.**

Unidad identificada en los municipios de Buga, San Pedro y Tuluá, corresponde a tipo de relieve filas y vigas de montaña fluvio gravitacional; el relieve varía entre ligeramente escarpado y moderadamente escarpado con pendientes entre 25 y 75%.

Son suelos desarrollados en clima medio seco, derivados de rocas ígneas plutónicas (cuarzodiorita). Suelos muy superficiales a moderadamente profundos, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, bien a excesivamente drenados,



---

fuertemente ácidos, fertilidad baja a alta. La velocidad de infiltración es rápida. Ver anexo D 3.4. Fotografía 5.

Unidad conformada por los suelos Typic Dystrudepts, fina y Vertic Haplustalfs. Se presentan las siguientes fases:

MRAe2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada

MRAf2: fases moderadamente escarpadas, erosión moderada



Fotografía 5. Perfil Modal 27 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MRA), municipio de Tuluá, vereda El Brasil.

#### **5.1.5.1.6. Asociación MRB.**

Esta unidad de suelos se ha identificado en los municipios de Buga y Guacarí, corresponde a tipo de relieve filas y vigas de montaña fluvio gravitacional; el relieve es moderadamente escarpado con pendientes entre 50 y 75%.

Son suelos formados en clima medio seco, derivados de rocas ígneas plutónicas (cuarzodiorita). Suelos muy superficiales a moderadamente profundos, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, bien a excesivamente drenados, fuertemente ácidos, fertilidad baja a alta. La velocidad de infiltración es lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 6.

---

Unidad conformada por los suelos Typic Humudepts, fina, y Lithic Ustorthents. Se presenta la fase:

MRBf3: fase moderadamente escarpada, erosión severa.



Fotografía 6. Perfil Modal 29 (Suelo Typic Humudepts representativo de la unidad MRB), municipio de Guacarí, vereda Alto de la Julia.

#### 5.1.5.1.7. Asociación MRD.

Esta unidad de suelos se ha identificado en los municipios de Ginebra, Palmira y Pradera, corresponde a tipo de relieve filas y vigas de montaña fluvio gravitacional; el relieve es moderadamente escarpado, con pendientes entre 50 y 75%.

Estos suelos se originan en clima medio seco, a partir de rocas ígneas volcánicas máficas afaníticas y porfiríticas (diabasas) y en algunos sectores (areniscas y calizas). Son suelos muy superficiales a muy profundos, texturas moderadamente finas y finas, bien drenados, muy fuerte a ligeramente ácidos, fertilidad baja a muy baja. Limitados por la presencia de afloramientos rocosos. La velocidad de infiltración es moderada. Ver anexo D3.4. Fotografía 7.

Unidad conformada por los suelos Humic Dystrustepts, fina y Afloramientos rocosos. Esta unidad presenta las siguientes fases:

---

MRDf3: fase moderadamente escarpada, erosión severa.



Fotografía 7. Perfil Modal 26 (Suelo Humic Dystrudept representativo de la unidad MRD), municipio de Ginebra, vereda La Selva.

#### **5.1.5.1.8. Asociación RC.**

Esta unidad de suelos se ha identificado en el municipio de Pereira (Risaralda), corresponde a tipo de relieve filas y vigas de montaña fluvio gravitacional; el relieve es fuertemente escarpado, con pendientes superiores al 75%.

Estos suelos se originan en clima medio seco a partir de arcillas de diabasas y lavas andesíticas y en algunos sectores (areniscas y limolitas). Son suelos muy superficiales a muy profundos, texturas moderadamente finas y finas, bien drenados, muy fuerte a ligeramente ácidos, fertilidad baja a muy baja. Limitados por la presencia de horizontes ricos en arcilla en algunos sectores afloramientos rocosos.

Unidad conformada por los suelos Typic Haplustolls y Afloramientos rocosos, no posee infraestructura asociada. Presenta la fase:

---

RCg2: fase fuertemente escarpada, erosión moderada.

#### **5.1.5.1.9. Asociación MWE**

Unidad de suelos identificada en los municipios de La Victoria y Obando, se encuentra sobre suelos de espinazo en paisaje de montaña estructural erosional, el relieve es moderadamente escarpado, con pendientes entre 50 y 75%.

Son suelos formados en clima cálido húmedo, derivados de rocas sedimentarias clásticas arenosas (areniscas) intercaladas con rocas sedimentarias limo-arcillosas (arcillolitas). Suelos muy superficiales a moderadamente profundos, texturas moderadamente finas y finas, bien drenados, ligera a fuertemente ácidos, fertilidad alta. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 8

Esta unidad está conformada por los suelos Typic Humudepts, fina, y Typic Haplustepts. Se identificó la siguiente fase:

MWEf2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada.



Fotografía 8. Perfil Modal 1 (Suelo Typic Humudepts representativo de la unidad MWE), municipio de Obando, vereda Salem.

#### 5.1.5.1.10. Asociación LWA.

Unidad de suelos identificada en los municipios de Cartago, Zarzal, Bugalagrande, La Victoria y Tuluá, sobre crestas y crestones homoclinales de paisaje lomerío estructural erosional; el relieve es entre moderadamente quebrado y moderadamente escarpado, con pendientes entre 12 y 75%.

Suelos desarrollados en clima cálido seco a partir de rocas sedimentarias clásticas limo-arcillosas (arcillolitas) intercaladas con rocas sedimentarias clásticas conglomeráticas. Son suelos superficiales a profundos, texturas medias a moderadamente finas, bien a excesivamente drenados, moderada a ligeramente ácidos, fertilidad alta. Poseen una velocidad de infiltración moderadamente lenta.

Unidad conformada por los suelos Vertic Haplustepts, francosa fina y Vertic Haplustolls. Se han identificado las siguientes fases:

LWAd2: fase moderadamente quebrada, erosión moderada.

LWAe2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.



Fotografía 9. Perfil Modal 3 (Suelo Vertic Haplustepts representativo de la unidad LWA), municipio de Bugalagrande, vereda Raiceros.

#### 5.1.5.1.11. Complejo LWB.

Unidad de suelos identificada en los municipios de Andalucía, Bugalagrande, Cartago, Tuluá y Zarzal, sobre crestas y crestones homoclinales de paisaje lomerío estructural erosional; el relieve es moderadamente escarpado, con pendientes entre 50 y 75%.

Suelos desarrollados en clima cálido seco, a partir de rocas sedimentarias clásticas limo-arcillosas (arcillolitas) intercaladas con rocas sedimentarias clásticas conglomeráticas. En algunos sectores no hay desarrollo de suelos. En el resto los suelos son superficiales, texturas medias a finas, bien a excesivamente drenados, moderadamente ácidos, fertilidad alta. La velocidad de infiltración es moderada. Ver anexo D3.4. Fotografía 10.

Esta unidad está conformada por el suelo Typic Humudepts, fina. Se presenta la siguiente fase:

LWBf3: fases moderadamente escarpadas, erosión severa.



Fotografía 10. Perfil Modal 4 (Suelo Typic Humudepts representativo de la unidad LWB), municipio de Bugalagrande, vereda Raicerros.



---

#### **5.1.5.1.12. Asociación LWC.**

Unidad identificada en los municipios de La Victoria, Buga y Zarzal, sobre vallecitos aluviales de paisaje lomerío fluvio gravitacional; el relieve es plano a ligeramente inclinado, con pendientes entre 0 y 7%.

Estos suelos se han desarrollado en clima cálido seco, a partir de depósitos superficiales clásticos hidrogénicos (aluviones finos). Son suelos profundos a muy profundos, texturas moderadamente finas, bien drenados a moderadamente bien drenados, moderadamente ácidos a neutros, fertilidad alta a muy alta.

Unidad conformada por los suelos Fluventic Hapludolls y Vertic Haplustepts, no posee infraestructura asociada. Las fases identificadas son:

LWCa: fase plana.

#### **5.1.5.1.13. Complejo LWD.**

Esta unidad se presenta en los municipios de Andalucía, Bugalagrande, Tuluá y Zarzal, sobre vallecitos aluviales de paisaje lomerío fluvio gravitacional; el relieve es plano, con pendientes entre 0 y 3%.

Estos suelos se han desarrollado en clima cálido seco, a partir de depósitos superficiales clásticos hidrogénicos (aluviones mixtos). Son suelos muy superficiales a muy profundos, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, imperfecta a moderadamente drenados, neutros a moderadamente ácidos, fertilidad alta. Presenta como limitaciones de uso inundaciones ocasionales. La velocidad de infiltración es lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 11

Suelos conformados por los suelos Entic Haplustolls, francosa gruesa, y Entic Eutrudepts. La fase identificada es:

LWDai: fase plana, inundable.



Fotografía 11. Perfil Modal 2 (Suelo Entic Haplustolls representativo de la unidad LWD), municipio de Bugalagrande, vereda Raiceros.

#### **5.1.5.1.14. Asociación PRA.**

Unidad de suelos identificada en los municipios de Palmira, Ginebra, Guacarí y El Cerrito, sobre lomas y colinas de paisaje piedemonte aluvial; el relieve es entre ligeramente ondulado y fuertemente ondulado, con pendientes entre 3 y 25%.

Suelos desarrollados en clima medio seco, a partir de depósitos superficiales clásticos hidrogénicos (aluviones mixtos) cubiertos parcialmente por depósitos superficiales piroclásticos (ceniza volcánica). Son suelos superficiales a muy profundos, texturas moderadamente finas a gruesas, moderadamente drenados a bien drenados, fuerte a moderadamente ácidos, fertilidad moderada a alta, limitados por presencia de roca. La velocidad de infiltración es rápida.

Unida conformada por los suelos Humic Dystrustepts, franca fina, y Typic Haplustands. Presentan las siguientes fases:

PRAb1: fase ligeramente ondulado, erosión ligera.



Fotografía 12. Perfil Modal NP 12 (Suelo Humic Dystrustepts representativo de la unidad PRA), municipio de Guacarí.

#### **5.1.5.1.15. Complejo ZA.**

Suelos ubicados en los municipios de Pereira y Zarzal. El clima es cálido seco, se presentan en las cimas y las laderas superiores y medias de las lomas y colinas. Las laderas son de longitud media y forma recta, mientras que las cimas son de longitud corta y forma convexa. Los suelos se han desarrollado a partir de arenisca tobáceas, arcillolitas y diatomitas. Son suelos superficiales limitados por material compactado, moderadamente drenado, moderadamente ácidos, fertilidad alta. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 13

Esta unidad está conformada por los suelos Typic Durustalfs, fina. Se ha identificado la siguiente fase:

ZAd2: fase moderadamente quebrada, erosión moderada.



Fotografía 13. Perfil Modal 16 (Suelo Typic Durustalfs representativo de la unidad ZA), municipio de Zarzal, vereda Vallejuelo

#### **5.1.5.1.16. Asociación PWA.**

Unidad de suelos identificada en los municipios de Andalucía, Bugalagrande y Tuluá, sobre terraza de abanico de paisaje piedemonte aluvial; el relieve es entre ligeramente inclinado y moderadamente escarpado, con pendientes entre 7 y 75%.

Suelos desarrollados en clima cálido seco, a partir de depósitos superficiales clásticos hidrogénicos (aluviones mixtos). Son suelos muy superficiales a superficiales, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, bien a moderadamente drenados, moderadamente ácidos a neutros, fertilidad moderada a alta. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Ver Fotografía 14.

Unidad conformada por los suelos Typic Argiudolls, franca fina, y Aquertic Haplustalfs. Se identificaron las siguientes fases:

PWAb: fase ligeramente inclinada.

PWAc1: fase moderadamente inclinada, erosión ligera.

PWaf2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada.



Fotografía 14. Perfil Modal 19 (Suelo Typic Argiudolls representativo de la unidad PWA), municipio de Andalucía, vereda Pardo.

#### **5.1.5.1.17. Complejo PWB.**

Unidad de suelos identificada en los municipios de Andalucía y Tuluá, sobre terraza de abanico de paisaje piedemonte aluvial; el relieve es moderadamente escarpado, con pendientes entre 50 y 75%.

Suelos desarrollados en clima cálido seco, a partir de depósitos superficiales clásticos hidrogénicos (aluviones mixtos). Son suelos muy superficiales a superficiales, texturas moderadamente finas y finas, bien drenados, moderadamente ácidos a neutros, fertilidad moderada. La velocidad de infiltración es moderada. Ver anexo D3.4. Fotografía 15

Esta unidad está conformada por los suelos Typic Argiudolls, fina y los suelos Typic Durustalfs. Se identificó la siguiente fase:

PWBf3: fase moderadamente escarpada, erosión severa.



Fotografía 15. Perfil Modal 20 (Suelo Typic Argiudolls representativo de la unidad PWB), municipio de Andalucía, vereda Pardo.

#### **5.1.5.1.18. Asociación GL-PS.**

Unidad de suelos identificada en el municipio de Palmira, sobre el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes; el relieve es plano, de amplitud larga.

Suelos desarrollados en clima cálido seco, a partir de aluviones finos; imperfectamente drenados y moderadamente drenados, superficiales a muy superficiales limitados por contenido de piedras o pedregones después de los 50 cm de profundidad, neutros a ligeramente alcalinos y de fertilidad baja y alta. La velocidad de infiltración es moderada.

Esta unidad está conformada por los suelos Lithic Humustepts, fina sobre esquelital, y los suelos Udic Calciusterts. Se identificó la siguiente fase:

(GL-PS)a: fase plana.





Fotografía 16. Perfil Modal NP 7 (Suelo Lithic Humustepts representativo de la unidad GL-PS), municipio Palmira.

#### **5.1.5.1.19. Consociación GL.**

Unidad identificada en el municipio de Candelaria. Se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central y al pie de la cordillera occidental. Estos suelos se han desarrollado en clima cálido seco, a partir de aluviones finos, son suelos superficiales, limitados por nivel freático, imperfectamente drenados, neutros, fertilidad muy alta, son suelos artificialmente drenados. La velocidad de infiltración es moderadamente rápida. Ver anexo D3.4. Fotografía 17

Esta unidad cartográfica está integrada por los suelos Udic Calciusterts, fina. Se ha identificado la siguiente fase:

GLar: fase plana, artificialmente drenada.



Fotografía 17. Perfil Modal 7 (Suelo Udic Calcicusterts representativo de la unidad GL), municipio de Candelaria, vereda El Tiple

#### **5.1.5.1.20. Complejo FL-GU.**

Se ha identificado en el municipio de Candelaria, esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central al sur de Palmira. Presentan relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones gruesos; son suelos muy profundos a moderadamente profundos, ligeramente ácidos, limitados por nivel freático, moderadamente drenados, fertilidad moderada y alta. La velocidad de infiltración es moderada. Ver anexo D3.4. Fotografía 18.

Unidad de suelos integrada por los suelos Fluvaquentic Haplustolls, francosa fina, y por el suelo Entic Haplustolls, arenosa. Se identificó la siguiente fase:

(FL-GU)a: fase plana.



Fotografía 18. Perfil Modal 36 (Suelo Fluvaquentic Haplustolls representativo de la unidad FL-GU), municipio de Candelaria, vereda El Cabuyal.

#### **5.1.5.1.21. Consociación LF.**

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central en los alrededores del aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón al oeste de Palmira. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones medianos; son imperfectamente drenados, muy superficiales limitados por saturación de sodio mayor de 15%, moderadamente alcalinos y de fertilidad baja.

Los suelos presentan severas limitaciones para la agricultura y la ganadería debido a la profundidad efectiva muy superficial limitada por la saturación de sodio intercambiable mayor de 15%. La velocidad de infiltración es moderadamente rápida.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Sodic Calcicusterts, fina. Dentro del área de influencia se identificó la siguiente fase:

LFak: fase ligeramente plana sódica.



Fotografía 19. Perfil Modal NP 6 (Suelo Sodic Calcicusterts representativo de la unidad LF), municipio de Candelaria, vereda El Cabuyal.

#### **5.1.5.1.22. Consociación GU.**

Suelos ubicados en los municipios de Candelaria y Pradera. Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga.

Los suelos se han desarrollado en clima cálido seco, en aluviones gruesos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos limitados por el nivel freático, neutros y de fertilidad alta.

La vegetación natural ha sido destruida. La velocidad de infiltración es moderadamente rápida. Ver anexo D3.4. Fotografía 20.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Fluvaquentic Haplustolls, francosa gruesa, y los Aquic Haplustepts. Se ha identificado la fase:

GUa: fase plana.



Fotografía 20. Perfil Modal 9 (Suelo Fluvaquentic Haplustolls representativo de la unidad GU), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.

#### **5.1.5.1.23. Consociación RL.**

Unidad ubicada en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central al oeste de Palmira, alrededores de Candelaria y Pradera. Presenta relieve de forma plana y amplitud muy larga. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Los suelos se han desarrollado en aluviones gruesos; son suelos profundos, bien drenados, neutros, fertilidad alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Fluventic Haplustolls, francosa fina. Se ha identificado la presencia de la siguiente fase:

RLa: fase plana.

#### **5.1.5.1.24. Consociación FL.**

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central en los alrededores de

---

Candelaria. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones medianos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad moderada. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 21

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Typic Haplusterts, fina. Dentro del área de influencia se identificó la siguiente fase:

FLa: fase plana.



Fotografía 21. Perfil Modal 33 (Suelo Typic Haplusterts encontrado en la unidad FL), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja

#### **5.1.5.1.25. Asociación FL-MN.**

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central entre Florida y el río Desbaratado; se han identificado en el municipio de Candelaria. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente ácidos y ligeramente alcalinos y de fertilidad moderada y alta. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 22



---

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Typic Haplustolls, francosa gruesa, y Cumulic Haplustolls. En esta unidad se presenta la siguiente fase:

(FL-MN)a: fase plana.



Fotografía 22. Perfil Modal 12 (Suelo Typic Haplustolls encontrado en la unidad FL-MN), municipio de Candelaria, vereda Buchitolo.

#### **5.1.5.1.26. Consociación JR**

Se localiza en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central al sur de Candelaria y Pradera. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son moderadamente drenados limitados por el nivel freático, moderadamente profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad muy alta. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 23

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Typic Haplustolls, francosa fina. Dentro del área se presenta la fase:

JRa: fase plana.



Fotografía 23. Perfil Modal 11 (Suelo Typic Haplustolls encontrado en la unidad JR), municipio de Candelaria, vereda La Regina.

#### **5.1.5.1.27. Consociación MN.**

Suelos identificados en los municipios de Candelaria y Pradera. Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera occidental y al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente alcalinos y de fertilidad alta.

Los suelos presentan ligeras limitaciones para la agricultura y la ganadería debido a la baja precipitación pluvial y, en algunos sectores, a la afectación por sales y sodio en grado ligero. La velocidad de infiltración es rápida. Ver anexo D3.4. Fotografía 24

La unidad cartográfica está integrada por el suelo Cumulic Haplustolls, francosa fina, Isohipertérmico. Dentro del área de influencia se presenta la fase:

MNa: fase plana.



Fotografía 24. Perfil Modal 13V (Suelo Cumulic Haplustolls, encontrado en la unidad MN), municipio de Candelaria, vereda El Tiple.

#### **5.1.5.1.28. Consociación PM.**

Se identificó en el municipio de Candelaria. Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, profundos, neutros y de fertilidad muy alta. La velocidad de infiltración es lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 25

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Vertic Haplustolls, francosa fina, e inclusiones de los suelos Vertic Haplustolls, arcillosa sobre francosa. En esta unidad se presenta la siguiente fase:

PMa: fase plana.



Fotografía 25. Perfil Modal 8 (Suelo Vertic Haplustolls representativo de la unidad PM), municipio de Candelaria, vereda San Joaquín.

#### **5.1.5.1.29. Consociación PL.**

Unidad de suelos identificada en los municipios de Candelaria y Pradera. Se localiza en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera occidental y al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, muy profundos, neutros y de fertilidad alta.

Los suelos presentan ligeras limitaciones para la agricultura y la ganadería debido a la baja precipitación pluvial y, en algunos sectores, a la afectación por sales y sodio en grado ligero. La velocidad de infiltración es moderadamente rápida. Ver anexo D3.4. Fotografía 26.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Pachic Haplustolls, francosa fina, y por el suelo Cumulic Haplustolls, francosa fina. Esta unidad presenta la siguiente fase:

PLa: fase plana.

---

PLax: fase plana, ligeramente sódica.



Fotografía 26. Perfil Modal 10 (Suelo Pachic Haplustolls representativo de la unidad PL), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.

#### **5.1.5.1.30. Consociación AR.**

Unidad identificada en los municipios de El Cerrito y Palmira. Se localiza en el clima cálido seco, en el ápice de los abanicos aluviales subcrecientes formados al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud muy larga tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal. Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son bien drenados, profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad muy alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, francosa fina, y Vertic Haplustalfs. La velocidad de infiltración es muy rápida. Dentro del área se presenta la siguiente fase:

ARb: fase ligeramente inclinada.

---

#### 5.1.5.1.31. Complejo (AR-NM).

Estos suelos se localizan en el clima cálido seco, en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, los ríos Zabaletas y Cerrito, municipios El Cerrito y Ginebra. En general, presentan relieves de forma convexa y amplitud larga tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal.

Los suelos se han desarrollado en aluviones finos y coluviones heterométricos; son bien drenados, profundos y superficiales limitados por fragmentos de roca, ligeramente ácidos y neutros y de fertilidad muy alta y alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Vertic Haplustalfs, fina, y Entic Haplustolls, esta unidad se encuentra sin caracterizar ya que presenta problemas de ingreso por orden público. En esta unidad se presenta la siguiente fase:

(AR-NM)b: fase ligeramente inclinada.

#### 5.1.5.1.32. Complejo CE-NM.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central entre las poblaciones de Palmira, Ginebra y El Cerrito. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud larga a muy larga en sentido transversal. Longitudinalmente son cortos los del pie de la cordillera occidental y muy largos los del pie de la cordillera central. Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos; son bien drenados, muy superficiales y superficiales limitados por fragmentos de roca, moderadamente ácidos y neutros y de fertilidad alta. La velocidad de infiltración es rápida. Algunos presentan pedregosidad superficial.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, francosa fina y por el suelo Entic Haplustolls, francosa fina sobre esquelal arenosa. En esta unidad se presenta la siguiente fase:

(CE-NM)bp: fase ligeramente inclinada, pedregosa.



### 5.1.5.1.33. Consociación NM.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central entre las poblaciones de San Pedro, Palmira, Pradera y Ginebra. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud larga a muy larga en sentido transversal. Longitudinalmente son muy largos.

Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos; son bien drenados, superficiales limitados por fragmentos de roca, neutros y de fertilidad alta. Algunos están afectados por sodio en grado ligero o presentan pedregosidad superficial. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 27

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, francosa fina. En esta unidad se presenta la siguiente fase:

NMb: fase ligeramente inclinada.



Fotografía 27. Perfil Modal 15V (Entic Haplustolls identificado en la unidad cartográfica NM), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

---

#### 5.1.5.1.34. Consociación ES.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central entre las poblaciones de Ginebra y Pradera. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud larga en sentido transversal. Longitudinalmente son muy largos. Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos limitados por fragmentos de roca, ligeramente ácidos y de fertilidad muy alta. La velocidad de infiltración es moderadamente rápida. Ver anexo D3.4. Fotografía 28

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Vertic Haplustepts, arcillosa sobre fragmental, y Udic Calcicusterts, fina. En el área se presenta la siguiente fase:

ESa: fase plana.



Fotografía 28. Perfil Modal 14 (Suelo Vertic Haplustepts encontrado en la unidad ES), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

#### 5.1.5.1.35. Complejo ES-PR.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, entre Buga, Pradera y Pradera. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos y aluviones mixtos; son moderadamente drenados y bien drenados, moderadamente profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad muy alta y alta. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 29

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Udic Haplusterts, fina. En esta unidad se presenta la siguiente fase:

(ES-PR)b: fase ligeramente inclinada.



Fotografía 29. Perfil Modal 14V (Suelo Udic Haplusterts encontrado en la unidad ES-PR), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

---

#### 5.1.5.1.36. Complejo ES-SO.

Estos suelos se localizan en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, al sur este del Cerrito. En general, presentan relieves de forma cóncava y amplitud muy larga tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal.

Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos limitados por fragmentos de roca, ligeramente ácidos y moderadamente ácidos y de fertilidad muy alta a alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Udic Haplusterts, fina y Typic Haplusterts, esta unidad no presenta Infraestructura asociada. En esta unidad se presentan la siguiente fase:

(ES-SO)a: fase ligeramente plana.

#### 5.1.5.1.37. Complejo NM-PR.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el cuerpo y base de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, entre Buga, Pradera y Palmira. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos y aluviones mixtos; son bien drenados, superficiales y moderadamente profundos limitados por fragmentos de roca de 35 a 60% por volumen, neutros y ligeramente ácidos y de fertilidad alta. La velocidad de infiltración es moderadamente rápida. Ver anexo D3.4. Fotografía 30

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, francosa fina sobre esquelética arenosa. Dentro del área de influencia abiótica se presenta la siguiente fase:

(NM-PR)a: fase ligeramente plana.

(NM-PR)b: fase ligeramente inclinada.



Fotografía 30. Perfil Modal 15 (Suelo Entic Haplustolls representativo de la unidad NM-PR), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

#### **5.1.5.1.38. Complejo GN-GU**

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, al sur de Buga y del Cerrito. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga.

Los suelos se han desarrollado en aluviones gruesos y coluviones heterométricos; son excesivamente y moderadamente drenados, superficiales limitados por fragmentos de roca de 35 a 60% por volumen y moderadamente profundos, neutros y de fertilidad moderada y alta. La velocidad de infiltración es moderadamente rápida. Presentan limitaciones muy severas para la agricultura y la ganadería debido al drenaje natural excesivo.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Typic Haplustolls, fina, y Entic Haplustolls. En esta unidad se presenta la fase:

(GN-GU)a: fase ligeramente plana.



Fotografía 32. Perfil Modal NP 2 (Suelo Typic Haplustolls representativo de la unidad GN-GU), municipio El cerrito.

#### **5.1.5.1.39. Consociación GN.**

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales subrecientes formados al pie de la cordillera occidental, entre la ciudad de Santiago de Cali y el corregimiento de Robles en límites con el departamento del Cauca. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Ver Fotografía 59

Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos, limitados por el nivel freático, muy fuertemente ácidos, de fertilidad moderada y se encuentran artificialmente drenados. La velocidad de infiltración es moderadamente rápida.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Typic Haplustepts, franca fina. En esta unidad se presenta la fase:

GNa: fase ligeramente plana, artificialmente drenada.





Fotografía 31. Perfil Modal NP 9 (Suelo Typic Haplustepts representativo de la unidad GN), Municipio El Cerrito.

#### **5.1.5.1.40. Complejo MN-PL.**

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central entre Buga, Pradera y Candelaria. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente alcalinos y neutros y de fertilidad alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Cumulic Haplustolls, francosa fina, y Pachic Haplustolls, francosa fina, esta unidad no presenta Infraestructura asociada.

En esta unidad se presenta la fase:

(MN-PL)a: fase ligeramente plana.

---

#### 5.1.5.1.41. Consociación AD.

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales subrecientes formados al pie de la cordillera occidental, entre la ciudad de Santiago de Cali y el corregimiento de Robles en límites con el departamento del Cauca. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Ver Fotografía 32

Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos, limitados por el nivel freático, muy fuertemente ácidos, de fertilidad moderada y se encuentran artificialmente drenados.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Chromic Udic Haplusterts, fina. En esta unidad se presenta la fase:

ADar: fase ligeramente plana, artificialmente drenada.



Fotografía 32. Perfil Modal 34 (Suelo Chromic Udic Haplusterts representativo de la unidad AD), municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

#### 5.1.5.1.42. Consociación VJ.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en los bajos de los vallecitos de algunos afluentes del río Cauca, específicamente en el municipio de Zarzal. En general, presenta un relieve de forma ligeramente plana y amplitud media a larga en sentido transversal y muy larga en sentido longitudinal. Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son imperfectamente drenados, superficiales limitados por el nivel freático, fuertemente ácidos, de fertilidad alta y se encuentran artificialmente drenados. La velocidad de infiltración es moderada. Ver anexo D3.4. Fotografía 33

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Udic Haplusterts, fina, y los suelos Chromic Udic Haplusterts, fina. En esta unidad se ha identificado la fase:

VJar: Plana, drenada artificialmente.



Fotografía 33. Perfil Modal 17 (Suelo Udic Haplusterts representativo de la unidad VJ), municipio de Zarzal, vereda Vallejuelo.

#### 5.1.5.1.43. Consociación AM.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en los bancos de los vallecitos de los afluentes del río Cauca, en los municipios de Candelaria, El Cerrito, Palmira, Pradera y Zarzal. En general, presenta un relieve de forma convexa y amplitud larga a muy larga en sentido transversal. Longitudinalmente recorre varios kilómetros desde el pie de las cordilleras hasta su desembocadura en el río Cauca. Los suelos se han desarrollado en depósitos superficiales de aluviones gruesos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad moderada. Algunos están sometidos a inundaciones frecuentes (una a dos por año). La velocidad de infiltración es moderadamente rápida. Ver anexo D3.4. Fotografía 34

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplusterts, fina sobre francosa gruesa, y por el suelo Fluventic Haplustolls, francosa fina. En esta unidad se presenta la siguiente fase:

AMa: fase plana.



Fotografía 34. Perfil Modal 18 (Suelo Entic Haplusterts representativo de la unidad AM), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

---

#### **5.1.5.1.44. Complejo PWC.**

Unidad de suelos identificada en el municipio de Buga, en clima cálido seco, sobre vallecitos coluvio-aluviales de paisaje piedemonte aluvial; el relieve es ligeramente inclinado, con pendientes entre 3 y 7%.

Suelos derivados de depósitos superficiales clásticos hidrogénicos (aluviones finos y medios). Son suelos superficiales a moderadamente profundos, bien drenados, ligera a fuertemente ácidos, fertilidad moderada a alta.

Esta unidad está conformada por los suelos Typic Haplustolls y Udic Argiustolls, en esta unidad se presentaron problemas de ingreso por orden público. En esta unidad se identificó la fase:

PWCbp: fase ligeramente inclinada, pedregosa.

#### **5.1.5.1.45. Complejo (CK-RC).**

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en los albardones del río Cauca entre Juanchito y Navarro, y el municipio de Candelaria. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud media. Los suelos se han desarrollado en aluviones medianos; son bien drenados y moderadamente drenados, profundos y moderadamente profundos limitados por el nivel freático, neutros y de fertilidad muy alta. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 35

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Fluventic Haplustepts, familia fina y Fluvaquentic Haplustolls, francosa fina. En esta unidad se ha identificado la siguiente fase:

(CK-RC)a: fase plana.



Fotografía 35. Perfil Modal 35 (Suelo Fluventic Haplustepts representativo de la unidad CK-RC), municipio de Candelaria, vereda San Joaquín.

#### **5.1.5.1.46. Consociación CQ.**

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el albardón del río Cauca a lo largo del valle geográfico, específicamente en el municipio de Cali. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud media. Los suelos se han desarrollado en aluviones medianos; son bien drenados, profundos, neutros y de fertilidad alta. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Fluventic Haplustolls, francosa fina y Fluventic Haplustepts, francosa sobre arenosa. Dentro del área de influencia se presenta la siguiente fase:

CQa: fase plana.



---

#### 5.1.5.1.47. Consociación JN.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en la cubeta de desborde del río Cauca en ambas márgenes del río y en un sector de Ansermanuevo entre el río Cauca y el río Cañaveral y los municipios de Cali y Candelaria. En general, presenta relieves de forma cóncava y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son pobremente drenados, muy superficiales limitados por el nivel freático, moderadamente ácidos, de fertilidad alta y se encuentran artificialmente drenados. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 36

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Vertic Endoaquepts, fina, e inclusiones de los suelos Fluvaquentic Endoaquepts, fina. En el área se ha identificado la presencia de la fase:

JNar: fase plana, drenada artificialmente.



Fotografía 36. Perfil Modal 21 (Suelo Vertic Endoaquepts representativo de la unidad JN), municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

---

#### 5.1.5.1.48. Asociación VP.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el plano de las terrazas del Valle del río Cauca en un sector del municipio de Pereira del departamento de Risaralda. En general, presenta relieves ligeramente escarpados, de lomos amplios y planos y laderas de pendientes fuertes, con erosión moderada por escurrimiento difuso y concentrado. Los suelos se han desarrollado en aluviones arcillosos sobre conglomerados alterados; son bien drenados, muy superficiales limitados por horizontes ricos en arcilla iluvial, moderadamente ácidos, de fertilidad media. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 37

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Typic Haplustolls, fina y Vertic Argiustolls. En esta unidad se ha identificado la presencia de la fase:

VPe2: fase ligeramente escarpada, erosión moderada.



Fotografía 37. Perfil Modal 31 (Suelo Typic Haplustolls representativo de la unidad VP), municipio de Pereira, vereda Azufral.

---

### 5.1.5.2. Suelos a nivel semidetallado

Corresponde a la integración de la información cartográfica y documental de los estudios: Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca, IGAC 2004, Estudio general de suelos y zonificación de tierras de Risaralda, IGAC 2004 y Levantamiento Semidetallado de Suelos Escala 1:25.000 de las cuencas priorizadas por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca- CVC, 2014.

La descripción de las unidades cartográficas se realiza en forma descendente, siguiendo la estructura de la leyenda adjunta presentada en el Anexo D3.3 Leyenda de Suelos 25k.

La integración de dicha información permite la identificación y descripción de 103 unidades de suelos en el área de influencia abiótica, a partir de las cuales se realizó el análisis del uso potencial y los conflictos de uso del suelo desde el punto de vista productivo y con respecto a los instrumentos de ordenamiento territorial.

#### 5.1.5.2.1. Consociación MQSS-A.

La Consociación MQSS-A se ubica en Obando en clima templado húmedo, la temperatura media anual varía de 18 a 24°C y la precipitación promedio de 1000 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en los espinazos en el paisaje de montaña estructural denudacional, en las formas del terreno de frente. Los suelos se han desarrollado a partir de ceniza volcánica sobre rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas, moderadamente y ligeramente ácidos y fertilidad moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludands, medial, isotérmica, en 80% (CVC-221). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludands, medial, isotérmica, fueron las propiedades ándicas y el régimen de humedad údico.

La Consociación MQSS-A presenta las siguientes fases:

MQSS-Ae: ligeramente escarpada (25-50%)

MQSS-Aem: ligeramente escarpada (25-50%), movimientos en masa

---

#### 5.1.5.2.2. Consociación MQSS-B.

La Consociación MQSS-B se ubica en inmediaciones de los municipios de Cartago, La Victoria y Obando en clima templado húmedo con temperatura media anual de 20°C y precipitación de 1500 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en los espinazos en el paisaje de montaña estructural - denudacional, en las formas del terreno de frente. Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias tipo limolitas, arcillolitas, areniscas y conglomerados; son profundos, bien drenados, de texturas franco arcillosas, arcillosas y arcillo limosas, muy fuertemente y fuertemente ácidos y fertilidad baja.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Humudepts, fina, subactiva, isotérmica, en una proporción de 80% (CVC-032). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Humudepts, fina, subactiva, isotérmica, fueron la presencia de epipedón úmbrico y el régimen de humedad údico.

La Consociación (MQSS-B) presenta las siguientes fases:

MQSS-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

MQSS-Be2: ligeramente escarpada (25-50%), erosión moderada

MQSS-Bf: moderadamente escarpadas, (50-75%)

MQSS-Bf2: moderadamente escarpadas, (50-75%), erosión moderada

MQSS-Bg2: fuertemente escarpada (>75%), erosión moderada

#### 5.1.5.2.3. Consociación MQSR-D.

La Consociación MQSR-D se ubica en el municipio de Obando en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C, la precipitación promedio anual oscila entre 1000 y 2000 mm. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos en el paisaje de montaña, en las formas del terreno de revés. Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de depósitos de ceniza volcánica sobre rocas sedimentarias tipo limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas; son profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, muy fuertemente y fuertemente ácidos y fertilidad moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludands, medial, isotérmica, en 80% (CVC-329). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar

---

los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludands, medial, isotérmica, fueron las propiedades ándicas y régimen de humedad údico.

La Consociación MQSR-D presenta la fase:

MQSR-Df: moderadamente escarpada (50-75%)

#### **5.1.5.2.4. Consociación MQSR-F**

Se ubica en inmediaciones de los municipios de Cartago, La victoria y Obando en clima templado húmedo con temperatura media anual de 20°C y precipitación promedio de 1500 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en los espinazos en el paisaje de montaña estructural - denudacional, en las formas del terreno de revés. Los suelos se han formado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas y conglomerados); son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas y finas, muy fuertemente ácidos y con fertilidad baja.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Dystrudepts, fina, semiactiva, isotérmica, en 75% (CVC-024. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Dystrudepts, fina, semiactiva, isotérmica, fueron el régimen de humedad údico y saturación de bases menor del 60%. Ver Fotografía 38, Fotografía 39 y Fotografía 40.

La Consociación MQSR-F presenta las siguientes fases:

MQSR-Fd: fuertemente inclinada (12-25%)

MQSR-Fd2: fuertemente inclinada (12-25%), erosión moderada

MQSR-Fe: ligeramente escarpada (25-50%)

MQSR-Fe2: ligeramente escarpada (25-50%), erosión moderada

MQSR-Ff: moderadamente escarpada (50-75%)

MQSR-Ff2: moderadamente escarpada (50-75%), erosión moderada

MQSR-Ffp: moderadamente escarpada (50-75%), pedregosa



Fotografía 38. Perfil Modal 1 (Suelo Typic Humudepts, fina encontrado en la unidad MQSR-F), municipio de Obando, vereda Salem.



Fotografía 39. Perfil Modal 25 (Suelo Typic Haplustepts, fina, encontrado en la unidad MQSR-F), municipio de Obando, vereda Sierra Mocha





Fotografía 40. Perfil Modal 24 (Typic Dystrudepts, fina, encontrado en la unidad MQSR-F), municipio de Obando, vereda Salem.

#### **5.1.5.2.5. Consociación MQSE-I.**

La Consociación MQSE-I se ubica en Cartago y Obando en clima templado húmedo con temperatura media anual entre 18 y 24°C y precipitación menor de 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos dentro del paisaje de montaña, en las formas del terreno de escarpe.

Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados; de texturas franco arcillosas, arcillo limosas y franco limosas; ligeramente ácidos; fertilidad natural moderada. La Consociación está integrada por los suelos Typic Eutrudepts, fina, mezclada, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Eutrudepts, fina, mezclada, súperactiva, isotérmica, fueron el régimen de humedad údico, alta saturación de bases (mayor de 60%).

La Consociación MQSE-I presenta la fase:

---

MQSE-Ig: fuertemente escarpada (>75%)

#### **5.1.5.2.6. Consociación MQSP-H.**

La Consociación MQSP-H se ubica en los municipios de Cartago y La Victoria en clima templado húmedo con temperatura media anual entre 18 y 24°C y precipitación promedio anual de 1000 a 2000 mm.

Geomorfológicamente hace parte de los espinazos en el paisaje de montaña, en las formas del terreno de resalto. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias tipo limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas; son profundos bien drenados, texturas moderadamente finas sobre finas, moderadamente y ligeramente ácidos y fertilidad natural moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, franca fina sobre arcillosa, mezclada, activa, isotérmica, en 80% (CVC-325). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, franca fina sobre arcillosa, mezclada, activa, isotérmica; fueron la presencia de epipedón mólico, saturación de bases alta y régimen de humedad údico.

La Consociación MQSP-H presenta la fase:

MQSP-Hd: fuertemente inclinada (12-25%)

#### **5.1.5.2.7. Consociación MQFL-D.**

La Consociación MQFL-D, se ubica en los municipios de Guacarí y Guadalajara de Buga en clima templado húmedo con temperatura media anual de 22°C y precipitación anual de entre 1000 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en las filas y vigas en el paisaje de montaña estructural denudacional, en las formas de terreno de cimas y laderas. Los suelos se han desarrollado a partir de ceniza volcánica sobre rocas ígneas máficas (basaltos, diabasas); son profundos, bien drenados, fuertemente ácidos y de fertilidad moderada.



La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludands, medial isotérmica, en 75% (CVC-084 y CVC-121). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludands, medial, isotérmica,

fueron el epipedón úmbrico, el régimen de humedad údico y las propiedades ándicas. Ver Fotografía 41 y Fotografía 42

La Consociación MQFL-D presenta las siguientes fases:

MQFL-De: ligeramente escarpada (25-50%)

MQFL-Dep: ligeramente escarpada (25-50%), pedregosa

	
<p>Fotografía 41. Perfil Modal 22 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MQFL-D), municipio de Guacarí, vereda Alto de la Julia</p>	<p>Fotografía 42. Perfil Modal 29 (Suelo Typic Humudepts, fina, encontrado en la unidad MQFL-D), municipio de Guacarí, vereda Alto de la Julia.</p>

#### 5.1.5.2.8. Consociación MQFL-E.

La Consociación MQFL-E se localiza en los municipios de Palmira, Ginebra, Guacarí, Guadalajara de Buga y San Pedro en el clima templado húmedo con temperatura media anual entre 18 y 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales.

---

La unidad geomorfológicamente se ubica en las filas y vigas del paisaje de montaña estructural - denudacional, en las formas del terreno de cimas y laderas. Los suelos de esta Consociación se han desarrollado a partir de rocas ígneas máficas (basaltos, diabasas); son profundos, bien drenados, de texturas finas, fuerte a ligeramente ácidos, con baja saturación de bases (<50%) y de fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Dystrudepts, fina, mezclada, activa, isotérmica, en 75% (CVC-048). Las características diagnósticas tenidas en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Dystrudepts, fina, mezclada, activa, isotérmica, fueron el epipedón ócrico, el régimen de humedad údico y saturación de bases menor al 60%. Ver Fotografía 43 y Fotografía 44.

La Consociación MQFL-E presenta las siguientes fases:



MQFL-Ed: fuertemente inclinada (12-25%)

MQFL-Ee: ligeramente escarpada (25-50%)

MQFL-Ee2: ligeramente escarpada (25-50%), erosión moderada

MQFL-Eep: ligeramente escarpada (25-50%), pedregosa

MQFL-Ef: moderadamente escarpada (50-75%)

	
<p>Fotografía 43. Perfil Modal 23 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MQFL-E), municipio de Ginebra, vereda Patio Bonito.</p>	<p>Fotografía 44. Perfil Modal 26 (Suelo Humic Dystrudept encontrado en la unidad MQFL-E), municipio de Ginebra, vereda La Selva.</p>

#### 5.1.5.2.9. Consociación MQFL-G.

La Consociación MQFL-G se ubica en inmediaciones de los municipios de San Pedro y Tuluá en clima templado húmedo con temperatura de 18 a 24°C y precipitación menor de 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de las filas y vigas dentro del paisaje de montaña, en las formas de laderas. Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de rocas ígneas intrusivas félsicas (granodioritas, cuarzodioritas; tonalitas); son profundos, bien drenados; de texturas moderadamente finas; fuertemente y ligeramente ácidos y fertilidad natural moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Eutrudepts, franca fina, mezclada, activa isotérmica, en 75% (CVC-381). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Eutrudepts, franca fina,

---

mezclada, activa isotérmica, fueron el régimen de humedad údico, régimen de temperatura isotérmico y saturación de bases >60%. Ver Fotografía 45

La Consociación MQFL-G presenta las siguientes fases:

MQFL-Ge: ligeramente escarpada (25-50%)

MQFL-Gf: moderadamente escarpada (50-75%)

MQFL-Gf2: moderadamente escarpada (50-75%), erosión moderada

MQFL-Gg: fuertemente escarpada, (>75%)



Fotografía 45. Perfil Modal 27 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MQFL-E), municipio de Tuluá, vereda El Brasil.

#### **5.1.5.2.10. Consociación MQLL-B.**

La Consociación MQLL-B se ubica en Guadalajara de Buga en clima templado húmedo con temperatura anual entre 18 y 24°C y precipitación menor de 2000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en las lomas del paisaje de montaña estructural - denudacional, en las formas del terreno de cimas y laderas.

Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de ceniza volcánica recubriendo a rocas ígneas máficas (diabasas, gabros); son profundos, bien drenados, de texturas medias; fuertemente ácidos a neutros y de fertilidad moderada.



---

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludands, medial, isotérmica, en 80% (CVC-091). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludands, medial, isotérmica, fueron las propiedades ándicas, el régimen de humedad údico y el régimen de temperatura isotérmico.

La Consociación MQLL-B presenta la fase:

MQLL-Bd: fuertemente inclinada (12-25%)

#### **5.1.5.2.11. Consociación MQLL-D.**

La Consociación MQLL-D se ubica en Palmira, Guadalajara de Buga y San Pedro en clima templado húmedo con temperatura media anual entre 18 y 24°C y precipitación menor de 2000 mm anuales.

Geomorfológicamente se ubica en las lomas del paisaje de montaña estructural -denudacional, en las formas del terreno de cimas y laderas. Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de rocas ígneas máficas (basaltos, diabasas); son profundos, bien drenados, de texturas finas y franco finas; son extremadamente y fuertemente ácidos y de fertilidad muy baja.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Humudepts, fina, caolinítica, isotérmica, en 75% (CVC-045; CVC-001). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Humudepts, fina, caolinítica, isotérmica, fueron el régimen de humedad údico, la presencia de epipedón úmbrico y endopedón cámbico.

La Consociación MQLL-D presenta las siguientes fases:

MQLL-Dd: fuertemente inclinada (12-25%)

#### **5.1.5.2.12. Consociación MQLL-H**

La Consociación MQLL-H se ubica en Obando en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación anual de 1000 a 2000 mm. Geomorfológicamente se ubica en las lomas del paisaje de montaña, en la forma del terreno de ladera. Los suelos de la Consociación se han desarrollado a partir de rocas

---

sedimentarias compuestas por areniscas con intercalaciones de arcillas; son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas y finas, neutros y ligeramente ácidos, y fertilidad alta. La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, franca fina sobre arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica (CVC-342) en 80%. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, franca fina sobre arcillosa, mezclada, superactiva, isotérmica, fueron la presencia de epipedón mólico, endopedón cámbico, régimen de humedad údico y alta saturación de bases.

La Consociación MQLL-H presenta las siguientes fases:

MQLL-Hd: fuertemente inclinada (12-25%)

MQLL-Hd2: fuertemente inclinada (12-25%); erosión moderada

#### **5.1.5.2.13. Consociación MQQP-D.**

La Consociación MQQP-D se ubica en Ginebra y Guacarí en clima templado, húmedo, con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los abanicos terraza dentro del paisaje de montaña deposicional, en la forma del terreno de plano de abanico,

Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de depósitos heterométricos de origen aluvio torrencial; son superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente finas y finas, ligeramente ácidos y neutros y de fertilidad alta. La Consociación está integrada por el suelo Typic Hapludolls, arcillosa sobre esquelética-franca, mezclada, superactiva, isotérmica, en 80% (CVC-406).

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, arcillosa sobre esquelética- franca, mezclada, superactiva, isotérmica, fueron epipedón mólico, régimen de humedad údico, fragmentos de roca en los horizontes y régimen de temperatura isotérmico.

La Consociación MQQP-D presenta la fase:

MQQP-Dc: moderadamente inclinada (7-12%).

---

#### 5.1.5.2.14. Complejo MQVV-F.

El complejo MQVV-F se ubica en los municipios de Tulua, Palmira y Guadalajara de Buga en clima templado húmedo con temperatura de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. Esta unidad ocupa la posición geomorfológica de vegas en los valles estrechos en el paisaje de montaña deposicional, cuyas pendientes varían de ligeramente planas a ligeramente inclinadas (1-7%). Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de depósitos aluvio – coluviales mixtos; son muy superficiales, limitados por fragmentos de roca entre 20 y 80%; son bien drenados; extremada y fuertemente ácidos y fertilidad natural baja.

Este complejo está conformado por los suelos Typic Udifluvents, esquelética- arenosa, mezclada, isotérmica, en 25% (CVC-089), Fluventic Eutrudepts, arcillosa sobre fragmental, caolinítica, isotérmica, en 25% (CVC-062), Fluventic Eutrudepts, fina, mezclada, superactiva, isotérmica, en 25% (CVC-049) y Fluventic Hapludolls, esquelética-franca, caolinítica, isotérmica, en 25% (CVC-055). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Udifluvents, esquelética- arenosa, mezclada, isotérmica, fueron la ausencia de endopedón, distribución irregular del carbono orgánico a través del perfil y los fragmentos de roca entre 20 y 60% en los 85cm desde la superficie y aumentan en más del 90% a profundidad.

La Consociación MQVV-F presenta la fase:

MQVV-Fb: ligeramente inclinada (3-7%)

#### 5.1.5.2.15. Complejo MQZV-B.

El complejo MQZV-B se encuentra en los municipios de Ginebra, Guacarí y Palmira en clima templado húmedo con temperatura entre 18 y 24°C con precipitación de 1000 a 2000 mm anuales. El complejo MQZV-B se ubica en las vegas de los vallecitos del paisaje de montaña deposicional, con pendientes que varían de ligeramente planas a ligeramente inclinadas (1-7%). Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de depósitos aluvio – coluviales heterométricos, son profundos y superficiales, limitados por fragmentos de roca mayor a 60%; bien drenados; moderadamente finos en su mayoría y algunos moderadamente gruesos; con reacción entre ligeramente y moderadamente alcalina y los demás suelos son moderadamente y ligeramente ácidos y la fertilidad natural moderada a baja.

---

Conforman este complejo los suelos Typic Udorthents, fragmental, isotérmica (CVC-144), en 45%, Fluventic Dystrudepts, esquelética-franca, mezclada, activa, isotérmica, en 35% (CVC-109) y Typic Hapludolls, franca fina, mezclada, superactiva, isotérmica, en 20% (CVC-104). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Udorthents, fragmental, isotérmica, fueron la ausencia de endopedón, régimen de humedad údico; 50% de fragmentos de roca entre 18 y 42cm y mayor al 95% a una profundidad superior a 42 cm.

El Complejo MQZV-B presenta las fases:

MQZV-Ba: ligeramente plana (0-3%)

MQZV-Bb: ligeramente inclinada (3-7%)

#### **5.1.5.2.16. Consociación MQZV-C.**

La Consociación MQZV-C se ubica en los municipios de Guadalajara de Buga, Ginebra y Palmira en clima templado, húmedo, con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los vallecitos dentro del paisaje de montaña deposicional, en la forma del terreno de vega, cuyas pendientes son ligeramente plana y ligeramente inclinadas (1-7%). Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de depósitos aluvio - coluviales heterométricos son muy superficiales, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, neutros y de fertilidad alta.

La Consociación está integrada por el suelo Typic Udorthents, esquelética-franca sobre fragmental, mezclada, superactiva, isotérmica, en 75% (CVC-402). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Udorthents, esquelética-franca sobre fragmental, mezclada, superactiva, isotérmica, fueron epipedón ócrico, ausencia de endopedón, régimen de humedad údico, fragmentos de roca en los horizontes y régimen de temperatura isotérmico.

La Consociación MQZV-C presenta las siguientes fases:

MQZV-Ca: ligeramente plana (1-3%)

MQZV-Cb: ligeramente inclinada (3-7%)

#### 5.1.5.2.17. Asociación MRD.

Esta unidad de suelos se ha identificado en los municipios de Ginebra, Palmira y Pradera, corresponde a tipo de relieve filas y vigas de montaña fluvio gravitacional; el relieve es moderadamente escarpado, con pendientes entre 50 y 75%.

Estos suelos se originan en clima medio seco, a partir de rocas ígneas volcánicas máficas afaníticas y porfíricas (diabasas) y en algunos sectores (areniscas y calizas). Son suelos muy superficiales a muy profundos, texturas moderadamente finas y finas, bien drenados, muy fuerte a ligeramente ácidos, fertilidad baja a muy baja. Limitados por la presencia de afloramientos rocosos. La velocidad de infiltración es moderada. Ver anexo D3.4. Fotografía 46.

Unidad conformada por los suelos Humic Dystrustepts, fina y Afloramientos rocosos. Esta unidad presenta las siguientes fases:

MRDf3: fase moderadamente escarpada, erosión severa.



Fotografía 46. Perfil Modal 26 (Suelo Humic Dystrustept representativo de la unidad MRD), municipio de Ginebra, vereda La Selva.

---

#### **5.1.5.2.18. Asociación RC.**

Esta unidad de suelos se ha identificado en el municipio de Pereira (Risaralda), corresponde a tipo de relieve filas y vigas de montaña fluvio gravitacional; el relieve es escarpado, con pendientes superiores al 75%.

Estos suelos se originan de arcillas de diabasas y lavas andesíticas y en algunos sectores (areniscas y limolitas). Son suelos muy superficiales a muy profundos, texturas moderadamente finas y finas, bien drenados, muy fuerte a ligeramente ácidos, fertilidad baja a muy baja. Limitados por la presencia de horizontes ricos en arcilla en algunos sectores afloramientos rocosos.

Unidad conformada por los suelos Typic Haplustolls franca fina (40%), Typic Ustorthents franca gruesa (35%) y Ultic Haplustalfs fina (25%). Presenta la fase:

RCg2: fases escarpadas, erosión moderada.

#### **5.1.5.2.19. Consociación MRQP-A.**

La Consociación MRQP-A se ubica en el municipio de Guadalajara de Buga en clima templado seco con temperatura media anual entre 18 y 24°C con precipitación menor de 1000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte del abanico terraza dentro del paisaje de montaña, en las formas del terreno de plano de abanico.

Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos de origen aluvio-torrencial finos; son superficiales limitados por horizontes compactados (argílicos), bien drenados, de texturas franco limosas y arcillosas, moderada a ligeramente ácidos en superficie y fuertemente ácidos en profundidad con fertilidad natural moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Argiustolls, fina, caolinítica, isotérmica, en 80% (CVC-375). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Argiustolls, fina, caolinítica, isotérmica, fueron el endopedón argílico, régimen de humedad ústico, epipedón mólico y alta saturación de bases.

La Consociación MRQP-A presenta la fase:

MRQP-Ab: ligeramente inclinada (3-7%)



---

#### **5.1.5.2.20. Consociación MRQT-B.**

La Consociación MRQT-B se ubica en el municipio de Guadalajara de Buga en clima templado seco con temperatura media de 18 a 24 °C y precipitación promedio anual de 500 a 1000 mm. Geomorfológicamente se ubica en el tipo de relieve de abanico terraza en el paisaje de montaña, en la forma del terreno de talúd. Son muy superficiales, bien drenados, limitados por fragmentos de roca, de texturas medias a moderadamente finas, neutros a moderadamente alcalinos de fertilidad muy alta.

La Consociación está integrada por los Entic Haplustolls, esquelética-franca, mezclada, superactiva, isotérmica, en 90% (CVC-384). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Entic Haplustolls, esquelética-franca, mezclada, superactiva, isotérmica, fueron epipedón mólico, saturación de bases mayor al 50% en todo el perfil y régimen de humedad ústico.

La Consociación MRQT-B presenta la fase:

MRQT-Bd: fuertemente inclinada (12-25%)

#### **5.1.5.2.21. Consociación MRVV-D**

La Consociación MRVV-D se ubica en el municipio de Guadalajara de Buga en clima templado seco, con temperatura media de 18 a 24°C y precipitación promedio anual de 1000 a 2000 mm. Geomorfológicamente hace parte de los vallecitos dentro del paisaje de montaña, en las formas del terreno denominadas vegas, presenta pendientes ligeramente inclinadas (3 a 7%).

Los suelos de la Consociación han evolucionado a partir de depósitos aluvio-coluviales heterométricos; son muy superficiales, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, neutros con fertilidad baja. La Consociación está integrada por los suelos Typic Ustorthents, fragmental, isotérmica, en 75% (CVC-195). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Ustorthents, fragmental, isotérmica, fueron el epipedón ócrico, ausencia de endopedón y régimen de humedad ústico.

La Consociación MRVV-D presenta la siguiente fase:

MRVV-Db: ligeramente inclinada (3-7%)

---

#### **5.1.5.2.22. Consociación MVSS-A.**

La Consociación MVSS-A se ubica en el municipio de Cartago en clima cálido húmedo con temperatura mayor a 24°C y precipitación de 2000 a 4000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos dentro del paisaje de montaña, en las formas del terreno de frente. Los suelos se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas y finas, neutros a muy ligeramente alcalinos, fertilidad moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, franca fina sobre arcillosa, mezclada, activa, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, franca fina sobre arcillosa, mezclada, activa, isohipertérmica, fueron epipedón mólico, saturación de bases mayor a 50% en todo el perfil y régimen de humedad údico.

La Consociación MVSS-A presenta la siguiente fase:

MVSS-Ae: ligeramente escarpada (25-50%)

#### **5.1.5.2.23. Consociación MVSR-B.**

La Consociación MVSR-B se ubica en el municipio de Cartago en clima cálido húmedo con temperatura media anual >24°C y precipitación entre 2000 y 4000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en el tipo de relieve espinazo en el paisaje de montaña, en las formas del terreno revés. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias tipo limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas; son profundos, bien drenados, de texturas finas, ligeramente ácidos y de fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Eutrudepts, fina, mezclada, activa, isohipertérmica, en 80% (CVC-218). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Eutrudepts, fina, mezclada, activa, isohipertérmica fueron: epipedón ócrico, régimen de humedad údico, saturación de bases mayor al 60%.

La Consociación MVSR-B presenta la fase:

MVSR-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

---

#### **5.1.5.2.24. Consociación MVLL-A.**

La Consociación MVLL-A se ubica en el municipio de en clima cálido húmedo con temperatura media anual  $> 24^{\circ}\text{C}$  y precipitación promedio anual de 2000 a 4000 mm. Geomorfológicamente hace parte de las lomas dentro del paisaje de montaña, en las formas del terreno de laderas. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias tipo limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas; son moderadamente profundos limitados por fragmentos de roca, bien drenados, de texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos con fertilidad natural alta.

La consociación está integrada por los suelos Typic Eutrudepts, franca fina sobre esquelética-arenosa, esmectítica, superactiva, isohipertérmica, en 80% (CVC-336). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Eutrudepts, franca fina sobre esquelética- arenosa, esmectítica, superactiva, isohipertérmica, fueron el epipedón ócrico, endopedón cámbico, saturación de bases superior a 50% en todo el perfil, fragmentos de roca entre el 35% y 90% y régimen de humedad údico.

La Consociación MVLL-A presenta la siguiente fase:

MVLL-Ad: fuertemente inclinada (12-25%)

#### **5.1.5.2.25. Consociación MVZV-A.**

La Consociación MVZV-A se ubica en el municipio de Cartago en clima templado húmedo con temperatura media anual  $>24^{\circ}\text{C}$  y precipitación promedio de 2000 a 4000 mm. Geomorfológicamente hace parte de los vallecitos dentro del paisaje de montaña, en las formas del terreno de vegas. Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos aluvio-coluviales moderadamente finos; son profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos a neutros con fertilidad natural alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Eutrudepts, franca fina, activa, isohipertérmica, en 80% (CVC-326). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Eutrudepts, franca fina, activa, isohipertérmica, fueron la presencia de epipedón ócrico, endopedón cámbico, saturación de base superior al 60% y régimen de humedad údico.

La Consociación (MVZV-A) presenta la siguiente fase:

---

---

MVZV-Abi: ligeramente inclinada (3-7%) e inundable.

#### **5.1.5.2.26. Consociación LQTS-A**

La Consociación LQTS-A se ubica en los municipios de Tuluá y Zarzal en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación de 1.000 a 2.000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los crestones dentro del paisaje de lomerío denudacional, en las formas del terreno de frente. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son superficiales limitados por altos contenidos de fragmentos dentro del perfil, texturas finas, ligeramente ácidos a neutros, bien drenados y fertilidad alta. La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, esquelética-arcillosa sobre fragmental, esmectítica, activa, isotérmica.

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, esquelética-arcillosa sobre fragmental, esmectítica, activa, isotérmica; fueron el epipedón mólico, régimen de humedad údico y alta saturación de bases.

La Consociación LQTS-A presenta las siguientes fases:

LQTS-Ad: fuertemente inclinada (12-25%)

LQTS-Ae: ligeramente escarpada (25-50%)

#### **5.1.5.2.27. Consociación LQTR-B**

La Consociación LQTR-B se ubica en los municipios de Tuluá y Zarzal en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en los crestones en el paisaje de lomerío denudacional, en las formas del terreno de revés. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca >60%, bien drenados, de texturas medias a finas, neutros a ligeramente ácidos y de fertilidad alta. La Consociación está integrada por los suelos Typic Eutrudepts, franca fina, mezclada, activa, isotérmica.

---

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Eutrudepts, franca fina, mezclada, activa, isotérmica, fueron el régimen de humedad údico, saturación de bases >50% en al menos un horizonte y texturas medias.

La Consociación LQTR-B presenta las siguientes fases:

LQTR-Bd: fuertemente inclinada (12-25%)

LQTR-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

LQTR-Bf: moderadamente escarpada (50-75%)

#### **5.1.5.2.28. Consociación LQTE-D**

La Consociación LQTE-D se ubica en el municipio de Zarzal en clima templado húmedo con temperatura media anual entre 18 y 24°C con precipitación de 1000 a 2000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en el tipo de relieve crestón dentro del paisaje de lomerío denudacional, en las formas del terreno de escarpe. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son suelos superficiales, limitados por fragmentos de roca, de texturas moderadamente finas en el primer horizonte y moderadamente gruesas en el resto del perfil, ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos con fertilidad moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, esquelética-franca, esmectítica, superactiva, isotérmica,

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, esquelética-franca, esmectítica, superactiva, isotérmica, fueron: epipedón mólico, régimen de humedad údico y alta saturación de bases.

La Consociación LQTE-D presenta las siguientes fases:

LQTE-Df: moderadamente escarpada (50-75%)

LQTE-Df2p: moderadamente escarpada (50-75%), erosión moderada, pedregosa

---

#### 5.1.5.2.29. Consociación LQSS-A.

La Consociación LQSS-A se ubica en los municipios de Guacarí y Tuluá; en clima templado húmedo con temperatura de 18 a 24°C y precipitación menor de 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno de frente). Los suelos de la unidad han evolucionado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca >60%, bien drenados; de texturas finas, ligeramente ácidos a neutros y fertilidad natural moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Humudepts, arcillosa sobre esquelética-franca, esmectítica, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Humudepts, arcillosa sobre esquelética-franca, esmectítica, superactiva, isotérmica, fueron el epipedón úmbrico, régimen de humedad údico y baja saturación de bases.

La Consociación (LQSS-A) presenta las siguientes fases:

LQSS-Ad: fuertemente inclinada (12-25%)

LQSS-Af: moderadamente escarpada (50-75%)

#### 5.1.5.2.30. Consociación LQSR-C

La Consociación LQSR-C se ubica en los municipios de Bugalagrande, Guacarín y Tuluá en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación de 1.000 a 2.000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos dentro del paisaje de lomerío denudacional, en las formas del terreno de revés. Los suelos de la unidad se han formado a partir rocas sedimentarias (arcillolitas, areniscas y conglomerados); son profundos, texturas finas a moderadamente gruesas, ligeramente ácidos en superficie a ligeramente alcalinos en profundidad, bien drenados con fertilidad natural alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, arcillosa sobre esquelética-arenosa, esmectítica, superactiva, isotérmica. Los análisis químicos del perfil modal indican que la reacción del suelo es neutra, la capacidad de intercambio catiónico es alta, el carbono orgánico es medio en los dos primeros horizontes y bajo en el resto del perfil, las bases totales son altas, la saturación de bases es alta y la fertilidad natural es alta.



---

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, arcillosa sobre esquelética-arenosa, esmectítica, superactiva, isotérmica, fueron el epipedón mólico, régimen de humedad údico y alta saturación de bases.

La Consociación LQSR-C presenta las siguientes fases:

LQSR-Cd: fuertemente inclinada (12-25%)

LQSR-Cd2: fuertemente inclinada (12-25%), erosión moderada

LQSR-Ce: ligeramente escarpada (25-50%)

#### **5.1.5.2.31. Consociación LQSE-D**

La Consociación LQSE-D se ubica en el municipio de Tuluá en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 a 2000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en los espinazos en el paisaje de lomerío denudacional, en las formas del terreno de escarpe. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca (>60%), bien drenados, de texturas medias y moderadamente finas, moderadamente ácidos a neutros en profundidad de fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, esquelética-franca sobre fragmental, esmectítica, superactiva, isotérmica, en 90% (CVC-415). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, esquelética-franca sobre fragmental, esmectítica, superactiva, isotérmica, fueron el epipedón mólico, régimen de humedad údico, saturación de bases >50% en todos los horizontes y fragmentos de roca >35% hasta 70 cm sobre saprolita. Los suelos son profundos, bien drenados con reacción muy fuertemente ácida a moderadamente ácida.

La Consociación LQSE-D presenta la siguiente fase:

LQSE-Df: moderadamente escarpada (50-75%).

---

#### 5.1.5.2.32. Consociación LQLL-C.

La Consociación LQLL-C se ubica en los municipios de Bugalagrande, Palmira y Zarzal en el clima templado húmedo, con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. De acuerdo a la geomorfología, hace parte de las lomas dentro del paisaje de lomerío denudacional, en las formas del terreno denominadas laderas. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados, de texturas finas, moderadamente ácidos a neutros de fertilidad natural alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, fina, mezclada, activa, isotérmica, en 75% (CVC-288). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, fina, mezclada, activa, isotérmica, fueron el epipedón mólico, el régimen de humedad údico y la alta saturación de bases en todo el perfil (>50%).

La Consociación LQLL-C presenta las siguientes fases:

LQLL-Cd: fuertemente inclinada (12-25%)  
LQLL-Ce: ligeramente escarpada (25-50%)

#### 5.1.5.2.33. Consociación LQLL-D.

La Consociación LQLL-D se ubica en los municipios de Bugalagrande, Palmira y Zarzal en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. De acuerdo a la geomorfología, hace parte de las lomas dentro del paisaje de lomerío denudacional, en las formas del terreno denominadas laderas. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados, de texturas finas, ligeramente ácidos a neutros, de fertilidad natural muy alta.

La Consociación está integrada por los suelos Inceptic Hapludalfs, fina, mezclada, activa, isotérmica, en 75% (CVC-274). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Inceptic Hapludalfs, fina, mezclada, activa, isotérmica, fueron el endopedón argílico menor a 35 cm de espesor y el régimen de humedad údico.

La Consociación (LQLL-D) presenta las siguientes fases:

---

---

LQLL-Dd: fuertemente inclinada (12-25%)

LQLL-De: ligeramente escarpada (25-50%).

#### **5.1.5.2.34. Consociación LQVV-A.**

La Consociación LQVV-A se ubica en el municipio de Bugalagrande en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación de 1000 a 4000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte del valle estrecho dentro del paisaje de lomerío deposicional, en las formas del terreno de vega cuyas pendientes varían de ligeramente planas a ligeramente inclinadas (1-7%).

Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de depósitos aluvio-coluviales finos; son profundos, texturas finas, neutros a ligeramente alcalinos, bien drenados con fertilidad natural alta. La consociación está integrada por los suelos Typic Eutrudepts, fina, esmectítica, activa, isotérmica.

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Eutrudepts, fina, esmectítica, activa, isotérmica, fueron la alta saturación de bases, endopedón cámbico y régimen de humedad údico.

La Consociación LQVV-A presenta la fase:

LQVV-Ab: ligeramente inclinada (3-7%)

#### **5.1.5.2.35. Consociación LQZV-A.**

La Consociación LQZV-A se ubica en los municipios de Bugalagrande, Tuluá y Zarzal en clima templado húmedo con temperatura media anual de 20°C y precipitación promedio de 1000 a 2000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en los vallecitos en el paisaje de lomerío en las formas del terreno vega, cuyas pendientes son ligeramente planas a ligeramente inclinadas (1-7%).

Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de depósitos aluvio-coluviales moderadamente gruesos; son moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca >90% a 95 cm de profundidad, bien drenados, de texturas franco arcillo arenosas en

---

superficie y franco arenosas en profundidad, moderada a ligeramente ácidos en profundidad de fertilidad moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Eutrudepts, franca gruesa, vermiculítica, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Eutrudepts, franca gruesa, vermiculítica, superactiva, isotérmica, fueron la presencia de epipedón ócrico, régimen de humedad údico y la saturación de bases mayor de 50% en al menos un horizontes.

La Consociación LQZV-A presenta las siguientes fases:

LQZV-Aa: ligeramente plana (1-3%)

LQZV-Ab: ligeramente inclinada (3-7%)

#### **5.1.5.2.36. Consociación LQZV-B**

La Consociación LQZV-B se ubica en el municipio de Tuluá en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 y 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales.

Geomorfológicamente hace parte del vallecito en el paisaje de lomerío, en las formas del terreno de vega cuyas pendientes son ligeramente planas a ligeramente inclinadas (1-7%). Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos aluvio-coluviales moderadamente gruesos; son profundos, bien drenados, de texturas francas y franco arenosas, de reacción ligera a moderadamente alcalina en profundidad de fertilidad moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Udifluvents, franca gruesa, esmectítica, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Udifluvents, franca gruesa, esmectítica, superactiva, isotérmica, fueron el régimen de humedad údico, el decrecimiento irregular de carbono orgánico y las texturas moderadamente gruesas.

La Consociación LQZV-B presenta la siguiente fase:

LQZV-Bb: ligeramente inclinada (3-7%)

---

#### 5.1.5.2.37. Consociación LRTS-B

La Consociación LRTS-B se ubica en el municipio de Bugalagrande en clima templado seco con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación de 500 a 1000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los crestones dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno de frente. Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son moderadamente profundos, limitados por alto contenido de arcilla, texturas finas, ligeramente ácidos a neutros en profundidad, bien drenados de fertilidad natural muy alta.

La Consociación está integrada por los suelos Pachic Vertic Haplustolls, fina, esmectítica, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Pachic Vertic Haplustolls, fina, esmectítica, superactiva, isotérmica, fueron el epipedón mólico, alta saturación de bases, régimen de humedad ústico y propiedades vérticas.

La Consociación (LRTS-B) presenta la fase:

LRTS-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

#### 5.1.5.2.38. Consociación LRTR-E.

La Consociación LRTR-E se ubica en el municipio de Bugalagrande en clima templado seco con temperatura media anual de 20°C y precipitación menor de 1000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los crestones dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno revés. Los suelos de la unidad se han formado a partir de Rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son superficiales, limitados por horizonte argílico, texturas finas, ligeramente ácidos a neutros, bien drenados, fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Argiustolls, fina, esmectítica, superactiva, isotérmica. Los suelos son profundos, bien drenados con reacción ligeramente ácida a neutra. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Argiustolls, fina, esmectítica, superactiva, isotérmica, fueron epipedón mólico, régimen de humedad ústico y endopedón argílico.

La Consociación LRTR-E presenta la fase:

---

LRTR-Ee: ligeramente escarpada (25-50%)

#### **5.1.5.2.39. Consociación LRSS-A.**

La Consociación LRSS-A se ubica en los municipios de Bugalagrande y Zarzal en clima templado seco con temperatura media anual de 20°C y precipitación menor de 500 a 1000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno frente. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, ligeramente alcalinos, fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Pachic Haplustolls, franca fina, vermiculítica, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Pachic Haplustolls, franca fina, vermiculítica, superactiva, isotérmica, fueron epipedón mólico, régimen de humedad ústico, alta saturación de bases.

La Consociación (LRSS-A) presenta las siguientes fases:

LRSS-Ae: ligeramente escarpada (25-50%)

LRSS-Af: moderadamente escarpada (50-75%).

#### **5.1.5.2.40. Consociación LRSS-B.**

La Consociación LRSS-B se ubica en los municipios de Bugalagrande, La Victoria y Zarzal en clima templado seco con temperatura media anual de 20°C y precipitación menor de 1000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno de revés. Los suelos se han desarrollado a partir de rocas ígneas máficas. Los suelos de la unidad se han formado a partir de Rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados, de texturas finas, neutros, fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Pachic Haplustolls, fina, vermiculítica, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Pachic Haplustolls, fina, vermiculítica,



---

superactiva, isotérmica, fueron epipedón mólico, endopedón cámbico, régimen de humedad ústico y alta saturación de bases.

La Consociación LRSR-B presenta las siguientes fases:

LRSR-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

LRSR-Be2p: ligeramente escarpada (25-50%), erosión moderada, pedregosa

LRSR-Bf: moderadamente escarpada (50-75%)

#### **5.1.5.2.41. Consociación LRSR-C.**

La Consociación LRSR-C se ubica en el municipio de Zarzal en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación de 1000 a 4000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno de revés cuyas pendientes varían de fuertemente inclinadas a moderadamente escarpadas (12-75%).

Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son superficiales limitados por alto contenido de fragmentos de roca, texturas moderadamente finas, neutros a ligeramente ácidos, bien drenados y fertilidad natural alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Haplustolls, esquelética-franca sobre fragmental, vermiculítica, superactiva, isotérmica, en 80% (CVC-287). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Haplustolls, esquelética-franca sobre fragmental, vermiculítica, superactiva, isotérmica, fueron el epipedón mólico, alta saturación de bases y régimen de humedad ústico.

La Consociación LRSR-C presenta las siguientes fases:

LRSR-Ce: ligeramente escarpada (25-50%)

LRSR-Cf: moderadamente escarpada (50-75%)

---

#### 5.1.5.2.42. Consociación LRSE-E.

La Consociación LRSE-E se ubica en los municipios de Bugalagrande y Tuluá en clima templado seco, con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 500 y 1000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos dentro del paisaje de lomerío, en la forma del terreno de escarpe. Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados, de texturas finas, moderada a ligeramente ácidos, fertilidad moderada. Ver Fotografía 47

La Consociación está integrada por el suelo Typic Dystrustepts, fina, caolinítica, isotérmica, en 75% (CVC-374). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Dystrustepts, fina, caolinítica, isotérmica, fueron epipedón ócrico, endopedón cámbico, régimen de humedad ústico y régimen de temperatura isotérmico.

La Consociación LRSE-E presenta las siguientes fases:

LRSE-Ef: moderadamente escarpada (50-75%)

LRSE-Eg: fuertemente escarpada (>75%)



Fotografía 47. Perfil Modal 4 (Suelo Typic Dystrudepts, encontrado en la unidad LRSE-E), municipio de Bugalagrande, vereda Raiceros.

#### **5.1.5.2.43. Consociación LRLB-B.**

La Consociación LRLB-B se ubica en los municipios de Bugalagrande y Zarzal en el clima templado seco, con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 500 y 1000 mm anuales. De acuerdo a la geomorfología, hace parte de las lomas dentro del paisaje de lomerío denudacional, en las formas del terreno denominadas cimas y laderas, cuyas pendientes varían de fuertemente inclinadas a ligeramente escarpadas (12 a 50%).

Los suelos de la unidad han evolucionado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados, de texturas finas, ligeramente ácidos y neutros, de fertilidad natural alta.

La Consociación está integrada por los suelos Vertic Argiustolls, fina, mezclada, activa, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Vertic Argiustolls, fina, mezclada, activa, isotérmica, fueron el epipedón mólico, el endopedón argílico, la alta saturación de bases en todo el perfil (>50%), índice de extensibilidad lineal mayor a 6 cm y el régimen de humedad ústico.

---

La Consociación LRLL-B presenta las siguientes fases:

LRLL-Bd: fuertemente inclinada (12-25%)

LRLL-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

LRLL-Be2: ligeramente escarpada (25-50%) y erosión moderada.

#### **5.1.5.2.44. Consociación LRLL-C**

La Consociación LRLL-C se ubica en los municipios de La Victoria, Zarzal y Palmira en clima templado seco con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación de 500 a 1000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en las lomas en el paisaje de lomerío, en la forma del terreno de cimas y laderas. Los suelos se han formado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son profundos, bien drenados, de texturas finas, neutros a moderadamente alcalinos de fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Pachic Haplustolls, fina, vermiculítica, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Pachic Haplustolls, fina, vermiculítica, superactiva, isotérmica, fueron el epipedón mólico, saturación de bases >50% en todos los horizontes y el régimen de humedad ústico.

La Consociación (LRLL-C) presenta las siguientes fases:

LRLL-Ce: ligeramente escarpada (25-50%)

#### **5.1.5.2.45. Consociación LRZV-A.**

La Consociación LRZV-A se ubica en los municipios de Bugalagrande, La Victoria y Zarzal en clima templado seco con temperatura media anual de 18°C y precipitación entre 500 y 1000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en el vallecito en el paisaje de lomerío, en la forma del terreno de vega, cuyas pendientes son ligeramente inclinadas (3 a 7%).

Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos aluvio-coluviales moderadamente finos; son profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, moderadamente ácidos, fertilidad moderada.

---

La Consociación está integrada por los suelos Fluventic Humustepts, franca fina, mezclada, activa, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Humustepts, franca fina, mezclada, semiactiva, isotérmica, fueron el régimen de humedad ústico, epipedón úmbrico, decrecimiento irregular del carbón orgánico.

La Consociación (LRZV-A) presenta las siguientes fases:

LRZV-Aa: ligeramente plana (0-3%)

LRZV-Ab: ligeramente inclinada (3-7%)

#### **5.1.5.2.46. Consociación LVTS-A.**

La Consociación LVTS-A se ubica en inmediaciones del municipio de Zarzal en clima cálido húmedo con temperatura media anual  $>24^{\circ}\text{C}$  y precipitación entre 2000 y 4000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte del tipo de relieve de los crestones dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno de frente con pendientes que varían de fuertemente inclinadas (12- 25%) a moderadamente escarpadas (50-75%). Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias tipo areniscas, conglomerados y lodolitas, ocasionalmente presencia de tobas; son moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, de texturas finas y moderadamente finas, ligeramente ácidos a neutros con fertilidad natural alta.

La Consociación está integrada por los suelos Pachic Hapludolls, arcillosa sobre fragmental, esmectítica, superactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Pachic Hapludolls, arcillosa sobre fragmental, esmectítica, superactiva, isohipertérmica, fueron el epipedón mólico, espesor del epipedón, régimen de humedad údico y alta saturación de bases.

La Consociación LVTS-A presenta la fase:

LVTS-Aep: ligeramente escarpada (25-50%) y pedregosa

#### **5.1.5.2.47. Consociación LVTR-B.**

La Consociación LVTR-B se ubica en los municipios de La Victoria y Zarzal en clima cálido húmedo con temperatura media anual mayor a  $24^{\circ}\text{C}$  y precipitación entre 2000 y

---

4000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los crestos dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno denominadas revés. Los suelos de la unidad han evolucionado a partir de rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, lodolitas y ocasionalmente presencia de tobas); son profundos, bien drenados, con presencia de fragmentos de roca en algunos sectores del perfil en un 35%, de texturas finas, neutros, de fertilidad natural alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Argiudolls, esquelética-arcillosa, esmectítica, superactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Argiudolls, esquelética-arcillosa, esmectítica, superactiva, isohipertérmica, fueron el epipedón mólico, el endopedón argílico, la saturación de bases mayor al 50% en todo el perfil y el régimen de humedad údico.

La Consociación LVTR-B presenta las siguientes fases:

LVTR-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

LVTR-Bf: moderadamente escarpada (50-75%)

#### **5.1.5.2.48. Consociación LVSS-A.**

La Consociación LVSS-A se ubica en los municipios de Cartago, La Victoria y Zarzal en clima cálido húmedo con temperatura media anual mayor a 24°C y precipitación entre 2000 y 4000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos en el paisaje de lomerío, en las formas del terreno de frente. Los suelos se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, lodolitas y ocasionalmente presencia de tobas); son superficiales, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, de texturas franco finas, ligeramente ácidos con fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Entic Hapludolls, franca fina sobre fragmental, mezclada, activa, isohipertérmica, en 80% (CVC-344). Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Entic Hapludolls, franca fina sobre fragmental, mezclada, activa, isohipertérmica, fueron el epipedón mólico, régimen de humedad údico, saturación de bases mayor de 50% en todo el perfil y ausencia de endopedón.

La Consociación LVSS-A presenta las siguientes fases:

LVSS-Ae: ligeramente escarpada (25-50%)

LVSS-Af: moderadamente escarpada (50-75%)



---

#### **5.1.5.2.49. Consociación LVSR-B**

La Consociación LVSR-B se ubica en los municipios de Cartago y La Victoria en clima cálido húmedo con temperatura media anual mayor a 24°C y precipitación entre 2000 y 4000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos en el paisaje de lomerío, en las formas del terreno de revés.

Los suelos se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, lodolitas y ocasionalmente presencia de tobas); son moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, de texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos a neutros con fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, esquelética-franca sobre fragmental, mezclada, activa, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, esquelética-franca sobre fragmental, mezclada, activa, isohipertérmica, fueron epipedón mólico, saturación de bases mayor al 50% en todo el perfil y régimen de humedad údico.

La Consociación (LVSR-B) presenta la fase:

LVSR-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

#### **5.1.5.2.50. Consociación LVLL-A.**

La Consociación LVLL-A se ubica en los municipios de La Victoria y Zarzal en clima cálido húmedo con temperatura media anual >24°C y precipitación promedio anual de 2000 a 4000 mm. Geomorfológicamente hace parte de las lomas en el paisaje de lomerío, en las formas del terreno de ladera.

Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias tipo areniscas, conglomerados y lodolitas; ocasionalmente presencia de tobas; son superficiales, limitados por horizonte compactado (argílico), bien drenados, texturas finas, ligeramente ácidos y fertilidad muy alta

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Vertic Hapludolls, fina, mezclada, activa, isohipertérmica, fueron el epipedón mólico, características vérticas, saturación de bases superior al 50% y régimen de humedad údico.

---

La Consociación LVLL-A presenta las siguientes fases:

LVLL-Ad: fuertemente inclinada (12-25%)

LVLL-Ad2p: fuertemente inclinada (12-25%), erosión moderada, pedregosa.

LVLL-Ae: ligeramente escarpada (25-50%)

#### **5.1.5.2.51. Consociación LVZV-A.**

La Consociación LVZV-A se ubica en los municipios de La Victoria y Zarzal en clima cálido húmedo con temperatura media anual de  $>24^{\circ}\text{C}$  y precipitación menor de 4000 mm anuales.

Geomorfológicamente hace parte del vallecito en el paisaje de lomerío, en las formas del terreno de vega. Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos aluvio-coluviales moderadamente finos; son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos a neutros, fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, franca fina, vermiculítica, superactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, franca fina, vermiculítica, superactiva, isohipertérmica, fueron epipedón mólico, régimen de humedad údico y alta saturación de bases.

La Consociación LVZV-A presenta la siguiente fase:

LVZV-Aa: ligeramente planas (1-3%)

#### **5.1.5.2.52. Consociación LWTS-A.**

La Consociación LWTS-A se ubica en el municipio de Zarzal en el clima cálido seco con temperatura media anual mayor a  $24^{\circ}\text{C}$  y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. De acuerdo con la geomorfología, hace parte de los crestones en el paisaje de lomerío estructural-denudacional, en la forma del terreno denominada frente. Los suelos de la unidad han evolucionado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, de texturas moderadamente finas y finas, neutros de fertilidad natural alta.

---

La Consociación está integrada por los suelos Typic Haplustepts, arcillosa sobre fragmental, mezclada, semiactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Haplustepts, arcillosa sobre fragmental, mezclada, semiactiva, isohipertérmica, fueron la alta saturación de bases en todo el perfil (>50%), el régimen de humedad ústico y el epipedón ócrico.

La Consociación (LWTS-A) presenta la siguiente fase:

LWTS-Af: moderadamente escarpada (50-75%)

#### **5.1.5.2.53. Consociación LWTR-B**

La Consociación LWTR-B se ubica en el municipio de Zarzal en clima cálido seco con temperatura media anual mayor a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los crestones en el paisaje de lomerío estructural-denudacional, en la forma del terreno denominada revés. Los suelos de la unidad han evolucionado a partir de rocas sedimentarias (limolitas, arcillolitas, areniscas, conglomerados y calizas); son moderadamente profundos, limitados por horizonte argílico, bien drenados, de texturas moderadamente finas, de reacción ligeramente ácida a ligeramente alcalina y fertilidad natural alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Argiustolls, franca fina, mezclada, superactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Argiustolls, franca fina, mezclada, superactiva, isohipertérmica, fueron el epipedón mólico, alta saturación de bases y régimen de humedad ústico.

La Consociación LWTR-B presenta las siguientes fases:

LWTR-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

LWTR-Be2: ligeramente escarpada (25-50%), erosión moderada

LWTR-Bf: moderadamente inclinada (50-75%)

#### **5.1.5.2.54. Consociación LWSS-A.**

La Consociación LWSS-A se ubica en los municipios de La Victoria y Zarzal en clima cálido seco con temperatura media anual >24°C y precipitación menor de 2000 mm

---

anuales. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos en el paisaje de lomerío, en las formas del terreno de frente.

Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, lodolitas y ocasionalmente presencia de tobas); son profundos, bien drenados, texturas finas, ligeramente ácidos, fertilidad muy alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Haplustolls, fina, esmectítica, superactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Haplustolls, fina, esmectítica, superactiva, isohipertérmica, fueron epipedón mólico, régimen de humedad ústico y horizonte argílico.

La Consociación (LWSS-A) presenta la siguiente fase:

LWSS-Ae: ligeramente escarpada (25-50%)

#### **5.1.5.2.55. Consociación LWSR-B.**

La Consociación LWSR-B se ubica en los municipios de La Victoria y Zarzal. Geomorfológicamente hace parte de los espinazos en el paisaje lomerío, en las formas del terreno revés. Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, lodolitas y ocasionalmente presencia de tobas); son moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, texturas moderadamente finas, moderadamente ácidos a ligeramente alcalinos, fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Haplustolls, esquelética-franca sobre fragmental, esmectítica, superactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Haplustolls, esquelética-franca sobre fragmental, esmectítica, superactiva, isohipertérmica, fueron epipedón mólico, régimen de humedad ústico y alta saturación de bases.

La Consociación LWSR-B presenta las siguientes fases:

LWSR-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

---

#### 5.1.5.2.56. Consociación LWLL-A.

La Consociación LWLL-A se ubica en los municipios de La Victoria y Zarzal en clima cálido seco con temperatura media anual  $>24^{\circ}\text{C}$  y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de las lomas dentro del paisaje de lomerío estructural-denudacional, en la forma del terreno de ladera.

Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, lodolitas y ocasionalmente presencia de tobas); son profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos, fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Argiustolls, franca fina, mezclada, superactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Argiustolls, franca fina, mezclada, superactiva, isohipertérmica, fueron el epipedón mólico, endopedón argílico, régimen de humedad ústico y la alta saturación de bases en todo el perfil.

La Consociación LWLL-A presenta las siguientes fases:

LWLL-Ad: fuertemente inclinada (12-25%)

LWLL-Ae: ligeramente escarpada (25-50%)

#### 5.1.5.2.57. Consociación LWLL-B.

La Consociación LWLL-B se ubica en los municipios de La victoria y Zarzal en clima cálido seco con temperatura media anual de  $>24^{\circ}\text{C}$  y precipitación menor de 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de las lomas en el paisaje de lomerío, en las formas del terreno de laderas.

Los suelos de la unidad se han formado a partir de rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, lodolitas y ocasionalmente presencia de tobas); son profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos, fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Vertic Haplustepts, franca fina, mezclada, superactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Vertic Haplustepts, franca fina,

---

mezclada, superactiva, isohipertérmica, fueron epipedón ócrico, régimen de humedad ústico, extensibilidad lineal de 6.0 cm o más y alta saturación de bases.

La Consociación (LWLL-B) presenta las siguientes fases:

LWLL-Bd: fuertemente inclinada (12-25%)

LWLL-Be: ligeramente escarpada (25-50%)

LWLL-Be2: ligeramente escarpada (25-50%), erosión moderada

#### **5.1.5.2.58. Consociación LWVV-C.**

La Consociación LWVV-C se ubica en el municipio de Zarzal en clima cálido seco con temperatura media anual mayor de 24°C y precipitación menor de 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte del valle estrecho dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno de vega Geomorfológicamente hace parte del valle estrecho dentro del paisaje de lomerío, en las formas del terreno de vega.

Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos aluvio-coluviales finos, son profundos, bien drenados, de texturas franco arcillosas y arcillosas, ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos y fertilidad natural moderada. La consociación está integrada por los suelos Fluventic Haplustolls, fina, mezclada, superactiva, isohipertérmica.

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Fluventic Haplustolls, fina, mezclada, superactiva, isohipertérmica, fueron el epipedón: mólico, régimen de humedad ústico, decrecimiento irregular de carbono orgánico y saturación de bases mayor a 50% en todos los horizontes del perfil.

La Consociación LWVV-C presenta la siguiente fase:

LWVV-Ca: ligeramente plana (1-3%)

#### **5.1.5.2.59. Consociación LWZV-A.**

La Consociación LWZV-A se ubica en los municipios de La Victoria y Zarzal en clima cálido seco con temperatura media anual mayor a 24°C y precipitación menor a 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte del vallecito dentro del paisaje de lomerío, en



---

las formas del terreno de vega cuyas pendientes varían de ligeramente planas a ligeramente inclinadas (1-7%).

Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos aluvio-coluviales moderadamente finos; son profundos, bien drenados, de texturas franco arenosas, francas, franco arcillo arenosas, ligeramente ácidos a neutros con fertilidad natural moderada

La Consociación está integrada por los suelos Fluventic Haplustolls, franca fina, esmécitica, súperactiva, isohipertérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Fluventic Haplustolls, franca fina, esmécitica, súperactiva, isohipertérmica, fueron el epipedón mólico, régimen de humedad ústico, decrecimiento irregular de carbono orgánico y saturación de bases mayor al 50% en todos los horizontes.

En esta unidad cartográfica se realizó el Perfil Modal 3.

La Consociación (LWZV-A) presenta las siguientes fases:

LWZV-Aa: ligeramente plana (1-3%)

LWZV-Ab: ligeramente inclinada (3-7%)

#### **5.1.5.2.60. Consociación PQLC-A.**

La Consociación PQLC-A se ubica en inmediaciones del municipio de Tuluá en clima templado húmedo con temperatura entre 18 y 24°C y precipitación menor de 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de las lomas dentro del paisaje de piedemonte, en las formas del terreno de cimas cuyas pendientes varían de ligera a moderadamente inclinadas (3-12%).

Los suelos de la unidad se han originado a partir de depósitos antiguos de origen aluvio-torrencial finos; son muy superficiales, limitados por altos contenidos de arcilla y fragmentos de roca, bien drenados, de texturas muy finas, moderadamente ácidos y fertilidad moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Humudepts, arcillosa sobre esquelética-franca, mezclada, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Humudepts, arcillosa sobre esquelética-franca, mezclada, superactiva, isotérmica, fueron el régimen de humedad údico, régimen de temperatura isotérmico y epipedón úmbrico.

---

La Consociación PQLC-A presenta la siguiente fase:

PQLC-Ab: ligeramente inclinada (3-7%)

#### **5.1.5.2.61. Consociación PQLL-D.**

La Consociación PQLL-D se ubica en los municipios de Bugalagrande y Tuluá en clima templado húmedo con temperatura media anual de 20°C y precipitaciones promedio de 1500 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en las lomas en el paisaje de piedemonte deposicional, en las formas del terreno de laderas.

Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos antiguos de origen aluvio-torrencial finos, son profundos, bien drenados, de texturas franco arcillosas en la capa arable y arcillosas a arcillo limosas a profundidad, extremadamente ácidos en los primeros 60cm, muy fuertemente ácidos en profundidad con fertilidad natural baja.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Humudepts, fina, activa, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Humudepts, fina, activa, isotérmica, fueron la presencia de epipedón úmbrico, endopedón cámbico y régimen de humedad údico.

La Consociación PQLL-D presenta las siguientes fases:

PQLL-Dd: fuertemente inclinada (12-25%)

PQLL-Ddp: fuertemente inclinada (12-25%), pedregosa

PQLL-De: ligeramente escarpada (25-50%)

#### **5.1.5.2.62. Consociación PQLL-E.**

La Consociación PQLL-E se ubica en sectores de los municipios de Bugalagrande y Tuluá en clima templado húmedo con temperatura media anual que oscila entre 18 y 24°C con precipitación promedio anual de 1000 a 2000 mm.

Geomorfológicamente se ubica en las lomas en el paisaje de piedemonte, en la forma de terreno de laderas cuyas pendientes oscilan entre modernamente inclinadas a moderadamente escarpadas (7-75%). Los suelos de la Consociación han evolucionado a partir de depósitos antiguos de origen aluvio-torrencial finos; son moderadamente

---

profundos limitados por altos contenido de arcilla, bien drenados, texturas finas, neutros, fertilidad alta.

La Consociación está integrada por los suelos Vertic Hapludolls, fina, esmectítica, superactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Vertic Hapludolls, fina, esmectítica, superactiva, isotérmica, fueron el epipedón mólico, saturación de bases mayor al 50% en el perfil, régimen de humedad údico y extensibilidad lineal de 6 cm en al menos un horizonte.

La Consociación PQLL-E presenta la siguiente fase:

PQLL-Ed: fuertemente inclinada (12-25%)

#### **5.1.5.2.63. Consociación PQASP-D.**

La Consociación PQASP-D se ubica en los municipios de Andalucía y Tuluá en clima templado, húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 100 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte de los abanicos subcrecientes dentro del paisaje de piedemonte deposicional, en la forma del terreno de cuerpo.

Los suelos de la unidad se han originado a partir de depósitos subcrecientes finos de origen aluvio torrencial; son moderadamente profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas y finas, ligeramente ácidos, fertilidad alta.

La Consociación está integrada por el suelo Typic Hapludolls, esquelética-arcillosa, mezclada, activa, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, esquelética-arcillosa, mezclada, activa, isotérmica, fueron epipedón mólico, endopedón cámbico, fragmentos de roca en el perfil del suelo, régimen de humedad údico y régimen de temperatura isotérmico. Ver Fotografía 48

La Consociación PQASP-D presenta las siguientes fases:

PQASP-Da: ligeramente plana (1-3%)

PQASP-Db: ligeramente inclinada (3-7%)

PQASP-Dc: moderadamente inclinada (7-12%)



Fotografía 48. Perfil Modal 19 (Suelo Typic Argiudolls, encontrado en la unidad PQASP-D), municipio de Andalucía, vereda Pardo.

#### **5.1.5.2.64. Consociación PQASP-F.**

La Consociación PQASP-F se ubica en los municipios de Andalucía, Bugalagrande y Tuluá en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación de 1000 a 2000 mm anuales.

Geomorfológicamente hace parte del abanico subreciente dentro del paisaje de piedemonte, en las formas del terreno de cuerpo.

Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos subrecientes de origen aluvio-torrencial finos; son superficiales, limitados por horizontes compactados (argílico), bien drenados, de texturas finas y moderadamente finas, fuerte a ligeramente ácidos con fertilidad natural moderada.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludalfs, fina, mezclada, semiactiva, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludalfs, fina, mezclada, semiactiva, isotérmica, fueron el endopedón argílico y régimen de humedad údico.

La Consociación PQASP-F presenta las siguientes fases:

---

PQASP-Fb: ligeramente inclinada (3-7%)

#### **5.1.5.2.65. Consociación PQAST-H.**

La Consociación PQAST-H se ubica en los municipios de Andalucía, Bugalagrande y Tuluá en clima templado húmedo, con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente hace parte del tipo de relieve abanico subreciente dentro del paisaje piedemonte, en las formas del terreno de talud.

Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos subrecientes de origen aluvio-torrencial finos; son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas, ligeramente ácidos a neutros con fertilidad natural alta.

La Consociación está integrada por los suelos Typic Hapludolls, fina, mezclada, activa, isotérmica. Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Hapludolls, fina, mezclada, activa, isotérmica, fueron el régimen de humedad údico, epipedón mólico y alta saturación de bases. Ver Fotografía 49

La Consociación PQAST-H presenta las siguientes fases:

PQAST-Hd: fuertemente inclinada (12-25%)

PQAST-He: ligeramente escarpada (25-50%)

PQAST-He2: ligeramente escarpada (25-50%), erosión moderada



Fotografía 49. Perfil Modal 20 (Suelo Typic Argiudolls, fina, encontrado en la unidad PCAST-H), municipio de Andalucía, vereda Pardo.

#### **5.1.5.2.66. Consociación PQVP-A.**

La Consociación PQVP-A se ubica en los municipios de Bugalagrande y Tuluá en clima templado húmedo con temperatura de 18 a 24°C y precipitación promedio de 1000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en el valle estrecho en el paisaje de piedemonte deposicional, en las formas del terreno de plano de terraza cuyas pendientes varían de ligeramente planas a ligeramente inclinadas (1-7%).

Los suelos se han formado a partir de depósitos aluvio-coluviales finos; son profundos, bien drenados, de texturas arcillosas, fuerte y muy fuertemente ácidos de fertilidad baja. La consociación está integrada por los suelos Fluventic Humudepts, fina, semiactiva, isotérmica.

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Fluventic Humudepts, fina, semiactiva, isotérmica; fueron el régimen de humedad údico, epipedón úmbrico, pendiente menor de 25% y contenido de carbono orgánico de 0,2% a 125cm. Ver Fotografía 50.



---

La Consociación PQVP-A presenta la siguiente fase:

PQVP-Ab: ligeramente inclinada (3-7%)



Fotografía 50. Perfil Modal 2 (Suelo Entic Haplustolls, encontrado en la unidad PQVP-A), municipio de Bugalagrande, vereda Raiceros.

#### **5.1.5.2.67. Consociación PQVV-D.**

La Consociación PQVV-D se ubica en los municipios de Bugalagrande y en clima templado, húmedo, con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en el tipo de relieve valle estrecho en el paisaje de piedemonte, en las formas del terreno vega, con pendientes ligeramente inclinadas (3-7%).

Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos aluvio - coluviales finos; son moderadamente profundos, imperfectamente drenados, de texturas finas, moderadamente ácidos en superficie a moderadamente alcalinos en profundidad, de fertilidad alta.

---

La Consociación está integrada por los suelos Aquic Hapludolls, fina, mezclada, activa, isotérmica.

La Consociación PQVV-D presenta la siguiente fase:

PQVV-Db: ligeramente inclinada (3-7%)

#### **5.1.5.2.68. Consociación PQZV-A.**

La Consociación PQZV-A se ubica en los municipios de Andalucía, Bugalagrande y Tuluá en clima templado húmedo con temperatura media anual de 22°C y precipitación menor de 2000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en los vallecitos en el paisaje de piedemonte deposicional, en las formas del terreno de vegas cuyas pendientes son ligeramente planas a ligeramente inclinadas (1-7%).

Los suelos se han formado a partir de depósitos aluvio-coluviales mixtos; son moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, de texturas franco finas y arcillo arenosas; muy fuerte a fuertemente ácidos de fertilidad baja

La consociación está integrada por los suelos Typic Humudepts, esquelética-franca sobre fragmental, activa, isotérmica, en 75% (CVC-022) y en menor proporción por los suelos Typic Humudepts, franca fina, isotérmica, en 15% (TS-048) y Aquic Humudepts, esquelética-franca sobre fragmental, isotérmica, en 10% (TS-371).

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Humudepts, esquelética-franca sobre fragmental, activa, isotérmica, fueron el epipedón úmbrico, el régimen de humedad údico y el alto porcentaje de fragmentos de roca a partir de los 53cm de profundidad.

La Consociación PQZV-A presenta las siguientes fases:

PQZV-Ab: ligeramente inclinada (3-7%),

---

#### **5.1.5.2.69. Asociación PRA.**

Unidad de suelos identificada en los municipios de Palmira, Ginebra, Guacarí y El Cerrito, sobre lomas y colinas de paisaje piedemonte aluvial; el relieve es entre ligeramente ondulado y fuertemente ondulado, con pendientes entre 3 y 25%.

Suelos desarrollados a partir de depósitos superficiales clásticos hidrogénicos (aluviones mixtos) cubiertos parcialmente por depósitos superficiales piroclásticos (ceniza volcánica). Son suelos superficiales a muy profundos, texturas moderadamente finas a gruesas, moderadamente drenados a bien drenados, fuerte a moderadamente ácidos, fertilidad moderada a alta, limitados por presencia de roca.

Unida conformada por los suelos Ultic Haplustalfs franco fino (35%), Humic Dystrustepts fino(30%) y Typic Haplustands medial (20%). Presentan las siguientes fases:

PRa: fase plana.

#### **5.1.5.2.70. Complejo ZA.**

Suelos ubicados en los municipios de Pereira y Zarzal. Se presentan en las cimas y las laderas superiores y medias de las lomas y colinas. Las laderas son de longitud media y forma recta, mientras que las cimas son de longitud corta y forma convexa. Los suelos se han desarrollado a partir de arenisca tobáceas, arcillolitas y diatomitas. Son suelos superficiales limitados por material compactado, moderadamente drenado, moderadamente ácidos, fertilidad alta. Ver Fotografía 51

Esta unidad de suelos está conformada por suelos de las familias Typic Durustalfs, francosa fina, isohipertérmica (60%) y Typic Haplustalfs, fina, isohipertérmica (30%). En esta unidad se ha identificado la siguiente fase:

ZAd2: fase moderadamente quebrada, erosión moderada.



Fotografía 51. Perfil Modal 16 (Suelo Typic Durustalfs, encontrado en la unidad ZA), municipio de Zarzal, vereda Vallejuelo.

#### **5.1.5.2.71. Complejo (FL-GU).**

Se ha identificado en el municipio de Candelaria, esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central al sur de Palmira. Presentan relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones gruesos; son suelos muy profundos a moderadamente profundos, ligeramente ácidos, limitados por nivel freático, moderadamente drenados, fertilidad moderada y alta. Ver Fotografía 52

Unidad de suelos integrada por los suelos de las familias Entic Haplustolls, arenosa, isohipertérmica (50%) y Fluvaquentic Haplustolls, francosa gruesa, isohipertérmica (50%). En esta unidad se identificó la siguiente fase:

(FL-GU)a: fase ligeramente plana.



Fotografía 52. Perfil Modal 36 (Suelo Fluvaquentic Haplustolls encontrado en la unidad (FL-GU), municipio de Candelaria, vereda El Cabuyal.

#### **5.1.5.2.72. Consociación GU.**

Suelos ubicados en los municipios de Candelaria y Pradera. Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga.

Los suelos se han desarrollado en aluviones gruesos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos limitados por el nivel freático, neutros y de fertilidad alta. La vegetación natural ha sido destruida. Ver Fotografía 53

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Fluvaquentic Haplustolls, francosa gruesa, isohipertérmica (90%) e inclusiones de la familia Aquic Haplustepts, francosa gruesa, isohipertérmica (10%). Dentro del área de influencia se ha identificado la fase:

GUa: fase ligeramente plana.



Fotografía 53. Perfil Modal 9 (Suelo Fluvaquentic Haplustolls representativo unidad GU), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.

#### **5.1.5.2.73. Consociación RL.**

Unidad ubicada en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central al oeste de Palmira, alrededores de Candelaria y Pradera. Presenta relieve de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones gruesos; son suelos profundos, bien drenados, neutros, fertilidad alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Fluventic Haplustolls, francosa gruesa, isohipertérmica (85%) e incluye suelos similares de la familia Fluventic Haplustolls, francosa gruesa sobre arenosa, isohipertérmica (15%). Se ha identificado la presencia de la siguiente fase:

RLa: fase ligeramente plana.



---

#### 5.1.5.2.74. Consociación (FL).

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central en los alrededores de Candelaria. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones medianos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad moderada. Ver Fotografía 54

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, arenosa, isohipertérmica (100%). Dentro del área de influencia se identificó la siguiente fase:

FLa: fase ligeramente plana.



Fotografía 54. Perfil Modal 33 (Suelo Typic Haplusterts, encontrado en la unidad FL), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.

#### 5.1.5.2.75. Consociación (LF).

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central en los alrededores del aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón al oeste de Palmira. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones medianos; son imperfectamente drenados, muy

---

superficiales limitados por saturación de sodio mayor de 15%, moderadamente alcalinos y de fertilidad baja.

Los suelos presentan severas limitaciones para la agricultura y la ganadería debido a la profundidad efectiva muy superficial limitada por la saturación de sodio intercambiable mayor de 15%.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Sodic Calcicusterts, fina, isohipertermica (100%). Dentro del área de influencia se identificó la siguiente fase:

LFak: fase ligeramente plana sódica.

#### **5.1.5.2.76. Asociación (FL-MN).**

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central entre Florida y el río Desbaratado; se han identificado en el municipio de Candelaria. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente ácidos y ligeramente alcalinos y de fertilidad moderada y alta. Ver Fotografía 55

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, arenosa, isohipertérmica (50%) y Cumulic Haplustolls, francosa fina, isohipertérmica (50%). En esta unidad se presenta la fase:

(FL-MN)a: fase ligeramente plana.



Fotografía 55. Perfil Modal 12 (Suelo Typic Haplustolls, encontrado en la unidad FL-MN), municipio de Candelaria, vereda Buchitolo.

#### **5.1.5.2.77. Complejo (MN-PL).**

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central entre Buga, Pradera y Candelaria. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente alcalinos y neutros y de fertilidad alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Cumulic Haplustolls francosa fina, isohipertérmica (50%) y Pachic Haplustolls, francosa fina, isohipertérmica (50%). En esta unidad se presenta la fase:

(MN-PL)a: fase ligeramente plana.

---

#### 5.1.5.2.78. Consociación JR.

Unidad localizada en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central al sur de Candelaria y Pradera. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son moderadamente drenados limitados por el nivel freático, moderadamente profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad muy alta. Ver Fotografía 56

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Typic Haplustolls, francosa fina, isohipertérmica (100%). Dentro del área de influencia se presenta la fase:

JRa: fase ligeramente plana.



Fotografía 56. Perfil Modal 11 (Suelo Typic Haplustolls encontrado en la unidad JR), municipio de Candelaria, vereda La Regina.

#### 5.1.5.2.79. Consociación MN.

Suelos identificados en los municipios de Candelaria y Pradera. Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera

---

---

occidental y al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente alcalinos y de fertilidad alta. Ver Fotografía 51

Los suelos presentan ligeras limitaciones para la agricultura y la ganadería debido a la baja precipitación pluvial y, en algunos sectores, a la afectación por sales y sodio en grado ligero.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Cumulic Haplustolls, francosa fina, isohipertérmica (85%) e incluye suelos similares de la familia Cumulic Haplustolls, francosa fina sobre arenosa, isohipertérmica (15%). Dentro del área de influencia se presenta la fase:

MNa: fase ligeramente plana.

MNb: fase ligeramente inclinada.



Fotografía 57. Perfil Modal 13V (Suelo Cumulic Haplustolls, encontrado en la unidad MN), municipio de Candelaria, vereda El Tiple.

#### 5.1.5.2.80. Consociación PL.

Unidad de suelos identificada en los municipios de Candelaria y Pradera. Se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera occidental y al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, muy profundos, neutros y de fertilidad alta.

Los suelos presentan ligeras limitaciones para la agricultura y la ganadería debido a la baja precipitación pluvial y, en algunos sectores, a la afectación por sales y sodio en grado ligero. Ver Fotografía 58

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Pachic Haplustolls, francosa fina, isohipertérmica (75%) e inclusiones de la familia Cumulic Haplustolls, francosa fina, isohipertérmica (25%). En esta unidad se ha identificado la siguiente fase:

PLa: fase ligeramente plana.

PLax: fase ligeramente plana, ligeramente sódica.

PLb: fase ligeramente inclinada.



Fotografía 58. Perfil Modal 10 (Suelo Pachic Haplustolls representativo de la unidad PL), municipio de Candelaria, vereda Madre Vieja.



---

#### 5.1.5.2.81. Consociación PM.

Se identificó en el municipio de Candelaria. Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones mixtos; son bien drenados, profundos, neutros y de fertilidad muy alta. Ver Fotografía 59

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Vertic Haplustolls, francosa, isohipertérmica (75%) e inclusiones de la familia Vertic Haplustolls, arcillosa sobre francosa, isohipertérmica (25%). En esta unidad se presenta la siguiente fase:

PMa: fase ligeramente plana.



Fotografía 59. Perfil Modal 8 (Suelo Vertic Haplustolls representativo de la unidad PM), municipio de Candelaria, vereda San Joaquin.

---

#### **5.1.5.2.82. Asociación (GL-PS).**

Unidad de suelos identificada en el municipio de Palmira, sobre el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes; el relieve es plano, de amplitud larga.

Suelos desarrollados a partir de aluviones finos; imperfectamente drenados y moderadamente drenados, superficiales a muy superficiales limitados por el nivel freático o por horizontes natricos, neutros a ligeramente alcalinos y de fertilidad baja y alta.

Esta unidad está conformada por los suelos Udic Calciusterts fina (50%) y Petrocalcic Natrustalfs fina (50%). Se identificó la siguiente fase:

(GL-PS)ak: fase moderadamente plana, sodica.

#### **5.1.5.2.83. Consociación GL.**

Unidad identificada en el municipio de Candelaria. Se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes formados al pie de la cordillera central y al pie de la cordillera occidental. Estos suelos se han desarrollado a partir de aluviones finos, son suelos superficiales, limitados por nivel freático, imperfectamente drenados, neutros, fertilidad muy alta, son suelos artificialmente drenados. Ver Fotografía 60

Esta unidad cartográfica está integrada por los suelos Udic Calciusterts, fina, vermiculítica, isohipertérmica (85%). En esta unidad se ha identificado la siguiente fase:

GLar: fase ligeramente plana, artificialmente drenada.



Fotografía 60. Perfil Modal 7 (Suelo Udic Calciusterts representativo de la unidad GL), municipio de Candelaria, vereda El Tiple.

#### **5.1.5.2.84. Complejo (ES-SO).**

Estos suelos se localizan en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, al sur este del Cerrito. En general, presentan relieves de forma cóncava y amplitud muy larga tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal.

Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos limitados por fragmentos de roca, ligeramente ácidos y moderadamente ácidos y de fertilidad muy alta a alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Udic Haplusterts, arcillosa sobre fragmental, isohipertérmica (50%) y Typic Haplusterts, arcillosa sobre fragmental, isohipertérmica (50%). En esta unidad se presentan la siguiente fase:

(ES-SO)a: fase ligeramente plana.

---

#### 5.1.5.2.85. Complejo (AR-NM).

Estos suelos se localizan en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, los ríos Zabaletas y Cerrito, municipios El Cerrito y Ginebra. En general, presentan relieves de forma convexa y amplitud larga tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal.

Los suelos se han desarrollado en aluviones finos y coluviones heterométricos; son bien drenados, profundos y superficiales limitados por fragmentos de roca, ligeramente ácidos y neutros y de fertilidad muy alta y alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Vertic Haplustalfs, fina, esmectítica, isohipertérmica (50%) y Entic Haplustolls, francosa fina sobre esqueletal arenosa, isohipertérmica (50%). En esta unidad se presentan las siguientes fases:

(AR-NM)b: fase ligeramente inclinada.

#### 5.1.5.2.86. Complejo (ES-PR).

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, entre Buga, Pradera y Pradera. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos y aluviones mixtos; son moderadamente drenados y bien drenados, moderadamente profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad muy alta y alta. Ver Fotografía 61

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Udic Haplusterts, arcillosa sobre fragmental, isohipertérmica (50%) y Vertic Haplustepts, francosa fina sobre esqueletal arenosa, isohipertérmica (50%). En esta unidad se presenta la siguiente fase: (ES-PR)b: fase ligeramente inclinada.



Fotografía 61. Perfil Modal 14V (Suelo Udic Haplusterts encontrado en la unidad ES-PR), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

#### **5.1.5.2.87. Complejo (NM-PR).**

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, entre Buga, Pradera y Palmira. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga. Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos y aluviones mixtos; son bien drenados, superficiales y moderadamente profundos limitados por fragmentos de roca de 35 a 60% por volumen, neutros y ligeramente ácidos y de fertilidad alta. Ver Fotografía 62

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, francosa fina sobre esqueletal arenosa, isohipertérmica (50%) y Vertic Haplustepts, francosa fina sobre esqueletal arenosa, isohipertérmica (50%). Dentro del área de influencia se presentan las siguientes fases:

(NM-PR)a: fase ligeramente plana.

(NM-PR)b: fase ligeramente inclinada.



Fotografía 62. Perfil Modal 15 (Suelo Entic Haplustolls representativo de la unidad NM-PR), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

#### **5.1.5.2.88. Complejo (CE-NM).**

Esta unidad se localiza en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central entre las poblaciones de Palmira, Ginebra y El Cerrito. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud larga a muy larga en sentido transversal. Longitudinalmente son cortos los del pie de la cordillera occidental y muy largos los del pie de la cordillera central. Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos; son bien drenados, muy superficiales y superficiales limitados por fragmentos de roca, moderadamente ácidos y neutros y de fertilidad alta. Algunos presentan pedregosidad superficial.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, esqueletal francosa sobre fragmental, isohipertérmica (50%) y Entic Haplustolls, francosa fina sobre esqueletal arenosa, isohipertérmica (50%). En esta unidad se presenta la siguiente fase:

(CE-NM)cp: fase moderadamente inclinada, pedregosa.



---

#### 5.1.5.2.89. Consociación ES.

Esta unidad se localiza en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central entre las poblaciones de Ginebra y Pradera. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud larga en sentido transversal. Longitudinalmente son muy largos. Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos limitados por fragmentos de roca, ligeramente ácidos y de fertilidad muy alta. Ver Fotografía 63

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Udic Haplusterts, arcillosa sobre fragmental, isohipertérmica (80%) e inclusiones de la familia Udic Calciusterts, fina, isohipertérmica (20%). En esta unidad se presenta la siguiente fase:

ESa: fase ligeramente plana.

ESb: fase ligeramente inclinada.



Fotografía 63. Perfil Modal 14 (Suelo Vertic Haplustepts encontrado en la unidad ES), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

---

#### 5.1.5.2.90. Consociación NM.

Esta unidad se localiza en el clima cálido seco, en el ápice de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central entre las poblaciones de San Pedro, Palmira, Pradera y Ginebra. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud larga a muy larga en sentido transversal. Longitudinalmente son muy largos.

Los suelos se han desarrollado en coluviones heterométricos; son bien drenados, superficiales limitados por fragmentos de roca, neutros y de fertilidad alta. Algunos están afectados por sodio en grado ligero o presentan pedregosidad superficial. La velocidad de infiltración es moderadamente lenta. Ver anexo D3.4. Fotografía 64

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, francosa fina. En esta unidad se presentan las siguientes fases:

NMb: fase ligeramente inclinada.



Fotografía 64. Perfil Modal 15V (Entic Haplustolls identificado en la unidad cartográfica NM), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

---

#### **5.1.5.2.91. Consociación AR.**

Unidad identificada en los municipios de El Cerrito y Palmira. Se localiza en el ápice de los abanicos aluviales subrecientes formados al pie de la cordillera central. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud muy larga tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal. Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son bien drenados, profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad muy alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Vertic Haplustalfs, fina, esmectítica, isohipertérmica (80%) e incluye suelos similares de la familia Vertic Haplustalfs, francosa fina, isohipertérmica (20%). En esta unidad se presenta la fase:

ARa: fase ligeramente plana.

#### **5.1.5.2.92. Consociación AD.**

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales subrecientes formados al pie de la cordillera occidental, entre la ciudad de Santiago de Cali y el corregimiento de Robles en límites con el departamento del Cauca. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Ver Fotografía 65

Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos, limitados por el nivel freático, muy fuertemente ácidos, de fertilidad moderada y se encuentran artificialmente drenados.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Chromic Udic Haplusterts, fina, isohipertérmica (100%). En esta unidad se presenta la fase:

ADar: fase ligeramente plana, artificialmente drenada.



Fotografía 65. Perfil Modal 34 (Suelo Chromic Udic Haplusterts representativo de la unidad AD), municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

#### **5.1.5.2.93. Consociación GN.**

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales subrecientes formados al pie de la cordillera occidental, entre la ciudad de Santiago de Cali y el corregimiento de Robles en límites con el departamento del Cauca. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Ver Fotografía 65

Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son moderadamente drenados, moderadamente profundos, limitados por el nivel freático, muy fuertemente ácidos, de fertilidad moderada y se encuentran artificialmente drenados.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls esqueletal arenosa, isohipertérmica (100%). En esta unidad se presenta la fase:

GNa: fase ligeramente plana, artificialmente drenada.

---

#### 5.1.5.2.94. Complejo (GN-GU).

Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos coluvio aluviales formados al pie de la cordillera central, al sur de Buga y del Cerrito. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud larga.

Los suelos se han desarrollado en aluviones gruesos y coluviones heterométricos; son excesivamente y moderadamente drenados, superficiales limitados por fragmentos de roca de 35 a 60% por volumen y moderadamente profundos, neutros y de fertilidad moderada y alta.

Los suelos presentan limitaciones muy severas para la agricultura y la ganadería debido al drenaje natural excesivo.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Entic Haplustolls, esquelética arenosa, isohipertermica (50%) - Typic Ustifluvents, francosa gruesa, no ácida, isohipertermica (50%). En esta unidad se presenta la fase:

(GN-GU)a: fase ligeramente plana.

#### 5.1.5.2.95. Consociación VJ.

Esta unidad se localiza en los bajos de los vallecitos de algunos afluentes del río Cauca, específicamente en el municipio de Zarzal. En general, presenta un relieve de forma ligeramente plana y amplitud media a larga en sentido transversal y muy larga en sentido longitudinal. Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son imperfectamente drenados, superficiales limitados por el nivel freático, fuertemente ácidos, de fertilidad alta y se encuentran artificialmente drenados. Ver Fotografía 66

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Udic Haplusterts, fina, isohipertérmica (70%) e incluye suelos similares de la familia Chromic Udic Haplusterts, fina, isohipertérmica (30%). En esta unidad se ha identificado la fase:

VJar: ligeramente plana, drenada artificialmente.



Fotografía 66. Perfil Modal 17 (Suelo Udic Haplusterts representativo de la unidad VJ), municipio de Zarzal, vereda Vallejuelo.

#### **5.1.5.2.96. Consociación AM.**

Esta unidad se localiza en los bancos de los vallecitos de los afluentes del río Cauca, en los municipios de Candelaria, El Cerrito, Palmira, Pradera y Zarzal. En general, presenta un relieve de forma convexa y amplitud larga a muy larga en sentido transversal. Longitudinalmente recorre varios kilómetros desde el pie de las cordilleras hasta su desembocadura en el río Cauca. Los suelos se han desarrollado en depósitos superficiales de aluviones gruesos; son bien drenados, muy profundos, ligeramente ácidos y de fertilidad moderada. Algunos están sometidos a inundaciones frecuentes (una a dos por año). Ver Fotografía 67

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Typic Ustifluvents, francosa gruesa, no ácida, isohipertérmica (80%) e inclusiones de la familia Fluventic Haplustolls, francosa fina, isohipertérmica (20%). En esta unidad se presenta la siguiente fase:

AMa: fase ligeramente plana.





Fotografía 67. Perfil Modal 18 (Suelo Entic Haplusterts representativo de la unidad AM), municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.

#### **5.1.5.2.97. Complejo (CK-RC).**

Esta unidad se localiza en los albardones del río Cauca entre Juanchito y Navarro, y el municipio de Candelaria. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud media. Los suelos se han desarrollado en aluviones medianos; son bien drenados y moderadamente drenados, profundos y moderadamente profundos limitados por el nivel freático, neutros y de fertilidad muy alta. Ver Fotografía 68

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Fluventic Haplustepts, francosa sobre arenosa, aniso, isohipertérmica (50%) y Fluvaquentic Haplustolls, francosa fina, isohipertérmica (50%). En esta unidad se ha identificado la siguiente fase:

(Ck-RC)a: fase ligeramente plana.



Fotografía 68. Perfil Modal 35 (Suelo Fluventic Haplustepts representativo de la unidad CK-RC), municipio de Candelaria, vereda San Joaquín.

#### **5.1.5.2.98. Consociación CQ.**

Esta unidad se localiza en el albardón del río Cauca a lo largo del valle geográfico, específicamente en el municipio de Cali. En general, presenta relieves de forma convexa y amplitud media. Los suelos se han desarrollado en aluviones medianos; son bien drenados, profundos, neutros y de fertilidad alta.

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Fluventic Haplustepts, francosa sobre arenosa, aniso, isohipertérmica (85%) y por suelos similares de la familia Fluventic Haplustepts, francosa, isohipertérmica (15%). en esta unidad se presenta la siguiente fase:

CQa: fase ligeramente plana.

---

#### 5.1.5.2.99. Consociación JN.

Esta unidad se localiza en la cubeta de desborde del río Cauca en ambas márgenes del río y en un sector de Ansermanuevo entre el río Cauca y el río Cañaveral y los municipios de Cali y Candelaria. En general, presenta relieves de forma cóncava y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son pobremente drenados, muy superficiales limitados por el nivel freático, moderadamente ácidos, de fertilidad alta y se encuentran artificialmente drenados. Ver Fotografía 69

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Vertic Endoaquepts, fina, mezclada, no ácida, isohipertérmica (85%) e inclusiones de la familia Fluvaquentic Endoaquepts, fina, no ácida, isohipertérmica (15%). En esta unidad presenta la siguiente fase:

JNar: fase ligeramente plana, drenada artificialmente.



Fotografía 69. Perfil Modal 21 (Suelo Vertic Endoaquepts representativo de la unidad JN), municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

---

#### **5.1.5.2.100. Complejo VQPV-B.**

El complejo VQPV-B se ubica en los municipios Andalucía y Bugalagrande. Las alturas varían entre 1001 y 2000 msnm en clima templado húmedo con temperatura de 18 a 24°C y precipitación de 1000 a 2000 mm anuales.

Geomorfológicamente se ubica en el plano de inundación en el paisaje de valle deposicional, en la forma del terreno de vega cuyas pendientes son ligeramente planas a ligeramente inclinadas (1-7%). Los suelos de la unidad se han desarrollado a partir de depósitos aluviales mixtos; son superficiales a moderadamente profundos, bien drenados, de texturas franco finas y franco gruesas, moderadamente y ligeramente ácidos, de fertilidad moderada y baja, con presencia de inundaciones ocasionales de corta duración.

El complejo está integrado por los suelos Fluventic Eutrudepts, franca gruesa sobre esquelética-arenosa, mezclada, superactiva, isotérmica, en 35% (CVC-102); Typic Udorthents, fragmental, iso- térmica, en 35% (CVC-105), Fluventic Dystrudepts, franca gruesa, superactiva, isotérmica, en 25% (PC-19) e inclusión de los suelos Fluventic Humudepts, franca gruesa, isotérmica, en 5% (JF-248).

Las características diagnósticas a tener en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Fluventic Eutrudepts, franca gruesa sobre esquelética-arenosa, mezclada, superactiva, isotérmica, fueron la disminución irregular de carbono orgánico, la saturación de bases mayor al 60% en todos los horizontes, el epipedón ócrico, el régimen de humedad údico y el régimen de temperatura isotérmico.

El complejo (VQPV-B) presenta la siguiente fase:

VQPV-Ba: ligeramente plana (0-3%)

#### **5.1.5.2.101. Consociación VQTP1-A.**

La consociación VQTP1-A se ubica en los municipios de Andalucía y Bugalagrande. La altura promedio está entre 1000 y 2000 msnm en clima templado húmedo con temperatura media anual de 18 a 24°C y precipitación entre 1000 y 2000 mm anuales.

Geomorfológicamente hace parte del tipo de relieve de terrazas nivel 1 dentro del paisaje de valle, en las formas de terreno de plano de terraza con pendientes ligeramente inclinadas (3-7%). Los suelos de la unidad se han formado a partir de depósitos aluviales

---

recientes finos; son profundos, bien drenados; de texturas finas, ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos y fertilidad natural alta.

La consociación está integrada por los suelos Fluventic Hapludolls, fina, esmectita, superactiva, isotérmica, en 75% (CVC- 308) con inclusión de los suelos Typic Udorthents, franca fina sobre fragmental, isotérmica, en 10% (DQ-401).

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Fluventic Hapludolls, fina, esmectítica, superactiva, isotérmica, fueron régimen de humedad údico, epipedón mólico, alta saturación de bases y decrecimiento irregular de carbono orgánico.

La consociación (VQTP1-A) presenta la siguiente fase:

VQTP1-Ab: ligeramente inclinada (3-7%)

#### **5.1.5.2.102. Consociación VVPV-A.**

La Consociación VVPV-A se ubica en los municipios de Cartago y Zarzal, Las alturas varían entre 0 y 1000 msnm en clima cálido húmedo con temperatura media anual  $>24^{\circ}\text{C}$  y precipitación media entre 2000 y 4000 mm anuales. Geomorfológicamente se ubica en el tipo de relieve plano de inundación del paisaje de Valle, en la forma del terreno de vega con pendientes ligeramente planas (1-3%). Los suelos se han formado a partir de depósitos aluviales moderadamente gruesos; son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente gruesas, neutros a ligeramente alcalinos y de fertilidad alta.

La Consociación está conformada por los suelos: Typic Eutrudepts, franca gruesa, esmectítica, superactiva, isohipertérmica, en 75% (CVC-268), con inclusión de los suelos Typic Fluvaquents, arenosa sobre franca, isohipertérmica, en 15% (BO-338) y Fluventic Dystrudepts, franca fina, isohipertérmica, en 10% (JE-100).

Las características diagnósticas que se tuvieron en cuenta para clasificar los suelos en el subgrupo y familia Typic Eutrudepts, franca gruesa, esmectítica, superactiva, isohipertérmica, fueron régimen de humedad údico, epipedón ócrico y saturación de bases  $>60\%$ .

La Consociación (VVPV-A) presenta la siguiente fase:

VVPV-Aa: ligeramente plana (1-3%)

---

### 5.1.5.2.103. Asociación VP.

Esta unidad se localiza en el plano de las terrazas del Valle del río Cauca en un sector del municipio de Pereira del departamento de Risaralda. En general, presenta relieves de quebrado a ondulado, de lomos amplios y planos y laderas de pendientes fuertes, con erosión moderada por escurrimiento difuso y concentrado. Los suelos se han desarrollado en aluviones arcillosos sobre conglomerados alterados; son bien drenados, muy superficiales limitados por horizontes ricos en arcilla iluvial, moderadamente ácidos, de fertilidad media. Ver Fotografía 70

La unidad cartográfica está integrada por los suelos Ultic Haplustalf fina (50%) y Vertic Argiustolls fina (30%) e inclusiones de la familia Typic Ustorthents (20%). En esta unidad se ha identificado la siguiente fase:

VPe2: fase moderadamente escarpada, erosión moderada.



Fotografía 70. Perfil Modal 31 (Suelo Typic Haplustolls representativo de la unidad VP), municipio de Pereira, vereda Azufral.



#### 5.1.5.2.104. Análisis de resultados y relación con el proyecto

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que en el área de influencia abiótica y desde el punto de vista edafo-geomorfológico se presentan 5 paisajes. El paisaje de Montaña con un área de 420,91 ha, que equivalen al 33,48%; el paisaje de Piedemonte con 448,11 ha, que equivalen al 35,67%; el paisaje de Lomerío con 284,31 ha que equivalen al 22,63%; el paisaje de Valle con 78,41 ha que equivalen al 6,24 % y el paisaje de Planicie con 19,48 ha que equivalen al 1,55%. Los cuerpos de agua suman 1,00 ha que equivalen al 0,08% y las zonas urbanas 2,01 ha que representan el 0,16%.

En el paisaje de Montaña se encuentran 5 tipos de relieve. Las Filas y vigas que poseen 5 unidades de suelos y son 198,49 ha (15,87%), los Espinazos, hogback y flatiron con 8 unidades de suelos y 155,21 ha (12,41%), Lomas con 4 unidades de suelos y 44,60 ha (3,56%), Vallecitos con 2 unidades y 3,37 ha (0,27%), Abanicos terraza con 3 unidades de suelos y 4,09 ha (0,33%) y Valles estrechos con 2 unidades de suelos y 3,72 ha que representan 0,27%.

En el paisaje de Piedemonte se encuentran 7 tipos de relieve; Los Abanicos aluviales recientes con 13 unidades de suelos y 225,38 ha (18,01%), Abanicos coluvio aluviales con 11 unidades de suelos y 135,35 ha (10,82%), Abanicos aluviales subrecientes con 3 unidades de suelos y 30,04 ha (2,40%), Vallecitos con 3 unidades de suelos y 21,01 ha (1,68%), Lomas y colinas con 2 unidades de suelos y 15,20 ha (1,21%), Lomas con 3 unidades y 17,76 ha (1,42%) y Valles estrechos con 2 unidades y 5,97 ha (0,48%).

En el paisaje de Lomerío se encuentran 5 tipos de relieve; las Lomas con 7 unidades cartográficas de suelos y 105,66 ha (8,45%), los Espinazos, hogback, flatiron con 11 unidades cartográficas de suelos y 96,29 ha (7,70%), los Crestones con 9 unidades de suelos y 49,70 ha (3,97%), los Vallecitos con 5 unidades cartográficas de suelos y 20,07 ha (1,60%) y los Valles estrechos con 2 unidades de suelos y 2,19 ha (0,17%).

En el paisaje de Valle se encuentran 3 tipos de relieve; Terraza aluvial con 1 unidad de suelos y 1,38 ha (0,11%), Plano de inundación con 2 unidades de suelos y 3,65 ha (0,29%) y Terraza aluvial nivel 1 con 1 unidad y 1,38 ha (0,11%).

En total se encuentran 103 unidades cartográficas de suelos en el área de influencia abiótica, con respecto al proyecto y la infraestructura asociada (433 torres, 66 plazas de tendido y 2 pórticos), se ha identificado que serán intervenidas 79 unidades cartográficas de suelos, las cuales se citan a continuación: (AR-NM), (CE-NM), (ES-SO), (CK-RC), (ES-PR), (FL-GU), (FL-MN), (GN-GU), (MN-PL), (NM-PR), AD, AM, AR, CQ, ES, FL, GL, GN, GU, JN, JR, LF, LQLL-C, LQLL-D, LQSE-D, LQSR-C, LQSS-A, LQTR-B, LQTS-A,

LRLB-B, LRLB-C, LRSE-E, LRSR-B, LRSR-C, LRSS-A, LRTS-B, LVLL-A, LVSR-B, LVSS-A, LVTR-B, LVTS-A, LWLL-A, LWLL-B, LWSR-B, LWSS-A, LWTR-B, LWTS-A, LWZV-A, MN, MQFL-D, MQFL-E, MQFL-G, MQLL-B, MQLL-D, MQLL-H, MQQP-D, MQSE-I, MQSR-D, MQSR-F, MQSS-A, MQSS-B, MRD, MRQP-A, MRQT-B, MVLL-A, MVSR-B, MVSS-A, NM, PL, PM, PQASP-D, PQASP-F, PQAST-H, PQLL-D, PQLL-E, RL, VJ, VP, ZA. Se destaca que todas las unidades se encuentran caracterizadas por perfiles modales realizados por INGETEC (2020-2021) e IGAC (2004 - 2014), lo que permite la evaluación de las características edáficas. Ver Anexo D3.3 Leyenda de suelos 25K.

### **5.1.5.3. Estado actual de los suelos.**

El suelo es un cuerpo natural no renovable y finito que permanentemente se encuentra sometido a presiones por el uso, en el presente numeral se hace un análisis del estado actual de los mismos en cuanto a características como la erosión actual, el contenido de sales y la posibilidad de degradación, a partir de la información secundaria y primaria recopilada de perfiles de suelos y análisis de laboratorio, realizados por el IGAC, 2004 y 2014 e INGETEC 2020 y 2021 teniendo en cuenta los protocolos de monitoreo y seguimiento referente a erosión, salinización, desertificación y remoción (IDEAM 2015, Minambiente, IGAC).

#### **5.1.5.3.1. Erosión actual.**

La erosión es un proceso natural; sin embargo, esta se califica como degradación cuando se presentan actividades antrópicas no sostenibles que aceleran, intensifican y magnifican el proceso. En general, existen dos tipos de erosión: la hídrica y la eólica. La erosión hídrica es causada por la acción del agua (lluvia, ríos y mares), en las zonas de ladera, cuando el suelo está desnudo (sin cobertura vegetal). En estos casos las gotas de lluvia o el riego, ayudadas por la fuerza gravitacional, arrastran las partículas formando zanjas o cárcavas, e incluso causando movimientos en masa en los cuales se desplaza un gran volumen de suelo. Por otra parte, la erosión eólica es causada por el viento que levanta y transporta las partículas del suelo, produciendo acumulaciones (dunas o médanos) y torbellinos de polvo.

De acuerdo con la información obtenida tanto en los estudios realizados con anterioridad, como en la verificación de campo realizada por INGETEC, en el área de influencia abiótica domina la erosión hídrica; para la evaluación de este proceso que afecta los suelos se tuvo como fuente de información principal el mapa producto de la unión de los

los estudios de suelos IGAC, 2004-2014 a escala 1:25.000, Ver Anexo D 3.3. Leyenda de suelos 25k, tomando elementos importantes para la categorización del Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión, MADS, IDEAM, UDCA, 2015. En la Tabla 2, se presentan los criterios para la identificación de la erosión en suelos.

	
<p>Fotografía 71. Sectores con erosión hídrica en grado ligero, cerca del Perfil Modal 4 (Suelo Typic Humudepts representativo de la unidad LWLL-A), municipio de Bugalagrande, vereda Raiceros.</p>	<p>Fotografía 72. Erosión hídrica en grado moderado, cerca del Perfil Modal 27 (Suelo Typic Dystrudepts encontrado en la unidad MWFL-G), municipio de Tuluá, vereda El Brasil.</p>

Tabla 2. Criterios para la identificación de la erosión en suelos.

<b>Grado de erosión</b>	<b>Característica</b>
Sin erosión	Ninguna de las siguientes
Ligera	Pérdida del horizonte A hasta de un 50%.

Grado de erosión	Característica
Moderada	Se presenta pérdida entre el 50 y 75% del espesor original del horizonte A e incluso en sectores aparece el horizonte B o C.
Severa	La pérdida de suelo se estima en más del 75% de su espesor.
Muy Severa	Pérdida total de los horizontes superficiales y remoción sustancial de los horizontes subsuperficiales (bad lands o tierras malas)

Fuente: IDEAM. (2015).

Como resultado de la evaluación de las 103 unidades de suelos y sus fases cartográficas se encontró que: De las 1256,24 ha del área de influencia abiótica, 1062,55ha (84,58%) corresponden a suelos sin erosión, dichos suelos se encuentran en todos los paisajes (montaña, lomerío, piedemonte, planicie y valle); 186,25 ha (14,82%) son suelos con erosión moderada, los cuales se asocian a los paisajes de montaña, lomerío, piedemonte y valle (terrazas disectadas); por último los suelos con erosión severa y que se presentan en el paisaje de montaña cubren un área de 7,44 ha que representan el 0,59% del área de influencia abiótica. Ver Fotografía 71 y Fotografía 72. El detalle del análisis realizado se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Estado actual de los suelos en cuanto a la erosión

Grado erosión	Unidades de suelos escala 1:25.000	Municipios	Área (ha)	(%)
Severa	MRDf3	Ginebra	7,44	0,59
Moderada	LQSR-Cd2, LQTE-Df2p, LRLL-Be2, LRSR-Be2, pLVLL-Ad2, pLWLL-Be2, LWTR-Be, 2MQFL-Ee2, MQFL-Gf2, MQLL-Hd2, MQSR-Fd2, MQSR-Fe2, MQSR-Ff2, MQSS-Be2, MQSS-Bf2, MQSS-Bg2, PCAST-He2, RCg2, VPe2, ZAd2	Bugalagrande, Cartago, Ginebra, La Victoria, Obando, San Pedro, Tuluá, Zarzal, Pereira	186,25	14,82
Sin erosión	(AR-NM)b, (CE-NM)cp, (CK-RC)a, (ES-PR)b, (ES-SO)a, (FL-GU)a, (FL-MN)a, (GL-PS)ak, (GN-GU)a, (MN-PL)a, (NM-PR)a, (NM-PR)b, ADar, AMa, ARa, CA, CQa, ESa, ESb, FLa, GLar, GNa, GUa, JNar, JRa, LFak, LQLL-Cd, LQLL-Ce, LQLL-Dd, LQLL-De, LQSE-Df, LQSR-Cd, LQSR-Ce, LQSS-Ad, LQSS-Af, LQTE-Df, LQTR-Bd, LQTR-Be, LQTR-Bf, LQTS-Ad, LQTS-Ae, LQVV-Ab, LQZV-Aa, LQZV-Ab, LQZV-Bb, LRLL-Bd, LRLL-Be, LRLL-Ce, LRSE-Ef, LRSE-Eg, LRSR-Be, LRSR-Bf, LRSR-Ce, LRSR-Cf, LRSS-Ae, LRSS-Af, LRTR-Ee, LRTR-Be, LRZV-Aa, LRZV-Ab, LVLL-Ad, LVLL-Ae, LVSR-Be, LVSS-Ae, LVSS-Af, LVTR-Be, LVTR-Bf, LVTS-Aep, LVZV-Aa, LWLL-Ad, LWLL-Ae, LWLL-Bd, LWLL-Be, LWLL-Ce, LWSS-Ae, LWTR-Be, LWTR-Bf, LWTS-Af, LWVV-Ca, LWZV-Aa, LWZV-Ab, MNa, MNb, MQFL-De, MQFL-Dep, MQFL-Ed, MQFL-Ee, MQFL-Eep, MQFL-Ef, MQFL-Ge, MQFL-Gf, MQFL-Gg, MQLL-Bd, MQLL-Dd, MQLL-Hd, MQQP-Dc, MQSE-Ig, MQSP-Hd, MQSR-Df, MQSR-Fd,	Andalucía, Buga, Bugalagrande, Cali, Candelaria, Cartago, El Cerrito, Ginebra, Guacarí, La Victoria, Obando, Palmira, Pradera, San Pedro, Tuluá, Zarzal	1062,55	84,58

Grado erosión	Unidades de suelos escala 1:25.000	Municipios	Área (ha)	(%)
	MQSR-Fe, MQSR-Ff, MQSR-Ffp, MQSS-Ae, MQSS-Aem, MQSS-Be, MQSS-Bf, MQVV-Fb, MQZV-Ba, MQZV-Bb, MQZV-Ca, MQZV-Cb, MRQP-Ab, MRQT-Bd, MRVV-Db, MVLL-Ad, MVSR-Be, MVSS-Ae, MVZV-Abi, NMap, NMb, PLa, PLax, PLb, PMa, PQASP-Da, PQASP-Db, PQASP-Dc, PQASP-Fb, PCAST-Hd, PCAST-He, PQLC-Ab, PQLL-Dd, PQLL-Ddp, PQLL-De, PQLL-Ed, PQVP-Ab, PQVV-Db, PQZV-Ab, PRa, RLa, VJar, VQPV-Ba, VQTP1-Ab, VVPV-Aa, ZU			
<b>Total</b>			<b>1256,24</b>	<b>100,00</b>

Según los datos de la tabla anterior, vemos que en el municipio de Ginebra, departamento del Valle del Cauca, se encuentra la unidad MRDf3, en la cual el suelo posee una erosión severa, en esta unidad se instalarán 3 torres. Mientras que las unidades: LQSR-Cd2, LQTE-Df2p, LRL-Be2, LRSR-Be2, pLVLL-Ad2, pLWLL-Be2, LWTR-Be, 2MQFL-Ee2, MQFL-Gf2, MQLL-Hd2, MQSR-Fd2, MQSR-Fe2, MQSR-Ff2, MQSS-Be2, MQSS-Bf2, MQSS-Bg2, PCAST-He2, RCg2, VPe2, ZAd2, que presentan erosión moderada, se encuentran en los municipios Bugalagrande, Cartago, Ginebra, La Victoria, Obando, San Pedro, Tuluá, Zarzal, del departamento del Valle del Cauca y en el municipio de Pereira, del departamento de Risaralda, en estas unidades se instalarán 64 torres, además del Pórtico Virginia. Las unidades restantes, que se encuentran en la Tabla 3, en la columna sin erosión, están ubicadas en los municipios de Andalucía, Buga, Bugalagrande, Cali, Candelaria, Cartago, El Cerrito, Ginebra, Guacarí, La Victoria, Obando, Palmira, Pradera, San Pedro, Tuluá, y Zarzal del departamento del Valle del Cauca, en estas unidades se instalarán 366 torres y el Portico Alferez.

#### 5.1.1.3.2. Estado actual del suelo en cuanto a la salinización

La salinización es un proceso químico de origen natural o inducido por las actividades antrópicas mediante el cual ocurre el aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el suelo, lo cual tiene implicaciones negativas sobre los servicios y las funciones ecosistémicas y ambientales que ofrecen los suelos. La susceptibilidad de los suelos a la degradación por salinización es la capacidad o predisposición de los suelos a aumentar la concentración de sales solubles tanto por condiciones intrínsecas como por agentes o factores externos como la variabilidad y el cambio climático; biofísicos como los materiales parentales de los suelos, el relieve y las coberturas de la tierra y/o antrópicos como el uso y el manejo. Una consecuencia de la salinización del suelo es la pérdida de fertilidad, lo que perjudica o imposibilita el cultivo agrícola. La salinización se puede frenar o revertir mediante

costosos lavados de los suelos para eliminar las sales, o pasar a cultivar plantas que toleren mejor la salinidad. Por otro lado, en la planificación de los sistemas de riego este es un parámetro que se considera desde el comienzo, pudiendo de esta forma prevenir la salinización, dimensionando adecuadamente las estructuras y estableciendo prácticas de riego adecuadas.

El análisis de la salinización para el área de influencia abiótica se ha realizado a partir del estudio general de suelos del departamento del Valle del Cauca, IGAC 2004 como fuente de información cartográfica y de resultados de análisis de laboratorio, con la complementación de los perfiles de suelos realizados en campo por INGETEC a los cuales se les realizaron análisis fisicoquímicos y de salinidad en el primer metro de espesor o hasta donde llegaba el suelo.

Los parámetros a partir de los cuales se realizó la categorización fueron obtenidos del Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización, IDEAM, Minambiente, IGAC, 2015. Ver Tabla 4

Tabla 4. Criterios para la identificación de suelos afectados por salinización.

Variable	Criterio	Clase
Conductividad eléctrica	Mayor o igual a 2	Salino
Porcentaje de sodio intercambiable	PSI mayor o igual a 7,5 o RAS mayor o igual a 13	Sódico
Porcentaje de magnesio intercambiable	Mayor o igual a 30	Magnésico
Porcentaje de carbonato de calcio intercambiable	Mayor o igual a 2	Calcáreo
Porcentaje de yeso	Mayor o igual a 5	Gypsico
Conductividad eléctrica, pH y sulfatos	pH menor o igual a 6 Sulfatos mayor a 0,05 Azufre mayor a 2	Sulfato ácido
pH si no cumple ningún criterio	pH mayor o igual a 7,4	Alcalino

Fuente: IDEAM. (2015). Minambiente, IGAC.

Los resultados obtenidos a partir de los perfiles analizados son: Los suelos del área de influencia abiótica se encuentran en 4 categorías; suelos sódicos, suelos magnésicos, suelos alcalinos y suelos normales. Ver Fotografía 73 y Fotografía 74.



En la Tabla 5 se pueden observar las unidades de suelos y en el anexo D3.11. Análisis de salinidad se puede identificar el horizonte en el cual se encuentra identificado el parámetro.

	
<p>Fotografía 73. Callejón de caña, cerca del perfil 11, en el cual se observan pequeñas costras salinas en superficie (suelos con alto contenido de magnesio). Municipio de Candelaria, vereda La Regina.</p>	<p>Fotografía 74. Horizonte B magnésico (sales en puntos salinos, 36,73% de porcentaje de saturación de magnesio), perfil 19. Municipio de Andalucía, vereda Pardo</p>

Tabla 5. Estado actual de la salinidad de los suelos por unidad cartográfica

Clasificación	Unidad de suelos
Horizontes Alcalinos	(FL_GU); (CK-RC); FL; GU; MN
Horizontes Magnésicos	(ES-PR); (CK-RC); (FL_GU); (FL-MN); (NM-PR); AD; AM; AR-NM; ES; FL; GL; GL-PS; GU; JN; JR; LWA; LWB; LWC; LWD; MQA; MQK; MQL; MRA; MRD; MWE; NM; PL; PM; PRA.; PWA; PWB; PWC; RC; VJ; VP; ZA
Horizontes Normales	(FL_GU); (CK-RC); (FL-MN); CQ; GL; GL-PS; JR; LWC; LWD; MN; MQA; MQD; MQK; MRA; MRB; MWE; PRA.; PWB; RC; RL; VP; ZA, RL, AR, (CE-NM); CQ

Clasificación	Unidad de suelos
Horizontes Sódicos	LWD; (FL-MN); PM

Para el análisis de la relación de la salinidad con la infraestructura del proyecto, solo se tuvo en cuenta el primer horizonte de los perfiles tomados en campo; en las unidades cartográficas que tienen horizontes alcalinos se instalarán 2 torres, en las unidades cartográficas que tienen horizontes magnésicos se instalarán 273 torres y el pórtico Alférez y en las unidades cartográficas que tienen los horizontes normales se instalarán 158 torres y el pórtico Virginia.

### 5.1.5.3.3. Estado actual de los suelos y el riesgo de desertificación

La degradación de los suelos hace referencia a la disminución de la producción, de su calidad y de su capacidad para cumplir con las funciones y servicios ecosistémicos, por lo tanto, el diagnóstico de este proceso, de sus causas y sus consecuencias, es de vital importancia para la toma de decisiones en lo referente a la gestión sostenible de los suelos a nivel nacional e internacional. Para el desarrollo de este numeral se ha utilizado como fuente de información de referencia El Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación, IGAC, IDEAM, MAVDT 2010, La identificación de la desertificación potencial en la zona hidrográfica de Sogamoso-Colombia. Salamanca, 2015, La relación entre el proceso de desertificación de la cuenca media del río Chicamocha y los instrumentos de desarrollo territorial. Caso municipios de Boavita y La Uvita, Boyacá. Gantiva, 2018, El estudio de la degradación de suelos por desertificación en la jurisdicción de la CAR, Gomez, 2019 y El Estudio general de suelos del departamento de Valle del Cauca, IGAC, 2004.

En la Tabla 6 se encuentran los criterios seleccionados para la categorización de los suelos con respecto al riesgo de desertificación.

Tabla 6. Variables y criterios de ponderación para la categorización de la desertificación.

Variable	Valor	Categoría
Climas áridos	4	Muy alto
Climas semiáridos	3	Alto
Climas secos	2	Medio
Climas semihúmedos	1	Baja

Variable	Valor	Categoría
Climas húmedos	0	No objeto de estudio
Ecosistemas y vegetación típica de climas áridos	4	Muy alto
Ecosistemas y vegetación típica de climas semiáridos	3	Alto
Ecosistemas y vegetación típica de climas semihúmedos	0	No objeto de estudio
Suelos con régimen de humedad ustico	3	Alto
Suelos con régimen de humedad údico	0	No objeto de estudio
Erosión muy severa	4	Muy alta
Erosión severa	3	Alta
Erosión Moderada	2	Moderada
Erosión ligera	1	Baja
Sin evidencia	0	No desertificación
Salinización muy severa	4	Muy alta
Salinización severa	3	Alta
Salinización Moderada	2	Moderada
Salinización ligera	1	Baja
Sin evidencia	0	No desertificación

Fuente: Gomez. (2019).

Del Estudio de la degradación de suelos por desertificación en la jurisdicción de la CAR, Gomez, 2019, se realizó la extracción de los criterios para la evaluación, se pudo concluir que gran parte del área de influencia abiótica no presenta riesgo de desertificación, estos resultados se pueden observar en la a Tabla 7 en la cual se depuran los criterios que aplican en el área de influencia abiótica.

Tabla 7. Categorización de criterios en el área de influencia abiótica

	<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Categoría</b>
Clima	Templado húmedo	0	Áreas no objeto de estudio
	Cálido húmedo		
	Templado seco	2	Medio
	Cálido seco		
Ecosistemas y/o vegetación	Típicos de climas semihúmedos	0	Áreas no objeto de estudio
Régimen de humedad de los suelos	Udico	0	Áreas no objeto de estudio
	Ustico	3	Alto
Erosión	No hay	0	No desertificación
	Ligera	1	Baja
	Moderada	2	Moderada
	Severa	3	Alta
Salinización	No hay evidencia	0	No desertificación
	Ligera	1	Baja
	Moderada	2	Moderada
	Severa	3	Alta

Fuente: INGETEC, a partir de Gomez. (2019).

A partir de una análisis global, se encontró que 290,12 ha equivalentes al 23,09% del área presentan un riesgo alto por erosión, que 122,05 ha correspondientes al 9,72 % del área de estudio presentan un riesgo bajo, que 427,37 ha correspondientes al 34,02% del área, presentan un riesgo moderado y que 416,70 ha correspondientes al 33,17% del área, no presentan riesgo por erosión. (ver Tabla 8 y Figura 1).

Tabla 8. Riesgo por Erosión.

Erosión	Área	%
Alta	290,12	23,09
Baja	122,05	9,72
Moderada	427,37	34,02
No hay	416,70	33,17
<b>Total</b>	<b>1256,24</b>	<b>100,00</b>

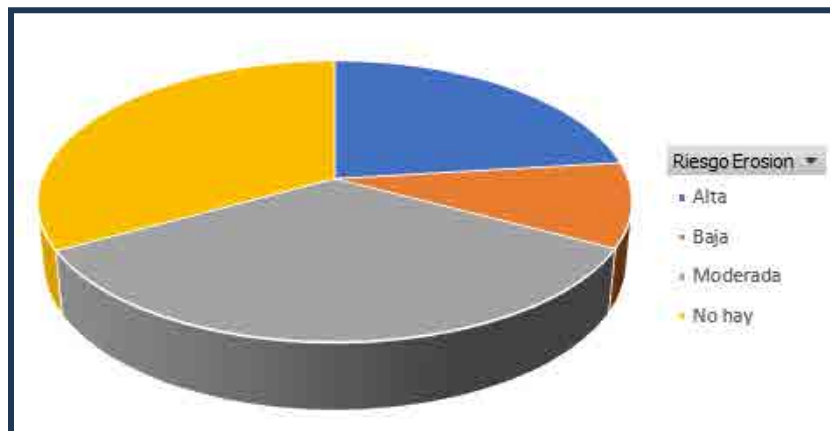


Figura 1. Distribución del riesgo por erosión

En la siguiente tabla y figura, se encuentra el riesgo por salinización de los suelos, la mayor parte de las unidades, correspondientes al 92,70% que equivalen a 1164,54 ha es bajo, en el 2,90% equivalente a 36,49 ha es moderada y que el 4,39% equivalentes a 55,21 ha no hay riesgo.

Tabla 9. Riesgo por salinización.

Salinización	Área	%
Baja	1164,54	92,70
Moderada	36,49	2,90
No hay	55,21	4,39
<b>Total</b>	<b>1256,24</b>	<b>100</b>

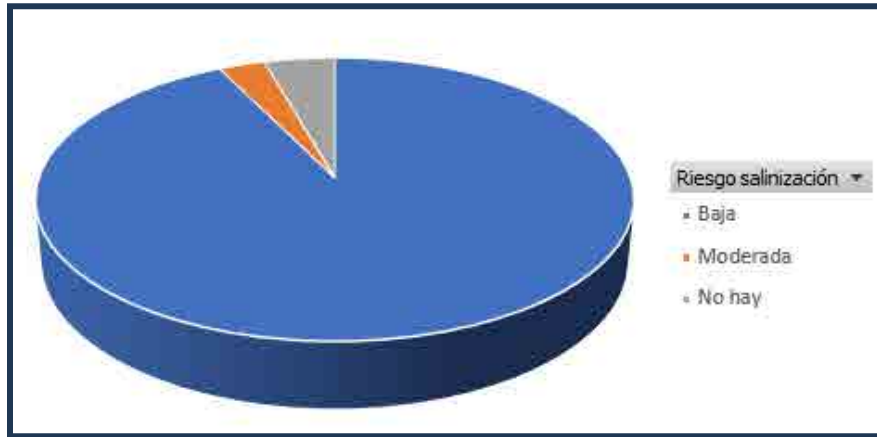


Figura 2. Distribución del riesgo por Salinización

En la siguiente tabla y figura, se encuentra el riesgo por clima del suelo, en donde 976,53 ha correspondientes al 77,73% poseen un riesgo medio y en 279,71 ha correspondientes al 22,27% del área, no hay riesgo.

Tabla 10. Riesgo por clima.

Clima	Área	%
Medio	976,53	77,73
No hay	279,71	22,27
<b>Total</b>	<b>1256,24</b>	<b>100</b>

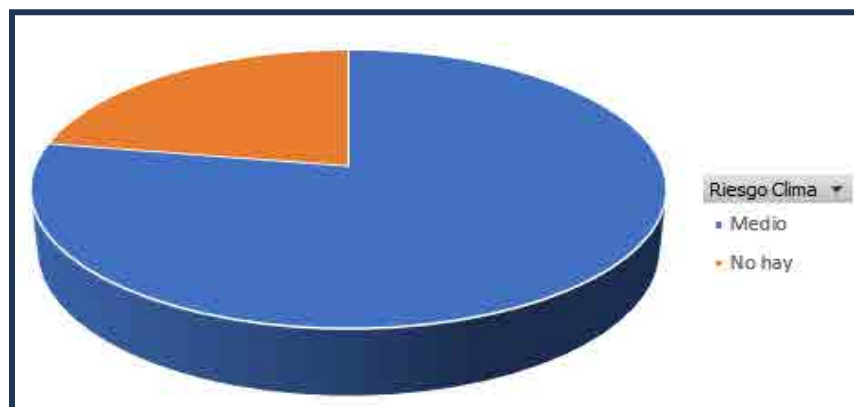


Figura 3. Distribución del riesgo por clima



Por último, en la siguiente tabla y figura, se encuentra el riesgo por régimen de humedad del suelo, en donde 981,89 ha, correspondientes al 78,16% poseen un riesgo alto y que en 274,35 ha, correspondientes al 21,84% del área, no hay riesgo.

Tabla 11. Riesgo por el régimen de humedad.

Régimen de humedad	Área	%
Alto	981,89	78,16
No hay	274,35	21,84
<b>Total</b>	<b>1256,24</b>	<b>100</b>

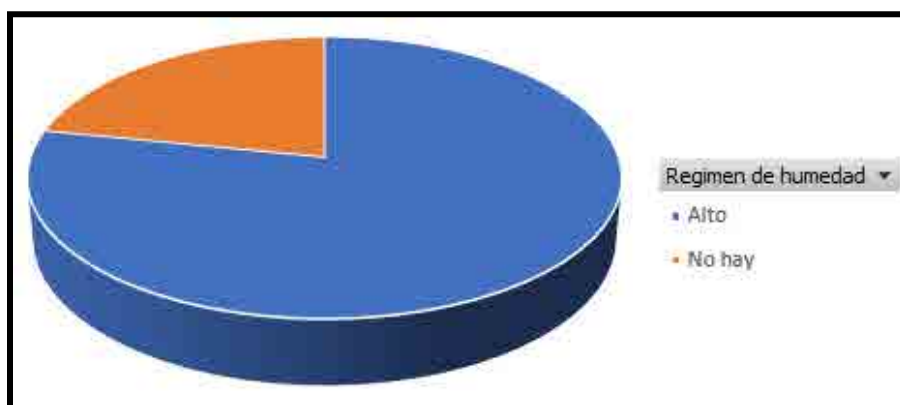


Figura 4. Distribución del riesgo por régimen de humedad

El detalle de la información se encuentra en el “Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Valle del Cauca, escala 1.100.000” realizado por el IGAC y publicado en el año 2014. En el anexo D 3.12. Riesgo de desertificación, se encuentra esta información.

#### 5.1.5.4. Análisis de los servicios ecosistémicos del suelo

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales, entre ellos y a manera de ejemplo, el relacionado con su participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo, etc., que continuamente y por efecto de la energía disponible, pasan de los sistemas vivos a los componentes no vivos del planeta. No obstante, lo más conocido, es que el suelo es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad mundial.

---

Puede afirmarse, además, que el suelo influye considerablemente sobre el medio en el que se ubica y repercute en las actividades sociales y económicas de los grupos humanos que se asientan en ese territorio, grupos que ejercen diferente grado de presión sobre el suelo y que generan así afectación o deterioro de éste. Los suelos, como parte de los ecosistemas y de los agroecosistemas, prestan importantes funciones o servicios que mantienen a estos y que apoyan las actividades sociales y económicas de las personas.

En opinión de varios autores (Cram et al., 2008; Silva y Correa, 2009; Burbano, 2012, Burbano, 2013b y Gardi et al., 2014), las siguientes son tareas que cumple el suelo en este contexto: Producción de alimentos y biomasa, escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos, almacenamiento o fijación de carbono, almacenamiento y filtración de agua, depósito del patrimonio geológico y arqueológico entre muchas más.

A continuación, se realiza un análisis de los servicios ecosistémicos del suelo relacionados con la capacidad de provisión de alimentos y fibras, la capacidad de regulación y fijación de carbono y como medio de soporte de las actividades humanas dentro del área de influencia abiótica del proyecto.

#### **5.1.5.4.1. Capacidad de provisión de alimentos y fibras**

Tal vez, la más evidente de las funciones del suelo es el soporte y suministro de nutrientes para las plantas a fin de producir alimentos y fibras en general. Del suelo depende en forma directa o indirecta más del 95% de la producción mundial de alimentos, sin embargo la degradación del suelo es un problema mayor que amenaza la producción de alimentos en el planeta. Es por esto por lo que el servicio ecosistémico de provisión de alimentos y fibras se ha correlacionado con la Metodología de capacidad de uso de las tierras, IGAC, 2014, a partir de la cartografía integrada a escala 1:25.000 para lo cual se ha categorizado así:

- ***Muy alta capacidad de provisión de alimentos y fibras:*** Tierras que son aptas para una amplia diversidad de cultivos adaptados a las condiciones ecológicas, así como para ganadería intensiva con pastos de corte ya que sus principales características son; pendientes inferiores al 7%, no hay erosión, no hay remoción en masa, poseen profundidad efectiva superior a 75 cm, menos de 3% de volumen de rocas en el perfil, fertilidad de media a muy alta y saturación de aluminio menor al 30%, estas tierras correlacionan con las clases agrológicas 1 y 2, y cubren un área de 154,86 ha que equivalen al 12,32% del área de influencia abiótica.

- **Alta capacidad de provisión de alimentos y fibras:** Estas tierras se pueden utilizar en agricultura con prácticas moderadas a intensas de conservación y ganadería intensiva con pastos de alto rendimiento ya que sus principales características son; pendientes entre 7 y 12%, con erosión ligera, movimientos en masa inferiores al 5%, profundidad efectiva entre 50 y 75 cm, entre 3 y 15% de volumen de rocas en el perfil, fertilidad de baja a muy alta y saturación de aluminio entre 30 y 60%, correlacionan con la clase agrológica 3 y cubren un área de 162,78 ha que equivalen al 12,98% del área de influencia abiótica.
- **Media capacidad de provisión de alimentos y fibras:** Estas tierras se pueden utilizar preferiblemente en ganadería con pastos de buenos rendimientos y con un manejo técnico de los potreros. La agroforestería es una buena opción en los sectores de pendientes más pronunciadas, áreas erosionadas y susceptibles al deterioro, esto debido a características solas o combinadas que son; pendientes entre 12 y 25%, erosión moderada, movimientos en masa entre el 5 y 25%, profundidad efectiva entre 25 y 50 cm, entre 15 y 35% de volumen de rocas en el perfil, fertilidad de baja a muy alta y saturación de aluminio entre 60 y 90%, correlacionan con la clase agrológica 4 y cubren un área de 215,24 ha que equivalen al 17,11%.
- **Baja capacidad de provisión de alimentos y fibras:** En esta unidad la ganadería extensiva es un uso alternativo si se lleva a efecto evitando el sobrepastoreo y con buen manejo de los potreros. La agricultura deberá desarrollarse bajo sistemas de manejo que incluyan prácticas de conservación de suelos tanto culturales como mecánicas, debido a características solas o combinadas que pueden ser; pendientes entre 25 y 50%, erosión moderada, movimientos en masa entre el 25 y 50%, profundidad efectiva menor a 25 cm, entre 35 y 60% de volumen de rocas en el perfil, fertilidad de baja a muy alta y saturación de aluminio mayor a 90%. Correlaciona con la clase agrológica 6 y cubre un área de 432,89 ha que equivalen al 34,46%.
- **Muy Baja capacidad de provisión de alimentos y fibras:** Correlaciona con los suelos de la clase agrológica 5, estas tierras en estado natural se limitan a agricultura y ganadería estacional escasamente tecnificada, agroforestería, conservación y preservación de los recursos naturales y ecoturismo, esto asociado principalmente a la presencia de inundaciones muy frecuentes que ponen en riesgo cualquier actividad productiva. Cubre un área de 0,50 ha que equivale al 0,04% del área de influencia abiótica.
- **Sin capacidad de provisión de alimentos y fibras:** Correlaciona con los suelos de las clases agrológicas 7 y 8, los cuales por características como pendientes

superiores al 50%, erosión severa, movimientos en masa superiores al 50% y más de 60% de volumen de rocas en el perfil solo deben ser utilizados en usos forestales protectores y conservación. Cubre un área de 267,5 ha que equivale al 21,32%. Ver Tabla 12.

Tabla 12. Servicio de provisión de alimentos y fibras en el área de influencia abiótica.

Servicio provisión	Unidades de suelos	Ha	%
Muy Alta	(MN-PL)a, AMa, CQa, MNa, MNb, PLa, PLax, PLb, PMa, RLa	154,86	12,32
Alta	(CK-RC)a, (ES-PR)b, (ES-SO)a, ADar, ARa, ESa, ESb, GLar, GUa, JRa, LQVV-Ab, LQZV-Aa, LQZV-Ab, LQZV-Bb, LVZV-Aa, LWVV-Ca, LWZV-Aa, LWZV-Ab, VJar, VVPV-Aa	162,78	12,98
Media	(AR-NM)b, (FL-GU)a, (FL-MN)a, (NM-PR)a, (NM-PR)b, FLa, JNar, LQLL-Cd, LQLL-Dd, LQSR-Cd, LQSR-Cd2, LQTR-Bd, LRLL-Bd, LRZV-Ab, LWLL-Ad, LWLL-Bd, MQLL-Bd, MQLL-Dd, MQLL-Hd, MQLL-Hd2, MQSP-Hd, MQSR-Fd, MQSR-Fd2, MRQP-Ab, MVLL-Ad, NMap, NMb, PQASP-Fb, PCAST-Hd, PQLL-Dd, PQVP-Ab, PQVV-Db, PRa, VQTP1-Ab, ZAd2	215,24	17,11
Baja	(CE-NM)cp, (GL-PS)ak, LQLL-Ce, LQLL-De, LQSR-Ce, LQSS-Ad, LQTR-Be, LRLL-Be, LRLL-Be2, LRLL-Ce, LRSR-Be, LRSR-Be2p, LRSR-Ce, LRSS-Ae, LRTR-Ee, LRTR-Be, LRZV-Aa, LVLL-Ad, LVLL-Ad2p, LVLL-Ae, LVSR-Be, LVSS-Ae, LVTR-Be, LVTS-Aep, LWLL-Ae, LWLL-Be, LWLL-Be2, LWSR-Be, LWSS-Ae, LWTR-Be, LWTR-Be2, MQFL-De, MQFL-Dep, MQFL-Ed, MQFL-Ee2, MQFL-Eep, MQFL-Ge, MQSR-Fe, MQSR-Fe2, MQSS-Ae, MQSS-Aem, MQSS-Be, MQSS-Be2, MQVV-Fb, MVSR-Be, MVSS-Ae, PQASP-Da, PQASP-Db, PQASP-Dc, PCAST-He, PCAST-He2, PQLL-Ddp, PQLL-De, PQLL-Ed, VPe2	432,89	34,46
Muy Baja	MVZV-Abi	0,50	0,04
No tiene	(GN-GU)a, GNa, LQSE-Df, LQSS-Af, LQTE-Df, LQTE-Df2p, LQTR-Bf, LQTS-Ad, LQTS-Ae, LRSE-Ef, LRSE-Eg, LRSR-Bf, LRSR-Cf, LRSS-Af, LVSS-Af, LVTR-Bf, LWTR-Bf, LWTS-Af, MQFL-Ee, MQFL-Ef, MQFL-Gf, MQFL-Gf2, MQFL-Gg, MQQP-Dc, MQSE-Ig, MQSR-Df, MQSR-Ff, MQSR-Ff2, MQSR-Ffp, MQSS-Bf, MQSS-Bf2, MQSS-Bg2, MQZV-Ba, MQZV-Bb, MQZV-Ca, MQZV-Cb, MRDf3, MRQT-Bd, MRVV-Db, PQLC-Ab, PQZV-Ab, RCg2, VQPV-Ba	267,5	21,32
<b>Cuerpos de agua</b>		<b>1</b>	<b>0,08</b>
<b>Zonas Urbanas</b>		<b>2,01</b>	<b>0,16</b>
<b>Total</b>		<b>1256,24</b>	<b>100</b>

#### 5.1.5.4.2. Servicio ecosistémico de regulación y fijación de carbono

Se calcula que para el año 2050 la población mundial será de 9000 millones de personas y el mundo tendrá que producir aproximadamente 60% más alimentos, a la vez que 1800 millones de personas vivirán en áreas con escasez de agua. Si bien la producción mundial de alimentos está aumentando, la tierra de la que depende la agricultura se está degradando a una velocidad alarmante, poniendo en peligro el futuro del progreso. Las tierras degradadas producen menos alimentos y almacenan menos agua y carbono, lo que hace más grave la inseguridad alimentaria e hídrica, y contribuye al cambio climático<sup>1</sup>.

La biodiversidad y el carbono orgánico en los suelos son indispensables para el funcionamiento de los ecosistemas, y determinan en gran medida el papel de la tierra en la producción de alimentos, el almacenamiento de agua, y la mitigación del cambio climático. Se calcula que entre un cuarto y un tercio de toda la tierra disponible en el mundo está degradada, lo que genera una disminución de la producción agrícola, interrupción del ciclo del agua, y liberación de gases de invernadero<sup>2</sup>.

Para presentar un análisis del servicio ecosistémico asociado al carbono en los suelos del área de influencia abiótica, se ha evaluado la cantidad de carbono orgánico almacenado en los primeros 50 cm, a partir de los perfiles realizados por INGETEC entre 2020 y 2021, ver Anexo D 3.2. Resultados de análisis de laboratorio.

El análisis tiene representación espacial en las unidades a nivel general. Por temas prácticos se han generado 3 categorías del contenido de carbono orgánico en los suelos así: suelos con carbono orgánico (%) <1, suelos con carbono orgánico (%) entre 1 y 2 y suelos con carbono orgánico (%) >2. Ver Anexo D3.7. Carbono orgánico por unidad de suelos 100K. Como resultado del análisis realizado se puede afirmar que:

Las unidades cartográficas de suelos con carbono orgánico menor a 1% son : (FL-GU); (FL-MN); AD; CQ; ES; GN; GU; JN; LWA; MN; MQL; MRD; MWE; PM; PWA; ZA, cubren un área de 484,47 ha que equivalen al 38,72%.

Las unidades cartográficas de suelos con carbono orgánico entre 1 y 2% son : (CK-RC); (ES-PR); (ES-SO); (NM-PR); AR; (CE-NM); FL; GL; LWB; LWD; MQA; MQK; MRA; MRB; NM; PL; PWB; RL; VJ; VP, cubren un área de 693,08 ha que equivalen al 55,40%. Ver Fotografía 70.

---

<sup>1</sup> Peter Laban, Graciela Metternicht, y Jonathan Davies, 2018. Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas. Gland, Suiza: UICN. viii + 24p

<sup>2</sup> Idem.

Las unidades cartográficas de suelos con carbono orgánico mayor de 2% son : AM; JR; MQD, cubren un área de 25,80 ha que equivalen al 2,06%. Ver Fotografía 69.

El detalle del carbono orgánico almacenado por horizonte y por unidad de suelos en los primeros 50 cm, se presenta en el anexo D 3.7 Carbono orgánico por unidad de suelos 100K.



Fotografía 75. Horizonte A del Perfil Modal 11-Suelo Typic Haplustolls encontrado en la unidad JR, con 2,08% de carbono almacenado, municipio de Candelaria, vereda La Regina



Fotografía 76. Horizonte A del Perfil Modal 35, Suelo Fluventic Haplustepts representativo de la unidad CK-RC, con 1,55% de carbono almacenado, municipio de Candelaria, vereda El Estero.



#### 5.1.5.4.3. Servicio ecosistémico de soporte de las actividades humanas

Sobre el suelo se realizan actividades agropecuarias, industriales, se desarrollan zonas residenciales y de infraestructura turística, se construyen carreteras, obras civiles y también se incorporan zonas como fuente de materiales para procesos productivos. El suelo como soporte de las actuaciones humanas en el área de influencia abiótica ha sido categorizado así:

- **Soporte para actividades ganaderas:** Está representado por terrenos en los cuales la actividad fundamental fuente de ingresos a partir de la tierra es la crianza de ganado, el cual se desarrolla con diferentes niveles de tecnificación e intensidad, dentro de los que se encuentra el pastoreo intensivo con potreros limpios, pocos árboles, frecuente rotación de potreros y fertilización de las tierras a fin de incentivar el desarrollo del pasto, los usos semiintensivos que generalmente poseen mayor cobertura de árboles y en los cuales el manejo tecnológico es menor y los usos extensivos donde los pastos presentan porcentaje importante de malezas, que disminuyen la rentabilidad de la actividad, se concentra en suelos principalmente de montaña (20,18%) y lomerío (15,21%). En total cubre 577,03 ha que equivalen al 45,93% del área de influencia abiótica. Ver Fotografía 71.



Fotografía 77. En primer plano suelos de lomerío que prestan el servicio ecosistémico de soporte a actividades ganaderas, al fondo y en ese mismo paisaje suelos que soportan bosques densos asociados a cuerpos de agua, municipio de Bugalagrande, vereda Raicerros.

- 
- **Soporte para actividades forestales:** Representado principalmente por suelos de montaña en los cuales la cobertura vegetal es mucho más abundante y heterogénea y donde dominan las especies arbóreas o la vegetación secundaria que normalmente no son aprovechadas para otros usos aparte de la revegetalización. Cubre un área de 125,16 ha que equivale al 9,96%.
  - **Soporte para actividades agrícolas:** Está representado principalmente por suelos del paisaje de piedemonte (28,75%), que actualmente son utilizados para la producción de alimentos dentro de los que se encuentran cultivos como la Caña, el Maíz y otros cultivos transitorios. En este tipo de utilización hay desde manejo intensivo de monocultivo con maquinaria agrícola especializada, hasta el uso semiintensivo, en el cual se presentan periodos de descanso del suelo, rotación del cultivo y realización de actividades mecanizadas combinadas con actividades manuales. En total cubre un área de 391,02 ha que equivalen al 31,12%.
  - **Soporte para la conservación y recuperación:** Contempla suelos en los paisajes de Montaña, (6,33%), lomerío (2,86%) y piedemonte (1,41%) en los cuales es frecuente encontrar vegetación boscosa como bosques de galería o bosques densos, los cuales normalmente se asocia a zonas de importancia ambiental como protección de fuentes de agua o áreas de difícil manejo ya sea por las pendientes o el acceso. Cubre un área de 146,83 ha que equivalen al 11,69%. Ver Fotografía 73.
  - **Soporte para actividades agroforestales:** Se concentra principalmente en suelos de montaña (0,25%) y corresponde a terrenos en los cuales se encuentran asociados sistemas productivos basados en la producción ganadera, siembra de pequeñas parcelas y parches de vegetación natural (agrosilvopastoril) se asocia a predios pequeños con topografía variada donde generalmente los mejores terrenos son cultivados, potreros de mayor pendiente sirven de áreas de pastoreo y la vegetación natural se presenta en zonas de pendiente fuerte o protegiendo fuentes hídricas. Cubre un área de 4,38 ha que equivalen al 0,35% del área de influencia abiótica. Ver Fotografía 72
  - **Soporte para el desarrollo de infraestructura:** Se concentra principalmente en los suelos de piedemonte (0,27%), en los cuales se han desarrollado zonas industriales, canales de conducción de agua, cuerpos de agua artificiales y sistemas viales, en su mayoría asociados a las actividades agrícolas. Cubre un área de 7,44 ha que equivalen al 0,59% del área de influencia abiótica.



Fotografía 78. Suelo con soporte para actividades agroforestales, en el que se observa en primer plano pastos y al fondo bosques que protegen cuerpos de agua y cultivos de plátano, municipio de Ginebra, vereda La Selva.



Fotografía 79. En primer plano suelo de montaña que prestan el servicio ecosistémico de soporte a actividades ganaderas, al fondo en el paisaje de piedemonte suelos que soportan el desarrollo de infraestructura, zonas urbanas y agricultura, municipio de Ginebra, vereda La Selva.

- **Soporte para la extracción de materiales de construcción:** Se asocia principalmente a suelos del paisaje del valle (0,13%), principalmente las vegas con muy poco desarrollo pedogenético y en las cuales abundan las arenas, las cuales

---

son utilizadas como fuente de materiales de construcción. Cubre un área de 1,75 ha que equivale al 0,14% del área de influencia abiótica.

- **Soporte para el desarrollo de asentamientos:** Asociado al paisaje de Piedemonte (0,02%), son terrenos en los cuales el suelo ha sido sepultado o removido parcial o totalmente por construcciones. Cubre un área de 0,13 ha que equivale al 0,01% del área de influencia abiótica.

#### 5.1.5.5. Clasificación agrológica y uso potencial.

Después de reconocer los suelos de un área de estudio determinada y su patrón de distribución en la dimensión espacial, el objetivo más importante de los levantamientos agrológicos es la definición de su capacidad de uso y las prácticas de manejo, de tal manera que el desarrollo agrícola, ganadero y forestal, así como las acciones encaminadas a la conservación, preservación y/o restauración del medio natural, se ejecuten de acuerdo con la vocación de las tierras y a los requerimientos de protección cuando son vulnerables ante la acción de los factores ambientales y la actividad del hombre (IGAC, 2014).

De acuerdo con lo presentado en la Metodología del presente Estudio de Impacto Ambiental, y según las normas adoptadas por el IGAC del Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso, la clasificación agrológica se define con base a la capacidad de uso de las tierras, considerando sus limitaciones, riesgos de daños y formas, de cómo responden al uso y manejo de las mismas. Según este sistema, existen 8 categorías y se designan con números arábigos de 1 a 8, y está estructurado de forma tal que a medida que se incrementa la clase por capacidad agrológica disminuye la gama de cultivos a escoger, se incrementan las prácticas de manejo y aumenta significativamente la necesidad de proteger el recurso.

El sistema de clasificación es multi categórico: en el nivel más alto de abstracción está entonces la clase, en el nivel intermedio la subclase y en el nivel inferior de la pirámide, el grupo de manejo. De acuerdo con las limitaciones, se obtienen luego las subclases de capacidad, que son categorías del sistema de clasificación por capacidad de uso, que especifican en las clases 1 a la 8, uno o más factores limitantes generales y específicos para las unidades de suelos. En términos generales se conocen limitaciones por pendiente (p), erosión (e), humedad en exceso (h), suelo (s) y clima (c). Cuando se presenta más de una se incluyen en el símbolo cartográfico en el orden en el que se mencionaron previamente, agregando a la correspondiente clase, una o más de dichas letras minúsculas respectivamente. Los grupos de manejo se definen con base en las

limitaciones específicas como la temperatura, la distribución de las lluvias y las características particulares de los suelos, conllevando a que en una misma subclase se puedan establecer uno, dos o más grupos (IGAC, 2014).

Para el presente estudio, la clasificación de las tierras por su capacidad de uso se refiere entonces al potencial que tienen las tierras para ser utilizadas bajo cierto tipo general de uso con prácticas de manejo específicas (IGAC - CORPOICA, 2002); se determina con la agrupación de las unidades cartográficas de suelos - UCS, según las clases agrológicas establecidas y teniendo en cuenta los limitantes de uso establecidos. Así, mediante la interpretación de las características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de los suelos y la evaluación de características externas como relieve, pendientes, erosión, inundaciones, pedregosidad y clima, se constituyen los criterios para cada unidad de tierras por su capacidad de uso.

En la Tabla 13 se puede observar la descripción de cada una de las clases, subclases y grupos de manejo identificados en el área de influencia abiótica y de forma más detallada en el Anexo D 3.5. Capacidad de uso de las tierras, las principales características que las llevaron a esta clasificación, el uso potencial y las prácticas de manejo recomendadas.

Para el área de influencia abiótica, se identificaron suelos de las clases 2 (Fotografía 74 y Fotografía 75,), 3 (Fotografía 76 y Fotografía 77), 4 (Fotografía 78 y Fotografía 79), 5 (Fotografía 80 y Fotografía 81), 6 (Fotografía 82 y Fotografía 83), 7 (Fotografía 84 y Fotografía 85) y 8 (Fotografía 86 y Fotografía 87). En la Tabla 13 se relaciona cada unidad de suelo con la clasificación agrológica final definida, así como el uso potencial que se determinó según dichas clasificaciones. Ver Anexo D 3.15. Mapa de capacidad de uso de las tierras.

Tabla 13. Capacidad de uso de las tierras en el área de influencia abiótica.

Unidad	Unidad cartográfica de suelos y fase	Uso Potencial	Área	%
2c1	(MN-PL)a, CQa, MNa, MNb, PLa, PLax, PLb, PMa	Cultivos transitorios intensivos, permanentes intensivos, ganadería intensiva	137,55	10,94
2sc1	AMa, RLa	Cultivos transitorios intensivos, permanentes intensivos, ganadería intensiva	17,31	1,38
3c	LWZV-Aa, LWZV-Ab	Cultivos transitorios intensivos, permanentes intensivos, ganadería intensiva	9,99	0,79
3h1	(CK-RC)a, GUa, JRa	Cultivos transitorios intensivos, permanentes intensivos, ganadería intensiva	28,84	2,30
3hs1	GLar, VJar	Cultivos transitorios intensivos, permanentes intensivos, ganadería intensiva	41,19	3,28
3hsc	LWV-V-Ca	Cultivos transitorios intensivos, permanentes intensivos, ganadería intensiva	1,65	0,13

Unidad	Unidad cartográfica de suelos y fase	Uso Potencial	Área	%
3s	LQVV-Ab, LQZV-Aa, LQZV-Ab, LQZV-Bb, LVZV-Aa, VVPV-Aa	Cultivos transitorios intensivos, permanentes intensivos, ganadería intensiva	1,18	0,095
3s1	(ES-PR)b, (ES-SO)a, ESa, ESb	Cultivos transitorios intensivos, permanentes intensivos, ganadería intensiva	64,21	5,12
3s3	ADar, ARb	Cultivos transitorios intensivos, permanentes intensivos, ganadería intensiva	10,37	0,62
4hs1	JNar	Cultivos permanentes intensivos como caña de azúcar o cultivos de arroz o ganadería semiintensiva	12,62	1,00
4p1	LQLL-Cd, LQLL-Dd, LQSR-Cd, MQLL-Bd, MQLL-Hd, MQSP-Hd, MVLL-Ad, PCAST-Hd	Cultivos permanentes intensivos o permanentes semi intensivos	38,85	3,09
4pe	LQSR-Cd2, MQLL-Hd2	Cultivos permanentes semi intensivos o transitorios semiintensivos teniendo en cuenta prácticas de manejo	9,69	0,77
4pes	LRLl-Bd, LWLL-Ad, LWLL-Bd, MQLL-Dd, MQSR-Fd, MQSR-Fd2, PQLL-Dd	Cultivos permanentes semi intensivos o transitorios semiintensivos teniendo en cuenta prácticas de manejo	48,95	3,89
4pes-1	ZAd2	Cultivos permanentes semi intensivos o transitorios semiintensivos teniendo en cuenta prácticas de manejo	13,25	1,05
4ps	LQTR-Bd	Ganadería extensiva con pastos introducidos, algunos cultivos densos y sistemas agroforestales	10,35	0,82
4s	LRZV-Ab, MRQP-Ab, PQASP-Fb, PQVP-Ab, PQVV-Db, VQTP1-Ab	Ganadería semi intensiva con pastos introducidos y algunos cultivos transitorios y permanentes	23,22	1,85
4s1	(FL-GU)a, (FL-MN)a, FLa	Ganadería semi intensiva con pastos introducidos y algunos cultivos transitorios y permanentes	14,96	1,19
4s3	(AR-NM)b, (NM-PR)b, NMb	Ganadería semi intensiva con pastos introducidos y algunos cultivos transitorios y permanentes	20,79	1,66
4s4	(AR-NM)bp, NMap	Ganadería semi intensiva con pastos introducidos y algunos cultivos transitorios y permanentes	14,93	1,18
4s5	PRa	Ganadería semi intensiva con pastos introducidos y algunos cultivos transitorios y permanentes	1,94	0,15
5hs	MVZV-Abi	Ganadería extensiva	4,62	0,37
5s1	LFak	Ganadería extensiva	5,64	0,45
6ec	VPe2	Ganadería extensiva con pastos introducidos y algunos cultivos transitorios y permanentes	78,39	6,24



Unidad	Unidad cartográfica de suelos y fase	Uso Potencial	Área	%
6p1	LQLL-Ce, LQLL-De, LQSR-Ce, LQSS-Ad, LQTR-Be, LRLL-Be, LRSR-Be, LRSR-Ce, LRSS-Ae, LRTR-Ee, LRYS-Be, LRZV-Aa, LVLL-Ae, LVSS-Ae, LVTR-Be, LVTS-Aep, LWLL-Ae, LWLL-Be, LWSS-Ae, LWTR-Be, MQFL-De, MQFL-Ge, MQSR-Fe, MQSS-Ae, MVSR-Be, MVSS-Ae, PCAST-He, PQLL-De	Sistemas agrosilvopastoriles	222,90	17,74
6p2	MQSS-Aem	Cultivos permanentes semi intensivos	2,90	0,23
6p3	LRLL-Be2, LRLL-Ce, LWLL-Be2, LWTR-Be2, MQFL-Ee2, MQSR-Fe2, MQSS-Be, MQSS-Be2, PCAST-He2	Sistemas silvopastoriles	63,27	5,04
6ps1	LVSR-Be, MQFL-Dep, MQFL-Eep	Sistemas agrosilvícolas	12,59	1,00
6ps-2	LRSR-Be2p, LWSR-Be	Sistemas agrosilvícolas	4,25	0,33
6s1	LVLL-Ad, MQFL-Ed, MQVV-Fb, PQASP-Da, PQASP-Db, PQASP-Dc, PQLL-Ddp, PQLL-Ed	Cultivos permanentes semi intensivos y sistemas forestales o agroforestales	19,05	1,53
6s2	LVLL-Ad2p	Cultivos permanentes semi intensivos y sistemas forestales o agroforestales	1,44	0,11
6s5	(CE-NM)bp	Sistemas silvopastoriles	14,37	1,14
6s6	(GL-PS)ak	Sistemas silvopastoriles	1,47	0,12
7e	MQFL-Ee	Sistemas forestales protectores	42,20	3,36
7p1	LQSE-Df, LQSS-Af, LQTR-Bf, LRSE-Ef, LRSR-Bf, LRSR-Cf, LRSS-Af, LVSS-Af, LVTR-Bf, LWTR-Bf, LWTS-Af, MQFL-Ef, MQFL-Gf, MQSR-Df, MQSR-Ff, MQSR-Ffp, MQSS-Bf	Sistemas forestales protectores	111,43	8,86
7p2	MQFL-Gf2, MQSR-Ff2, MQSS-Bf2	Sistemas forestales protectores	35,30	2,81
7pe16	MRDf3	Sistemas forestales protectores	7,43	0,59
7ps	LQTE-Df, LQTE-Df2p	Sistemas forestales protectores	3,00	0,24

Unidad	Unidad cartográfica de suelos y fase	Uso Potencial	Área	%
7s	MQQP-Dc, MQZV-Ca, MQZV-Cb, MRQT-Bd, PQLC-Ab, PQZV-Ab	Sistemas agrosilvícolas	18,07	1,44
7s1	GN-GUa, Gna	Sistemas agrosilvícolas	5,05	0,41
8p	RCg2	Conservación y/o recuperación de la naturaleza	2,37	0,19
8p1	LRSE-Eg, MQFL-Gg, MQSE-Ig	Conservación y/o recuperación de la naturaleza	23,04	1,84
8p2	MQSS-Bg2	Conservación y/o recuperación de la naturaleza	1,14	0,09
8s1	LQTS-Ad, LQTS-Ae, MQZV-Ba, MQZV-Bb, MRVV-Db, VQPv-Ba	Conservación y/o recuperación de la naturaleza	17,30	1,38
<b>Cuerpos de Agua</b>			1,00	0,08
<b>Zonas Urbanas</b>			2,01	0,16
<b>Total</b>			1256,24	100,00

#### 5.1.5.5.1. Análisis de resultados y relación con el proyecto

En el área de influencia abiótica del proyecto se identificaron suelos de las clases 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. La clase agrológica con mayor porcentaje es la 6, con un área de 428,92 ha (34,14%), seguida por la clase agrológica 4 con un área de 225,38 ha (17,94%), la clase agrológica 7 cubre un área de 223,51 ha (17,79%), la clase agrológica 3 cubre un área de 173,33 ha (13,80%), la clase agrológica 2 posee un área de 149,56 ha (11,9%), la clase agrológica 8 posee un área de 46,47 ha (3,7%) y por último la clase agrológica 5 cubre un área de 6,15 ha que equivalen al 0,49%.





Fotografía 80. Caña de azúcar en suelos Clase 2, (Unidad MNa) aptos para cultivos transitorios intensivos. Municipio de Candelaria, vereda El Tiple.

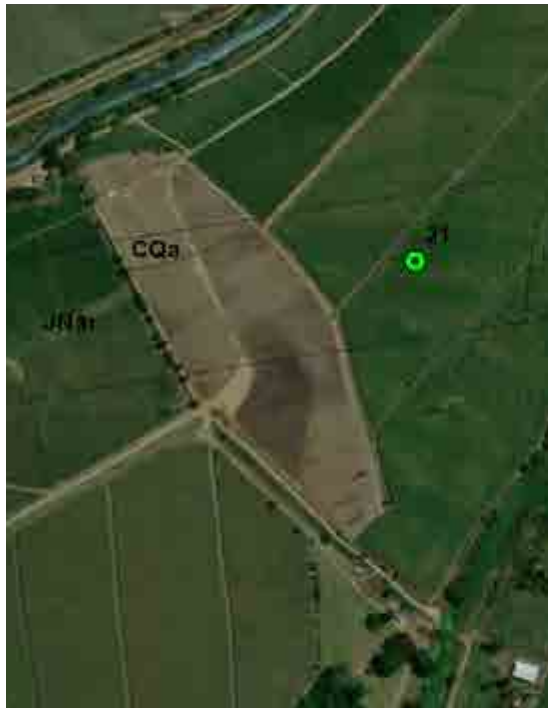


Fotografía 81. Perfil Modal 13V. Suelos Cumulic Haplustolls de la unidad MNa, con clase agrológica 2. Municipio de Candelaria, vereda El Tiple.

La clase agrológica 2, posee 2 subclases que están relacionadas con limitaciones por clima (10,53%) y suelos y clima (1,38%), lo cual tiene correspondencia con la misma cantidad de grupos de manejo identificados así: 2c1 y 2sc1 los cuales son descritos en detalle en el anexo D.3.5. Capacidad de uso de las tierras. Los suelos categorizados en la clase 2, se encuentran exclusivamente en los paisajes de piedemonte y planicie.

	
<p>Fotografía 82. Caña de azúcar en suelos de la clase 3 (Unidad JRa) del cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes. Municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.</p>	<p>Fotografía 83. Canales de riego y drenaje en el sitio de realización del perfil Modal 11, Typic Haplustolls francosa fina. Municipio de Candelaria, vereda La Regina.</p>

La clase agrológica 3, posee 5 subclases que están relacionadas con limitaciones por clima (0,80%), humedad (2,30%), humedad y suelos (3,28%), humedad, suelos y clima (0,57%) y suelo (6,85%). A su vez algunas subclases poseen varios grupos de manejo; en total la clase 3 posee 7 grupos de manejo identificados así: 3c, 3h1, 3hs1, 3hsc, 3s, 3s1, 3s2, 3s3 los cuales son descritos en detalle en el anexo D.3.5. Capacidad de uso de las tierras.



Fotografía 84. Caña de azúcar en suelos clase 4 (Unidad JNar) suelos de cubetas de decantación artificialmente drenados. Municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.



Fotografía 85. Perfil modal 21, suelos Vertic Endoaquetps artificialmente drenados (clase 4). Municipio de Cali, vereda Zona de reserva agrícola.

La clase agrológica 4, posee 7 subclases que están relacionadas con limitaciones por humedad y suelos (1,01%), pendientes (4,13%), pendientes y erosión (0,77%), pendiente, erosión y suelo (4,61%), pendiente y suelo (0,82%), suelo (6,6%). A su vez algunas subclases poseen varios grupos de manejo; en total la clase 4 posee 11 grupos de manejo identificados así: 4hs1, 4p1, 4pe, 4pes, 4pes-1, 4ps, 4s, 4s1, 4s3, 4s4, 4s5, los cuales son descritos en detalle en el anexo D.3.5. Capacidad de uso de las tierras.





Fotografía 86. Suelos de vallecito categorizados en clase 5, municipio de Cartago, vereda Piedra de Moler.



Fotografía 87. Bosque de Galería desarrollado en los suelos clase 5. municipio de Cartago, vereda Piedra de Moler.

La clase agrológica 5, posee 2 subclase que está relacionada con limitaciones por humedad y suelos (0,04%) y suelos (0,45%), lo cual correlaciona con dos grupos de manejo identificados como 5hs y 5s1 los cuales son descrito en detalle en el anexo D.3.5. Capacidad de uso de las tierras.





Fotografía 88. Tierras de la clase 6, (Unidad VPe2) desarrolladas en terrazas disectadas del paisaje de Valle, aptas para pastoreo con ganadería extensiva. Municipio de Pereira, vereda Azufral.



Fotografía 89. Perfil Modal 31, Vertic Argiustolls, Unidad VPe2, con erosión moderada. Municipio de Pereira, vereda Azufral.

La clase agrológica 6, posee 4 subclases que están relacionadas con limitaciones por erosión y clima (6,24%), pendientes (22,93%), pendientes y suelo (1,86%) y suelo (3,11%). A su vez algunas subclases poseen varios grupos de manejo; en total la clase 6 posee 10 grupos de manejo identificados así: 6ec, 6p1, 6p2, 6p3, 6ps1, 6ps2, 6s1, 6s2, 6s5, 6s6, los cuales son descritos en detalle en el anexo D.3.5. Capacidad de uso de las tierras.




Fotografía 90. Suelos en laderas de filas y vigas (Unidad MQFL-Gf2), con clase agrológica 7. Municipio de Tuluá, vereda El Brasil.



Fotografía 91. Perfil Modal 27, representativo de la unidad de suelos MQFL-Gf2. Municipio de Tuluá, vereda El Brasil.

La clase agrológica 7, posee 5 subclases que están relacionadas con limitaciones por erosión (3,36%), pendientes (11,68%), pendientes y erosión (0,67%), pendientes y suelo (0,24%) y suelo (1,84%). A su vez algunas subclases poseen varios grupos de manejo; en total la clase 7 posee 7 grupos de manejo identificados así: 7e, 7p1, 7p2, 7pe-16, 7ps, 7s, 7s1, los cuales son descritos en detalle en el anexo D.3.5. Capacidad de uso de las tierras.

	
<p>Fotografía 92. Suelos de espinazos con pendientes fuertes y de clase 8, aptos para conservación y recuperación de la naturaleza. Municipio de Obando, vereda Salem.</p>	<p>Fotografía 93. Perfil Modal 24, desde donde se observan espinazos con pendientes fuertes de la unidad MQSS-Bg2, categorizados en clase 8. Municipio de Obando, vereda Salem.</p>

La clase agrológica 8, posee 2 subclases que están relacionadas con limitaciones por pendiente (2,11%) y suelos (1,58%). A su vez algunas subclases poseen varios grupos de manejo; en total la clase 8 posee 4 grupos de manejo identificados así: 8p, 8p1, 8p2, 8s1 los cuales son descritos en detalle en el anexo D.3.5. Capacidad de uso de las tierras.

Con respecto a la relación del proyecto con la clasificación agrológica y la capacidad de uso de las tierras, se realizará remoción de la cobertura vegetal, remoción parcial o total de los horizontes del suelo, apilamiento y posterior disposición y compactación, lo que genera impactos de tipo físico, químico y biológico en este recurso, en las tierras clase 2 se instalarán 56 torres, en las tierras de la clase 3 se instalarán 63 torres y el pörtico alférez, en las tierras de las clase 4 se instalarán 76 torres, en las tierras de la clase 5 se instalarán 2 torres, en las tierras de la clase 6 se instalarán 156 torres y el pörtico la virginia, en las tierras de la clase 7 se instalarán 72 torres y en las tierras de la clase 8 se instalarán 10 torres.

### 5.1.5.6. Uso actual del suelo

El término cobertura se aplica en un todo o en parte a algunos de los atributos de la tierra y que en cierta forma ocupan una porción de su superficie, por estar localizados sobre ésta. El término uso se aplica al empleo que el hombre da a los diferentes tipos de coberturas, cíclica o permanentemente, para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (IGAC - CORPOICA, 2002).

El uso actual del suelo se encuentra definido por las actividades a las que la zona de estudio está sometida en el momento del desarrollo de la fase de campo y según las coberturas de la tierra presentes, las cuales se determinaron por medio de fotointerpretación y verificación en campo. En la Tabla 144 se presentan los principales usos actuales del suelo para el área de influencia. Ver anexo D.3.16 Mapa de uso actual.

Tabla 14. Coberturas y usos actuales del suelo en el área de influencia abiótica.

Cobertura	Grupo uso	Subgrupo Uso	Área	%
Caña de azúcar, Café, Cultivos permanentes arbóreos y cultivos permanentes arbustivos	Agricultura	Cultivos permanentes intensivos	390,86	31,11
Mosaico de cultivos, otros cultivos transitorios		Cultivos transitorios semi-intensivos	0,51	0,04
Mosaico de pastos y cultivos	Agroforestal	Sistemas agrosilvopastoriles	4,38	0,35
Pastos enmalezados, zonas pantanosas	Ganadería	Pastoreo extensivo	93,06	7,41
Pastos limpios y arbolados		Pastoreo intensivo y semi-intensivo	483,73	38,51
Bosque de galería y/o ripario, guadual, guadual sin agua, Tierras desnudas y degradadas, Vegetación secundaria alta, vegetación secundaria baja.	Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación	271,78	21,63
Canales, cuerpos de agua artificiales	Infraestructura	Infraestructura de riego	2,34	0,18
Red vial y terrenos asociados		Transporte	1,79	0,14
Zonas industriales o comerciales		Industrial	3,31	0,26
Zonas arenosas naturales	Minería	Materiales de construcción	1,75	0,14
Lagos, lagunas, ciénagas naturales y ríos	Cuerpos de Agua Naturales	Cuerpos de Agua Naturales	2,60	0,21
Zonas industriales o comerciales y Tejido urbano discontinuo	Asentamiento	Residencial	0,13	0,01
<b>Total</b>			<b>1256,24</b>	<b>100</b>





Fotografía 94. Cultivos permanentes intensivos (Caña) en el municipio de Pradera, vereda Bolo Hartonal.



Fotografía 95. Infraestructura de riego y drenaje en la vereda la Regina del municipio de Candelaria.

Los principales usos del suelo son la ganadería con 576,79 ha (45,92%), la agricultura con 391,37 ha (31,15%) y los de conservación con 271,78 ha (21,63%); usos con menor representatividad pero igualmente importantes son; agroforestal con 4,38 ha (0,035%), infraestructura con 7,44 ha (0,58%), zonas arenosas naturales utilizada para extracción de materiales de construcción con 1,75 ha (0,14), cuerpos de agua naturales con 2,6 ha (0,21%) y asentamientos con 0,13 ha (0,01%).



Fotografía 96. Infraestructura de transporte en el municipio de Cerrito, al lado ganadería semi intensiva con pastos arbolados. Municipio del Cerrito, vereda El Placer.



Fotografía 97. Mecanización de tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar (Cultivos permanentes intensivos). Municipio de Candelaria, vereda San Joaquin.

La ganadería que ocupa el 45,92% del área de influencia abiótica se realiza bajo 3 sistemas de producción, el pastoreo intensivo, pastoreo semiintensivo y el pastoreo extensivo, los dos primeros cubren un área de 576,79 ha, al pastoreo intensivo que corresponde a terrenos ocupados por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70% en el cual se realizan prácticas como limpieza de malezas, encalamiento y/o fertilización. El pastoreo semi intensivo, se caracteriza por tener pastos con una cobertura de árboles entre el 30 y 50% del total del área, con árboles que generalmente son de altura superior a cinco metros y se encuentran distribuidos de forma dispersa. El pastoreo extensivo que cubre un área de 93,10 ha (7,44%) y que corresponde a una asociación de pastos y malezas de vegetación secundaria que generalmente no sobrepasa 1,5 m de altura, asociados en algunos casos con pequeños sectores de tierras degradadas.



	
<p>Fotografía 98. Pastoreo extensivo en pastos enmalezados en el municipio de Ginebra, vereda La Floresta.</p>	<p>Fotografía 99. En primer plano pastos limpios (Ganadería intensiva), al fondo bosque de Galería y ripario (Conservación y/o recuperación), municipio de Ginebra, vereda La Selva.</p>

El uso de conservación cubre un área total de 271,78 ha que equivale al 21,63% del área de influencia abiótica, está representado por bosques bien conservados de cobertura densa y por el uso forestal que está representado por vegetación secundaria alta y baja la cual presenta individuos generalmente con dosel irregular.

	
<p>Fotografía 100. Cultivo de Naranja (Cultivos permanentes intensivos) en el municipio de Andalucía, vereda Pardo.</p>	<p>Fotografía 101. Talud del abanico aluvial subreciente, cerca del río Bugalagrande utilizado en cultivos permanentes intensivos. Municipio de Andalucía, vereda Pardo.</p>

Las tierras dedicadas a la agricultura representan el segundo tipo de utilización con mayor representatividad en el área de influencia abiótica, son 391,37 ha que equivalen al 31,15%. Se encuentran representadas principalmente por la agricultura intensiva a partir de cultivos permanentes (principalmente caña de azúcar), con mucha menos representatividad se encuentran los cultivos transitorios semi intensivos 0,34 ha (0,03%).

En cuanto a la relación del uso actual del suelo con el proyecto y de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que el uso actual cambiará generando impactos negativos al medio, se puede afirmar que en los suelos dedicados al uso agrosilvopastoril se localizarán 2 torres, en suelos con uso de cultivos permanentes intensivos se localizarán 152 torres, que en suelos dedicados a la conservación se localizarán 41 torres, en los suelos dedicados al pastoreo extensivo se instalarán 44 torres, en los suelos

---

usados en pastoreo intensivo y semiintensivo se localizarán 194 torres y en los suelos con uso actual de infraestructura, red vial y terrenos asociados se localizarán los pódicos Virginia y Alférez.

#### **5.1.5.7. Conflictos de uso del suelo**

Los conflictos de uso de la tierra son el resultado de la discrepancia entre el uso que el hombre hace actualmente del medio natural y aquel que debería tener de acuerdo con la oferta ambiental. Se originan por diversas causas entre las que sobresalen la desigualdad en la distribución de tierras y el manejo no planificado de la relación uso - tierra en una determinada región. Los conflictos del uso de la tierra se presentan cuando las tierras son utilizadas inadecuadamente ya sea por sobreutilización o subutilización.

En la determinación de conflictos se aplica el procedimiento que se utiliza en el país para generar la información de conflictos de usos del territorio (IGAC - CORPOICA, 2002) (ver Tabla 15). Se compara espacialmente con el uso de un sistema de información geográfica – SIG; el mapa de usos actuales versus el mapa de capacidad de uso (clases agrológicas) o uso potencial y se analiza con una matriz de doble entrada las unidades resultantes. El objetivo es identificar aquellas unidades espaciales en las cuales los usos actuales corresponden o no con la capacidad de uso del territorio.

Aquellos suelos donde el agroecosistema existente corresponde con la vocación del uso potencial o con un uso compatible sin causar deterioro ambiental y manteniendo actividades adecuadas y concordantes con la productividad natural de las tierras, se definen como lugares geográficos en los cuales existen las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de los usos actuales, por lo cual se recomienda evitar que entren en algún tipo de conflicto, dentro de esta categoría, se han incluido los cuerpos de agua y las zonas urbanas. Cuando se presentan diferencias entre el uso actual y el potencial se dan dos escenarios:

**Subutilización del suelo:** hace referencia al uso actual que es menos intensivo que el uso potencial. Cuando el agroecosistema existente corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso si se compara con la mayor capacidad productiva de las tierras.

**Sobreuso del suelo:** cuando las exigencias del uso actual o cobertura vegetal existente son mayores que la oferta productiva del suelo de acuerdo con sus características agroecológicas. En estas tierras se hace un aprovechamiento intenso de la base natural de recursos, sobrepasando su capacidad natural productiva y propiciando graves riesgos de tipo ecológico y social.

Por sobreuso y subutilización se presentan niveles de diferencias que dan lugar a conflictos como los siguientes:

Tabla 15. Tipos de conflictos de uso del suelo y símbolo utilizado.

Tipos de Conflicto	Símbolo
Uso adecuado o sin conflicto de uso	A
Subutilización ligera	S1
Subutilización moderada	S2
Subutilización severa	S3
Sobreutilización ligera	O1
Sobreutilización moderada	O2
Sobreutilización severa	O3

Fuente: IGAC - CORPOICA. (2002).

De acuerdo con la capacidad agrológica y el tipo de uso actual del suelo, se clasificaron las variables correspondientes a estos parámetros, dando como resultado 6 categorías de conflicto de uso que dependen principalmente del uso y manejo de los suelos y del manejo adecuado de los recursos naturales renovables y no renovables que permiten la concordancia y el equilibrio sistémico de la zona (Tabla 16). Ver anexo D3.17. Mapa de conflictos de uso.

Tabla 16. Tipos de conflictos de uso del suelo.

Conflictos de uso	Símbolo	Área	%
Uso adecuado	A	160,11	12,74
Sobreutilización ligera	O1	520,93	41,47
Sobreutilización moderada	O2	149,97	11,94
Sobreutilización severa	O3	51,42	4,09
Subutilización ligera	S1	330,58	26,31
Subutilización moderada	S2	37,21	2,96
Subutilización severa	S3	6,02	0,48
Total		1256,24	100,00

En la Tabla 17, se encuentra la matriz de calificación para el conflicto de uso de suelos, y en la Tabla 18, se observa los símbolos utilizados para el uso potencial y el uso actual del suelo.

Tabla 17. Matriz de calificación por conflicto de uso del suelo.

Uso Actual	Uso Potencial											
	AGS	ASP	CA	CPI	CPS	CRE	CTI	FPR	PEX	PSI	SPA	ZU
ASP	-	A	-	S3	S3	-	S1	O1	-	-	A	-
CA	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CPI	O1	O1	-	A	A	O3	O1	O1	S2	S1	-	-
CRE	S1	S1	-	S1	S1	A	S1	A	S1	S1	S1	-
CTS	O1	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-
IN	-	-	-	-	-	-	O1	-	O1	-	O1	-
IR	A	A	-	A	A	-	A	-	A	A	A	-
MC	-	-	-	-	O3	O3	-	-	-	O3	-	-
PEX	O3	O2	-	S3	O2	O2	O2	O3	A	O1	O2	-
PIN	O2	O1	-	S2	O1	O3	O1	O2	S1	A	O1	-
TR	O1	O1	-	O1	O1	-	O1	O1	O1	O1	-	-
ZU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A

Tabla 18. Símbolos Uso potencial y Uso actual.

Uso potencial	Símbolo	Uso Actual	Símbolo
Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación	CRE	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación	CRE
Cuerpos de agua	CA	Cuerpos de Agua Naturales	CA
Cultivos permanentes intensivos	CPI	Cultivos permanentes intensivos	CPI
Cultivos permanentes semi-intensivos	CPS	Cultivos transitorios semi-intensivos	CTS
Cultivos transitorios intensivos	CTI	Industrial	IN
Pastoreo extensivo	PEX	Infraestructura de riego	IR
Pastoreo semi-intensivo	PSI	Materiales de construcción	MC
Sistemas agrosilvícolas	AGS	Pastoreo extensivo	PEX
Sistemas agrosilvopastoriles	ASP	Pastoreo intensivo	PIN
Sistemas forestales protectores	FPR	Residencial	ZU
Sistemas silvopastoriles	SPA	Sistemas agrosilvopastoriles	ASP
zonas urbanas	ZU	Transporte	TR

De acuerdo al análisis del uso potencial del suelo con respecto al uso actual del mismo se han obtenido los conflictos de uso, en términos generales se observa que en el área de influencia abiótica las tierras sin conflictos de uso o usos adecuados cubren un área de



160,11 ha (12,74%), ver Fotografía 102 y Fotografía 103, las tierras con conflictos de uso por sobreutilización ligera poseen un área de 520,93 ha (41,47%), los conflictos de uso por sobreutilización moderada ocupan un área de 149,97 ha (11,94 %), ver Fotografía 104; los conflictos por sobreutilización severa ocupan un área de 51,42 ha (4,09%), la subutilización ligera ocupa un área de 330,58 ha (26,31%), ver Fotografía 105, las tierras con subutilización moderada ocupan un área de 37,21 ha (2,96%). Fotografía 106, las tierras con subutilización severa poseen un área de 6,02 ha (0,48%).

Con respecto a la relación de los conflictos de uso del suelo con el proyecto se tiene que en áreas de usos adecuados se instalarán 35 torres, en tierras con sobreutilización ligera se instalarán 212 torres y los pórticos Virginia y Alferez, en tierras con sobreutilización moderada 69 torres, en tierras con sobreutilización severa 22 torres, en tierras con subutilización ligera 79 torres, en subutilización moderada 14 torres y en tierras con subutilización severa 2 torres.

	
<p>Fotografía 102. Tierras en uso adecuado (Suelos de los albardones del río Cauca aptos para cultivos transitorios intensivos, utilizados en cultivos permanentes intensivos).Municipio de Candelaria, vereda San Joaquin.</p>	<p>Fotografía 103. Tierras en uso adecuado (Suelos aptos para cultivos permanentes intensivos, actualmente cultivados con naranja en el municipio de Andalucía, vereda Pardo).</p>





Fotografía 104. Tierras con sobreutilización moderada cerca del Perfil Modal 26 (Suelos aptos para sistemas agrosilvopastoriles que actualmente se utilizan en ganadería extensiva). municipio de Ginebra, vereda La Selva



Fotografía 105. Tierras con Subutilización ligera en el municipio de Pereira, vereda Azufral (Suelos aptos para ganadería extensiva que actualmente se utilizan en ganadería intensiva).

	
<p>Fotografía 106. Tierras con subutilización ligera, cerca del Perfil Modal 22, aptas para sistemas silvoagrícolas utilizadas actualmente en ganadería extensiva. Municipio de Guararí, vereda Alto de la Julia.</p>	<p>Fotografía 107. Tierras con sobreutilización severa, aptas para conservación (CRE) y utilizadas actualmente en pastoreo extensivo. Municipio de Tuluá, vereda El Brasil.</p>

#### 5.1.5.8. Usos de los suelos con respecto al ordenamiento territorial

Se procedió a comparar el uso potencial del suelo propuesto en los instrumentos de ordenamiento territorial con respecto al uso actual obtenido de la interpretación y el trabajo de campo, a fin de identificar los conflictos de uso del territorio.

Es importante tener en cuenta que algunos municipios o cuencas no poseen información disponible de dichos instrumentos de planificación, por lo tanto, en estos sectores el análisis no arroja resultados, también algunos municipios cuentan con información

---

cartográfica de bajo nivel de detalle, recopilada a partir de estudios a escalas muy grandes 1:100.000 lo que puede arrojar datos erróneos.

A continuación, y a modo de resumen se presentan las principales categorías de uso potencial del suelo y en cada una, la homologación de los usos plasmados en los documentos de ordenamiento territorial.

**Forestal protector:** Se han categorizado en este uso potencial, las áreas identificadas como: Suelos de protección natural-Relictos de bosque, franjas forestales protectoras de rondas hídricas, áreas potenciales de riesgos naturales, áreas forestales protectoras de cauce, áreas forestales protectoras, áreas de protección forestal y áreas de amenaza y riesgos. Este uso posee un área de 66,39 ha que equivalen al 5,31%

**Producción agropecuaria:** Homologado a este uso potencial se encuentran: Áreas de producción económica, áreas cultivables, áreas de producción agrícola en zona plana, áreas de producción agrícola y ganadera, producción agropecuaria, suelo rural, tierras cultivables y zonas agropecuarias. Este uso posee un área de 415,00 ha que equivalen al 33,17%

**Conservación y/o protección:** Se incluye en este uso las tierras identificadas en los instrumentos de planificación como: Áreas a recuperar por erosión, áreas de conservación y protección ambiental, área forestal protectora, áreas a recuperar, áreas de especial significancia ambiental, áreas de protección y conservación, áreas de recuperación, áreas de recuperación y/o mejora ambiental, bosque natural de protección, cinturón ecológico -área complementaria a conservación, recuperación ambiental y zonas de recuperación y manejo especial. Este uso posee un área de 172,49 ha que equivalen al 13,79%

**Forestal productor:** Incluye los usos potenciales identificados como áreas forestales productoras protectoras y producción protección. Cubre 18,05 ha que representan el 1,44%.

**Agroforestal:** Incluye el uso identificado como sistemas agroforestales, cubre 36,39 ha que equivalen 2,91%

**Producción pecuaria:** Contempla los usos identificados como praderas de pastoreo y zonas de pastoreo, cubre 4,18 ha que representan el 0,33%.

**Zona Urbana:** identificado en los instrumentos de planificación de la misma forma, posee 2,01 ha que representan 0,16%.

Sin información: Áreas ubicadas en los municipios de Buga, Bugalagrande, Guacarí, Obando, Palmira, Tuluá, La Victoria y Zarzal en las cuales no se encontró información cartográfica o documental. Son 536,62 ha que representan el 42,89%.

Para realizar el análisis de los conflictos de uso del territorio se aplicaron los principios del procedimiento que se utiliza en el país para generar la información de conflictos de usos del territorio (IGAC - CORPOICA, 2002); el cual consiste en comparar el uso actual del suelo con el uso potencial homologado a partir de los instrumentos de planificación POT, EOT y POMCA y se analizó con una matriz de doble entrada las unidades resultantes. El objetivo fue identificar aquellas unidades espaciales en las cuales los usos actuales corresponden o no con la capacidad de uso del territorio.

Los usos adecuados o áreas sin conflictos de uso cubren un área de 467,88 ha que representan el 37,39%, la subutilización moderada cubre un área de 7,86 ha (0,63%), las tierras con subutilización severa cubren 88,93 ha (6,96%), las áreas con sobreutilización moderada son 76,31 ha (6,10%), las áreas con sobreutilización moderada cubren 29,09 ha (2,33) y con sobreutilización severa cubren 133,05 ha (10,63%). Las zonas sin información cubren un área de 536,93 ha que representan el 42,91%.

Tabla 19. Correlación de estudios antecedentes y su área de influencia municipal.

Estudio Antecedente	Municipio	Área	%
Capacidad agrológica de suelos	ANDALUCÍA	22,22	3,47
	BUGALAGRAN DE	0,01	0,00
	TULUÁ	0,06	0,01
Ginebra Usos POT	GINEBRA	25,14	3,93
	GUACARÍ	0,05	0,01
Modelo de ordenación cca_guadalajara	BUGA	30,23	4,72
	SAN PEDRO	1,28	0,20
Modelo de ordenación cca_guadalajara	BUGA	22,71	3,55
	SAN PEDRO	2,84	0,44
Modelo de ordenación cca_jamundi	CALI	21,03	3,29
	CANDELARIA	0,26	0,04
Modelo ordenación cca_la_paila	BUGALAGRAN DE	36,34	5,68
	ZARZAL	59,55	9,31
Modelo ordenación cca_Obando	OBANDO	35,55	5,56
Modelo ordenación cca_san_pedro	SAN PEDRO	32,06	5,01
Modelo ordenación cca_tulua	SAN PEDRO	24,14	3,77

Estudio Antecedente	Municipio	Área	%
	TULUÁ	12,20	1,91
Plan básico de ordenamiento territorial	CANDELARIA	131,45	20,54
	PRADERA	2,64	0,41
Plan de Ordenamiento Territorial - Zonificación de suelos rural	CARTAGO	92,03	14,38
Planos rurales PBOT Pradera	PRADERA	34,32	5,36
<b>Total</b>		<b>586,13</b>	<b>100,00</b>

En la tabla anterior se encuentra la correlación de los municipios con los estudios antecedentes. Los municipios Andalucía, Bugalagrande y Tuluá con un área de 22,29 ha, cuentan con el estudio “Capacidad agrológica de suelos”, los municipios Ginebra y Guacarí, con un área de 25,19 ha, cuentan con el estudio “Ginebra Usos POT”, los municipios Buga y San Pedro, cuentan con el estudio “Modelo ordenación cca\_guadalajara”, con un área de 57,06 ha, los municipios Cali y Candelaria cuentan con el estudio “Modelo ordenación cca\_jamundi”, con un área de 21,29 ha, los municipios Bugalagrande y Zarzal, cuentan con el estudio “Modelo ordenación cca\_la\_paila”, con un área de 95,89 ha, el municipio Obando cuenta con el estudio “Modelo ordenación cca\_Obando”, con un área de 35,55 ha, el municipio San Pedro, cuenta con el estudio “Modelo\_ordenacion\_cca\_san\_pedro”, con un área de 32,06 ha, los municipios San Pedro y Tuluá, cuentan con el estudio “Modelo ordenación cca\_tulua”, con un área de 36,34 ha, los municipios Candelaria y Pradera, cuentan con el estudio “Plan básico de ordenamiento territorial”, con un área de 134,1 ha, el municipio de Cartago, cuenta con el estudio “Plan de Ordenamiento Territorial - Zonificación de suelos rural”, con un área de 92,03 ha, y el municipio Pradera, cuenta con el estudio “Planos rurales PBOT Pradera”, con un área de 34,32 ha.

---

#### 5.1.5.9. Bibliografía

Burbano H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Revista de ciencia agrícolas. Volumen 33.

IGAC. (2014). Instructivo de códigos para los levantamientos de suelos. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Subdirección de Agrología - Grupo interno de trabajo levantamiento de suelos.

IGAC. (2014). Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Bogotá: Grupo interno de trabajo levantamiento de suelos – Instituto geográfico Agustín Codazzi.

IGAC. 2007. Manual de Campo para los Levantamiento de Suelos y Tierras. Subdirección de Agrología. Bogotá, 164 pág.

IGAC. 2005. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de Tierras. Subdirección de Agrología. Bogotá.

IGAC. (2004). Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Valle del Cauca, escala 1.100.000. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Subdirección de Agrología.

IGAC. (2004). Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Risaralda, escala 1.100.000. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Subdirección de Agrología.

IGAC. (2010) Protocolo de degradación de suelos y tierras por desertificación. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

IGAC-CVC. (2014). Levantamiento semidetallado de suelos escala 1:25.000 de las cuencas priorizadas por la corporación autónoma regional del valle del cauca - CVC. Bogotá D.C. Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Subdirección de Agrología.

IDEAM - UDCA (2015). Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión. Bogotá D.C.



---

IDEAM - CAR - UDCA (2017). Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización. Bogotá D.C.

Gomez. M. (2019). Estudio de la degradación de suelos y tierras por desertificación en la jurisdicción de la CAR. Para optar al título de Maestría en ciencias ambientales, Bogotá D.C

MINAMBIENTE - ANLA (2018). Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental - EIA Proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica TdR-17

ZINCK, A. (2012). Geopedología, elementos de geomorfología para estudios de suelos y riesgos naturales . Enschede: ITC Special Lecture Notes Series.

ZINCK, J. A. 1981. Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. Mérida, Venezuela.

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS EEUU. 2014. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Claves para la taxonomía de suelos. Doceava Edición, Washington D.C.

FLÓREZ, A., et Al. (2010). Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C., 252 p.

1	Noviembre 2022			
0	Julio 2022			
<b>Versión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 <b>Grupo Energía Bogotá</b> <b>UPME 04-2014 REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 kV</b> <b>PROYECTO LA VIRGINIA – ALFÉREZ</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>Capítulo 5.1 MEDIO ABIÓTICO (NUMERAL 5.1.6)</b> 				
<b>ESCALA</b> <b>SIN</b>	<b>FORMATO</b> <b>Carta</b>	<b>CÓDIGO GEB:</b> <b>EEB-U414-CT102150-L380-HSE-2006</b>		
		<b>CÓDIGO CONTRATISTA:</b> <b>04517.01-INF-LL-EAMB-CAP5.1.6-0011</b>		

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
<b>2. GENERALIDADES</b>	<b>21</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>21</b>
<b>4. ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>21</b>
<b>5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>22</b>
5.1. MEDIO ABIÓTICO	22
5.1.6. Hidrología	22
5.1.6.1. Localización del proyecto en zonificación hidrográfica nacional	26
5.1.6.2. Descripción de la red hídrica	29
5.1.6.2.1. Identificación de sistemas lóticos	29
5.1.6.2.1.1. Río Cauca	29
5.1.6.2.1.2. Tributarios del río Cauca margen izquierda	31
5.1.6.2.1.3. Tributarios del río Cauca margen derecha	35
5.1.6.2.2. Identificación de sistemas lénticos	55
5.1.6.2.2.1. Embalse Salvajina	77
5.1.6.2.3. Zonas de recarga potencial	79
5.1.6.3. Caracterización morfométrica	82
5.1.6.3.1. Caracterización cuencas regionales	88
5.1.6.3.2. Caracterización subcuencas detalladas	96
5.1.6.3.3. Ocupaciones de cauce	107
5.1.6.4. Patrones y redes de drenaje	109
5.1.6.4.1. Caracterización cuencas regionales	109
5.1.6.4.2. Caracterización subcuencas detallada	110
5.1.6.4.3. Ocupaciones de cauce	112
5.1.6.5. Dinámica fluvial	113
5.1.6.5.1. Dinámica fluvial en cuerpos de agua principales	113
5.1.6.5.2. Dinámica fluvial en sitios de ocupación de cauce	121
5.1.6.5.2.1. Caracterización morfológica	121
5.1.6.5.2.2. Análisis multitemporal (forma en planta)	125



---

5.1.6.6. Análisis de inundación	128
5.1.6.6.1. Susceptibilidad a inundaciones	128
5.1.6.6.1.1. Geomorfología	130
5.1.6.6.1.2. Suelo	137
5.1.6.6.1.3. Susceptibilidad final a la inundación	140
5.1.6.6.2. Fenómeno ENSO en su fase niña	144
5.1.6.6.3. Áreas de inundación en los sitios de ocupación de cauce	149
5.1.6.7. Recopilación de información	150
5.1.6.7.1. Identificación de estaciones hidrométricas	150
5.1.6.7.2. Identificación de estaciones con registros de precipitación y temperatura	153
5.1.6.8. Análisis de información	159
5.1.6.8.1. Selección del periodo común de registros	159
5.1.6.8.1.1. Registros de caudal	159
5.1.6.8.1.2. Registros de precipitación	160
5.1.6.8.1.3. Registros de precipitación y caudal	163
5.1.6.8.1.4. Registros de temperatura	163
5.1.6.8.2. Análisis de consistencia y homogeneidad	168
5.1.6.8.2.1. Gráficas de series de tiempo	168
5.1.6.8.2.2. Curva de doble masa	168
5.1.6.8.2.3. Diagrama de cajas y bigotes - Boxplot	169
5.1.6.8.2.4. Correlación con indicadores de fenómenos macroclimáticos ONI, SOI y SST3-4	169
5.1.6.8.2.5. Valores anómalos - Test de Walsh.	171
5.1.6.8.2.6. Pruebas de normalidad y tendencia	172
5.1.6.8.2.7. Resultados registros de caudal	173
5.1.6.8.2.8. Resultados registros de precipitación	185
5.1.6.8.2.9. Resultados registros de temperatura	203
5.1.6.9. Complementación de vacíos	214
5.1.6.9.1. Registros de precipitación	214
5.1.6.9.2. Registros de caudal	224
5.1.6.10. Caracterización climatológica	229
5.1.6.10.1. Precipitación	229



---

5.1.6.10.1.1. Distribución temporal	229
5.1.6.10.1.2. Distribución espacial	232
5.1.6.10.2. Temperatura	246
5.1.6.10.2.1. Temperatura media	246
5.1.6.10.2.2. Temperatura máxima	264
5.1.6.10.2.3. Temperatura mínima	281
5.1.6.11. Caracterización hidrológica	298
5.1.6.11.1. Caudales medios en las estaciones identificadas	298
5.1.6.11.1.1. Análisis de tendencia	301
5.1.6.11.2. Caudales medios en los cuerpos de agua de interés	303
5.1.6.11.2.1. Curva de duración de caudales	318
5.1.6.11.2.2. Distribución temporal de caudales en el río Cauca	320
5.1.6.11.3. Balance hídrico	322
5.1.6.11.3.1. Precipitación media mensual (P)	325
5.1.6.11.3.2. Evapotranspiración potencial (ETP)	325
5.1.6.11.3.3. Diferencia entre Precipitación (P) y Evapotranspiración (ETP)	325
5.1.6.11.3.4. Almacenamiento del suelo (R)	326
5.1.6.11.3.5. Almacenamiento en el balance hídrico	326
5.1.6.11.3.6. Excedentes (Ex)	327
5.1.6.11.3.7. Utilización de almacenamiento (UA)	327
5.1.6.11.3.8. Déficit de agua (D)	328
5.1.6.11.3.9. Evapotranspiración Real (ETR)	328
5.1.6.11.3.10. Resultados del balance hídrico	329
5.1.6.11.4. Caudales máximos	330
5.1.6.11.4.1. Estimación de caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno	333
5.1.6.11.4.2. Caudal máximos en los cuerpos de agua superpuestos por la línea de transmisión	337
5.1.6.11.4.3. Caudal máximos en los sitios de ocupación de cauce	342
5.1.6.11.4.4. Precipitación efectiva	354
5.1.6.11.5. Caudales mínimos	358
5.1.6.11.6. Índices de caracterización del régimen hidrológico	361
5.1.6.11.6.1. Índice de retención y regulación hídrica (IRH)	362

---

---

5.1.6.11.7. Caudal ambiental	368
5.1.6.11.8. Oferta hídrica disponible a escala mensual	373
5.1.6.11.9. Cambio climático	376
5.1.6.11.9.1. Variación en la precipitación	378
5.1.6.11.9.2. Variación en la temperatura	379
5.1.6.11.10. Conclusiones	380
5.1.6.12. Referencias bibliográficas	382



---

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Ocupaciones de cauce.
- Tabla 2. Cuencas para caracterización regional.
- Tabla 3. Subcuencas para caracterización detallada.
- Tabla 4. Zonificación hidrográfica nacional.
- Tabla 5. Sistemas lénticos más importantes de las subzonas hidrográficas identificadas.
- Tabla 6. Sistemas lénticos identificados en la zona de servidumbre.
- Tabla 7. Sistemas lénticos identificados a 300 m desde el eje de la línea de transmisión.
- Tabla 8. Clasificación del coeficiente de compacidad.
- Tabla 9. Valores de densidad de drenaje
- Tabla 10. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente
- Tabla 11. Formulaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.
- Tabla 12. Tiempos de concentración estimados en minutos para las cuencas regionales.
- Tabla 13. Características morfométricas de las cuencas regionales.
- Tabla 14. Tiempos de concentración estimados en minutos para las subcuencas detalladas.
- Tabla 15. Características morfométricas de las subcuencas detalladas.
- Tabla 16. Características morfométricas de las ocupaciones de cauce.
- Tabla 17. Clasificación del índice de sinuosidad.
- Tabla 18. Índice de sinuosidad estimado en las cuencas regionales.
- Tabla 19. Índice de sinuosidad estimado en las subcuencas detalladas.
- Tabla 20. Índice de sinuosidad estimado en las ocupaciones de cauce.
- Tabla 21. Caracterización de la dinámica fluvial de los cuerpos de agua principales identificados sujetos a análisis de dinámica fluvial.
- Tabla 22. Características hidráulicas de los cuerpos de agua en las zonas de ocupación.



---

Tabla 23. Caracterización morfológica de los cuerpos de agua en las zonas de ocupación de cauce.

Tabla 24. Categorización del grado de susceptibilidad a inundaciones.

Tabla 25. Clasificación de la pendiente.

Tabla 26. Susceptibilidad a inundaciones por criterios de las unidades geomorfológicas.

Tabla 27. Clasificación de textura de suelos.

Tabla 28. Clasificación del drenaje natural del suelo.

Tabla 29. Clasificación de profundidad.

Tabla 30. Susceptibilidad a la inundación en la zona de servidumbre.

Tabla 31. Estaciones utilizadas en el análisis hidrológico.

Tabla 32. Estaciones utilizadas en el análisis de precipitación y temperatura.

Tabla 33. Periodo de registro de estaciones hidrométricas.

Tabla 34. Periodo de registro de estaciones climatológicas con registros de precipitación.

Tabla 35. Periodo de registro de estaciones climatológicas con registros de temperatura media.

Tabla 36. Periodo de registro de estaciones climatológicas con registros de temperatura máxima.

Tabla 37. Periodo de registro de estaciones climatológicas con registros de temperatura mínima.

Tabla 38. Medidas estadísticas de la serie diaria de caudales en m<sup>3</sup>/s. Estación Amaime - Periodo 1975 - 2019.

Tabla 39. Identificación de outliers en estaciones con registros de caudal.

Tabla 40. Resumen de pruebas de normalidad estaciones hidrométricas.

Tabla 41. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones hidrométricas.

Tabla 42. Estación de interés y estaciones de referencia.

Tabla 43. Medidas estadísticas de la serie diaria de precipitación en mm. Estación Alcalá - Periodo 1975 - 2019.

---

Tabla 44. Identificación de outliers en estaciones con registros de precipitación.

Tabla 45. Resumen de pruebas de normalidad en las estaciones climatológicas con registros de precipitación.

Tabla 46. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones climatológicas con registros de precipitación.

Tabla 47. Medidas estadísticas de la serie de temperatura media. Estación Barragan - Periodo 1996 - 2019.

Tabla 48. Identificación de outliers en estaciones con registros de temperatura media.

Tabla 49. Resumen de pruebas de normalidad en las estaciones climatológicas con registros de temperatura media.

Tabla 50. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones climatológicas con registros de temperatura media.

Tabla 51. Distancia entre estaciones de precipitación en km.

Tabla 52. Variación en los parámetros estadísticos - Media diaria. Periodo 1975 - 2019.

Tabla 53. Variación en los parámetros estadísticos - Desviación estándar. Periodo 1975 - 2019.

Tabla 54. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones climatológicas con registros de precipitación.

Tabla 55. Estaciones de caudal con vacíos de información.

Tabla 56. Rango de coeficientes de correlación.

Tabla 57. Matriz de correlación caudales medios diarios - Estaciones hidrométricas.

Tabla 58. Caudal medio diario de estaciones analizadas.

Tabla 59. Desviación estándar de caudal medio diario estaciones analizadas.

Tabla 60. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones hidrométricas.

Tabla 61. Precipitación total mensual multianual en mm en las estaciones analizadas. Periodo 1975-2019.

Tabla 62. Temperatura media mensual multianual (°C) en las estaciones cercanas al área de influencia.

---

Tabla 63. Temperatura máxima mensual multianual (°C) en las estaciones cercanas al área de influencia.

Tabla 64. Temperatura mínima mensual multianual (°C) en las estaciones cercanas al área de influencia.

Tabla 65. Estaciones utilizadas en el análisis hidrológico

Tabla 66. Caudal medio mensual multianual en m<sup>3</sup>/s en las estaciones hidrométricas identificadas en el área de estudio. Periodo 1975-2019.

Tabla 67. Caudal medio mensual multianual en m<sup>3</sup>/s en las estaciones hidrométricas identificadas en el área de estudio. Periodo 1975-2019.

Tabla 68. Caudal medio en las cuencas regionales.

Tabla 69. Caudal medio en las subcuencas detalladas.

Tabla 70. Estaciones hidrométricas utilizadas para generar series diarias de caudal en las cuencas regionales.

Tabla 71. Estaciones hidrométricas utilizadas para generar series diarias de caudal en las subcuencas detalladas.

Tabla 72. Caudal medio mensual en m<sup>3</sup>/s en las cuencas regionales hasta el río Cauca.

Tabla 73. Caudal medio mensual en m<sup>3</sup>/s en las subcuencas detalladas en la zona del proyecto.

Tabla 74. Caudales esperados en m<sup>3</sup>/s a diferentes confiabilidades en ocho subcuencas detalladas.

Tabla 75. Caudales medios mensuales en m<sup>3</sup>/s para la estación Juanchito. Periodo 1976 - 2020.

Tabla 76. Caudales medios mensuales en m<sup>3</sup>/s para la estación La Virginia. Periodo 1946 - 2020

Tabla 77. Precipitación mensual multianual estación Corozal y El Paraiso.

Tabla 78. Evapotranspiración potencial en mm.

Tabla 79. Balance hídrico en la zona sur (mm).

Tabla 80. Balance hídrico en la zona norte (mm).

Tabla 81. Prueba de datos dudosos de caudales máximos. Estación Mateguadua.

---

Tabla 82. Caudales máximos instantáneos en m<sup>3</sup>/s.

Tabla 83. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno en m<sup>3</sup>/s.

Tabla 84. Test de homogeneidad.

Tabla 85. Curva de regionalización.

Tabla 86. Caudales en m<sup>3</sup>/s para diferentes periodos de retorno en las subcuencas detalladas utilizando la envolvente regional.

Tabla 87. Coeficientes de la ecuación de regionalización de las IDF

Tabla 88. Datos de lluvia para elaborar las curvas IDF.

Tabla 89. Estación Corozal. Valores de intensidades máximas.

Tabla 90. Precipitaciones máximas para diferentes funciones de distribución de frecuencia. Estación Corozal.

Tabla 91. Precipitaciones máximas en mm para diferentes periodos de retorno en las estaciones analizadas.

Tabla 92. Factor de reducción por área para las subcuencas de las ocupaciones de cauce OC20 y OC23.

Tabla 93. Valores de CN II para diferentes usos de tierra

Tabla 94. Valores de CN II y CN III para las subcuencas hasta los sitios de ocupación de cauce.

Tabla 95. Resumen de los parámetros de modelación para estimar caudales máximos en subcuencas mayores a 2,5 km<sup>2</sup> - Hidrograma Unitario del SCS.

Tabla 96. Caudales máximos en m<sup>3</sup>/s asociados a diferentes periodos de retorno en las subcuencas analizadas.

Tabla 97. Caudales mínimos en m<sup>3</sup>/s asociados a diferentes periodos de retorno en las subcuencas detalladas.

Tabla 98. Índices para las zonas hidrográficas identificadas.

Tabla 99. Calificación de Rangos del Índice de Regulación Hídrica.

Tabla 100. Índice de Regulación Hídrica en las subcuencas detalladas.

Tabla 101. Calificación de Rangos del Índice de Aridez.

---

Tabla 102. Índice de Aridez en las subcuencas detalladas.

Tabla 103. Caudal ambiental en m<sup>3</sup>/s para las cuencas regionales.

Tabla 104. Caudal ambiental en m<sup>3</sup>/s para las subcuencas detalladas en la zona del proyecto y sitios de ocupación de cauce.

Tabla 105. Oferta hídrica disponible, en m<sup>3</sup>/s para las cuencas regionales.

Tabla 106. Oferta hídrica disponible, en m<sup>3</sup>/s, para las subcuencas detalladas y sitios de ocupación de cauce.



---

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización del proyecto con respecto a la zonificación hidrográfica nacional.
- Figura 2. Localización de la cuenca del río Cauca hasta la estación Juanchito.
- Figura 3. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Claro y Jamundí.
- Figura 4. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo.
- Figura 5. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Guachal (Bolo - Fraile y Párraga).
- Figura 6. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Amaime y Cerrito.
- Figura 7. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Guabas, Sabaletas y Sonso.
- Figura 8. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Guadalajara y San Pedro.
- Figura 9. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Tuluá y Morales.
- Figura 10. Localización de la subzona hidrográfica del río Bugalagrande.
- Figura 11. Localización de la subzona hidrográfica del río Paila.
- Figura 12. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Las Cañas - Los Micos y Obando.
- Figura 13. Localización de la subzona hidrográfica del río La Vieja.
- Figura 14. Localización de la subzona hidrográfica del río Otún y otros directos al Cauca.
- Figura 15. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 1 al 5 en la columna número.
- Figura 16. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 6 al 10 en la columna número.
- Figura 17. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 11 al 15 en la columna número.
- Figura 18. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 16 al 20 y el 26, en la columna número.
- Figura 19. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 21 al 25 en la columna número.
-

---

Figura 20. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 27 al 31 en la columna número.

Figura 21. Localización del embalse Salvajina respecto a la línea de transmisión.

Figura 22. Comportamiento del agua que se infiltra. Bajo la zona saturada está la zona impermeable.

Figura 23. Interacción Acuífero - Río (izquierda) y Río - Acuífero (derecha)

Figura 24. Zonas potenciales de recarga y descarga a los acuíferos.

Figura 25. Delimitación cuenca D. Cauca oeste-Z. Cascal.

Figura 26. Cuencas regionales.

Figura 27. Subcuencas detalladas.

Figura 28. Subcuencas ocupaciones de cauce.

Figura 29. Cuerpos de agua principales identificados sujetos a análisis de dinámica fluvial.

Figura 30. Clasificación de cauces combinando criterios de Schumm (1981) y Rosgen (1994).

Figura 31. Variación del esfuerzo cortante relativo con la relación R/W.

Figura 32. Variación de la tasa de migración lateral en función de la relación R/W.

Figura 33. Cuerpos de agua en las zonas de ocupación de cauce.

Figura 34. Clasificación de corrientes naturales de acuerdo con Rosgen (1994).

Figura 35. Diagrama de clasificación de corrientes naturales de acuerdo con Rosgen (1994).

Figura 36. Variación multitemporal del cauce en la zona de ocupación OC20. Quebrada La Honda.

Figura 37. Variación multitemporal del cauce en la zona de ocupación OC23. Quebrada Pan de Azúcar.

Figura 38. Metodología susceptibilidad a inundaciones.

Figura 39. Susceptibilidad a la inundación por criterio de pendiente.

Figura 40. Susceptibilidad a la inundación por Morfogénesis.

- 
- Figura 41. Susceptibilidad a la inundación por tipo de suelo.
- Figura 42. Mapa de susceptibilidad a inundaciones.
- Figura 43. Susceptibilidad a inundaciones en los sitios de ocupación de cauce.
- Figura 44. Mapa de susceptibilidad por fenómenos de inundación del Río Jamundí.
- Figura 45. Zonas de inundación.
- Figura 46. Zonas de inundación en el río Cauca.
- Figura 47. Zonas de inundación en el río Agua Clara.
- Figura 48. Áreas de inundación en la zona de ocupación OC20 en la condición actual.
- Figura 49. Áreas de inundación en la zona de ocupación OC23 en la condición actual.
- Figura 50. Localización de estaciones hidrométricas.
- Figura 51. Localización de estaciones de precipitación.
- Figura 52. Localización de estaciones de temperatura.
- Figura 53. Periodo de registro en estaciones hidrométricas analizadas.
- Figura 54. Periodo de registro en estaciones analizadas con registros de precipitación.
- Figura 55. Periodo de registro en estaciones analizadas con registros de temperatura media. Periodo 1983 - 2019.
- Figura 56. Periodo de registro en estaciones analizadas con registros de temperatura máxima. Periodo 1983 - 2019.
- Figura 57. Periodo de registro en estaciones analizadas con registros de temperatura mínima. Periodo 1983 - 2019.
- Figura 58. Regiones El Niño, definidas por la comunidad científica internacional con fines de seguimiento y vigilancia de los fenómenos del Ciclo ENOS.
- Figura 59. Registros de caudal.
- Figura 60. Curva de doble masa registros de caudal.
- Figura 61. Boxplot régimen mensual río Amaime - Estación Amaime.
- Figura 62. Correlogramas entre índices ONI, SOI, SST3.4 y caudales estación Los Minchos.
-

---

Figura 63. Registros de precipitación.

Figura 64. Curva de doble masa registros de precipitación.

Figura 65. Boxplot régimen mensual de precipitación - Estación Alcalá

Figura 66. Correlogramas entre índices ONI, SOI, SST3-4 y precipitación de la estación Alcalá.

Figura 67. Registros de temperatura media.

Figura 68. Curva de doble masa registros de temperatura media.

Figura 69. Boxplot temperatura media - Estación Barragan.

Figura 70. Distribución temporal de la precipitación total mensual en las estaciones analizadas. Periodo 1975-2019.

Figura 71. Distribución espacial de la precipitación total en enero.

Figura 72. Distribución espacial de la precipitación total en febrero.

Figura 73. Distribución espacial de la precipitación total en marzo.

Figura 74. Distribución espacial de la precipitación total en abril.

Figura 75. Distribución espacial de la precipitación total en mayo.

Figura 76. Distribución espacial de la precipitación total en junio.

Figura 77. Distribución espacial de la precipitación total en julio.

Figura 78. Distribución espacial de la precipitación total en agosto.

Figura 79. Distribución espacial de la precipitación total en septiembre.

Figura 80. Distribución espacial de la precipitación total en octubre.

Figura 81. Distribución espacial de la precipitación total en noviembre.

Figura 82. Distribución espacial de la precipitación total en diciembre.

Figura 83. Distribución espacial de la precipitación total en anual.

Figura 84. Variación mensual de la temperatura media en las estaciones.

Figura 85. Relación entre la temperatura media y la elevación para cada mes.

Figura 86. Relación entre la temperatura media anual y la elevación.



- 
- Figura 87. Distribución espacial de la temperatura media en enero.
- Figura 88. Distribución espacial de la temperatura media febrero.
- Figura 89. Distribución espacial de la temperatura media en marzo.
- Figura 90. Distribución espacial de la temperatura media en abril.
- Figura 91. Distribución espacial de la temperatura media en mayo.
- Figura 92. Distribución espacial de la temperatura media en junio.
- Figura 93. Distribución espacial de la temperatura media en julio.
- Figura 94. Distribución espacial de la temperatura media en agosto.
- Figura 95. Distribución espacial de la temperatura media septiembre.
- Figura 96. Distribución espacial de la temperatura media en octubre.
- Figura 97. Distribución espacial de la temperatura media en noviembre.
- Figura 98. Distribución espacial de la temperatura media en diciembre.
- Figura 99. Distribución espacial de la temperatura media anual.
- Figura 100. Variación mensual de la temperatura máxima en las estaciones.
- Figura 101. Relación entre la temperatura máxima y la elevación para cada mes.
- Figura 102. Relación entre la temperatura máxima anual y la elevación.
- Figura 103. Distribución espacial de la temperatura máxima en enero.
- Figura 104. Distribución espacial de la temperatura máxima en febrero.
- Figura 105. Distribución espacial de la temperatura máxima en marzo.
- Figura 106. Distribución espacial de la temperatura máxima en abril.
- Figura 107. Distribución espacial de la temperatura máxima en mayo.
- Figura 108. Distribución espacial de la temperatura máxima en junio.
- Figura 109. Distribución espacial de la temperatura máxima en julio.
- Figura 110. Distribución espacial de la temperatura máxima en agosto.
- Figura 111. Distribución espacial de la temperatura máxima en septiembre.
-



- 
- Figura 112. Distribución espacial de la temperatura máxima en octubre.
- Figura 113. Distribución espacial de la temperatura máxima en noviembre.
- Figura 114. Distribución espacial de la temperatura máxima en diciembre.
- Figura 115. Distribución espacial de la temperatura máxima anual.
- Figura 116. Variación mensual de la temperatura mínima en las estaciones.
- Figura 117. Relación entre la temperatura mínima y la elevación para cada mes.
- Figura 118. Relación entre la temperatura mínima anual y la elevación.
- Figura 119. Distribución espacial de la temperatura mínima en enero.
- Figura 120. Distribución espacial de la temperatura mínima en febrero.
- Figura 121. Distribución espacial de la temperatura mínima en marzo.
- Figura 122. Distribución espacial de la temperatura mínima en abril.
- Figura 123. Distribución espacial de la temperatura mínima en mayo.
- Figura 124. Distribución espacial de la temperatura mínima en junio.
- Figura 125. Distribución espacial de la temperatura mínima en julio.
- Figura 126. Distribución espacial de la temperatura mínima en agosto.
- Figura 127. Distribución espacial de la temperatura mínima en septiembre.
- Figura 128. Distribución espacial de la temperatura mínima en octubre.
- Figura 129. Distribución espacial de la temperatura mínima en noviembre.
- Figura 130. Distribución espacial de la temperatura mínima en diciembre.
- Figura 131. Distribución espacial de la temperatura mínima anual.
- Figura 132. Distribución temporal de caudales medios mensuales en las estaciones hidrométricas identificadas en el área de estudio.
- Figura 133. Variación de caudales medios anuales en las estaciones hidrométricas analizadas.
- Figura 134. Regionalización. Zona sur y zona norte.
- Figura 135. Curva regionalizada área de drenaje vs caudal medio - Zona sur.
-





---

Figura 136. Curva regionalizada área de drenaje vs caudal medio - Zona norte.

Figura 137. Curva de duración de caudales diarios en ocho subcuencas.

Figura 138. Distribución temporal de caudales medios mensuales estación Juanchito. Periodo 1976 - 2020.

Figura 139. Distribución temporal de caudales medios mensuales estación La Virginia. Periodo 1946 - 2020.

Figura 140. Regionalización. Zona sur y zona norte.

Figura 141. Esquema conceptual del balance hídrico.

Figura 142. Ajuste probabilístico de caudales máximos. Estación Cartago.

Figura 143. Test de homogeneidad estadística de las estaciones. Confianza 95%.

Figura 144. Curva regionalizada área de drenaje vs caudal de referencia  $Q_c$ .

Figura 145. Curva regionalizada Período de retorno  $T_r$  vs relación  $Q_{Tr}/Q_c$ .

Figura 146. Polígonos de Thiessen subcuencas asociadas a las ocupaciones de cauce.

Figura 147. Curvas IDF Estación Corozal.

Figura 148. Hidrograma Unitario Triangular del SCS.

Figura 149. Representación gráfica de precipitaciones máximas ajustadas a diferentes funciones de distribución de probabilidad. Estación Corozal.

Figura 150. Curvas PADF. Periodo de retorno de 100 años

Figura 151. Distribución de la precipitación por método de bloques alternos para la subcuenca OC20. Periodo de retorno 100 años.

Figura 152. Representación gráfica de caudales mínimos ajustados a diferentes funciones de distribución de probabilidad estación Amaime.

Figura 153. Esquema de incertidumbre y complejidad en el que se sitúan los escenarios, como herramienta de gestión basada en información científica, respecto de los hechos o meras especulaciones. Zurek y Henrichs 2007.

Figura 154. Variación en la precipitación.

Figura 155. Variación en la temperatura.

---

## LISTA DE ECUACIONES

- Ecuación 1. Coeficiente de compacidad
- Ecuación 2. Factor de forma
- Ecuación 3. Densidad de drenaje
- Ecuación 4. Densidad de corrientes.
- Ecuación 5. Pendiente media metodología Taylor - Schwartz
- Ecuación 6. Ceiling.
- Ecuación 7. Valores bajos.
- Ecuación 8. Valores altos
- Ecuación 9. Complementación distancia inversa de los cuadrados.
- Ecuación 10. Caudal diario en la cuenca de interés.
- Ecuación 11. Transposición de caudales.
- Ecuación 12. Principio de continuidad.
- Ecuación 13. Balance hídrico
- Ecuación 14. Excedentes de agua
- Ecuación 15. Utilización de almacenamiento
- Ecuación 16. Déficit de agua
- Ecuación 17. Evapotranspiración real
- Ecuación 18. Límite superior.
- Ecuación 19. Límite inferior.
- Ecuación 20. Expresión de Fuller
- Ecuación 21. Intensidad de la lluvia.
- Ecuación 22. Caudal pico.
- Ecuación 23. Tiempo al pico.
- Ecuación 24. Tiempo base del hidrograma.

---

Ecuación 25. Factor de reducción por área Fhrüling.

Ecuación 26. Factor de reducción por área Institution of Civil Engineers – Inglaterra

Ecuación 27. Factor de reducción por área datos de Norteamérica.

Ecuación 28. Condición de humedad tipo III

Ecuación 29. Escorrentía total acumulada.

Ecuación 30. Infiltración potencial.

Ecuación 31. Índice de regulación hídrica

Ecuación 32. Evapotranspiración real

Ecuación 33. Índice de aridez

---

## **LISTA DE ANEXOS**

- Anexo D4.1. Registro estaciones
- Anexo D4.2. Análisis de información
- Anexo D4.3. Características morfométricas
- Anexo D4.4. Complementación registros de precipitación
- Anexo D4.5. Variación espacial parámetros
- Anexo D4.6. Estimación caudales
- Anexo D4.7. Índices hidrológicos
- Anexo D4.8. Balance hídrico
- Anexo D4.9. Susceptibilidad inundaciones

## 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

### 5.1. MEDIO ABIÓTICO

#### 5.1.6. Hidrología

El proyecto no tendrá impactos significativos asociados al componente hídrico en términos de temporalidad y cantidad, dado que no se contemplan captaciones de agua superficial o vertimientos que modifiquen las condiciones hidrológicas de las fuentes hídricas.

Sin embargo, sí se identificaron impactos poco significativos asociados a la alteración en la calidad del agua superficial y a la alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial y/o del régimen sedimentológico por el trámite de permiso de ocupación de cauce en las quebradas La Honda y Pan de Azúcar para la construcción de estructuras hidráulicas que permitan el acceso vehicular a los sitios de trabajo (Tabla 1).

Tabla 1. Ocupaciones de cauce.

ID	Cuerpo de agua	Municipio	Unidad territorial	Coordenadas origen Único	
				Este	Norte
OC20	Quebrada La Honda	Zarzal	Vallejuelo	4667545,72	2045580,35
OC23	Quebrada Pan de Azúcar	La Victoria	Taguales	4667632,34	2047533,83

Considerando que el trazado de la línea de transmisión La Virginia - Alférez tiene una longitud aproximada de 207 km entre los departamentos de Valle del Cauca y Risaralda, para la caracterización del componente hidrológico, se realizó la identificación y caracterización de las cuencas asociadas a los cuerpos de agua superpuestos por la línea de transmisión extendidas hasta su confluencia con el río Cauca que se presentarán como caracterización de cuencas regionales y la caracterización más detallada de las subcuencas asociadas a los drenajes superpuestos por la línea de transmisión cerrándolas aguas abajo del área de intervención del proyecto (En adelante estas subcuencas se denominará subcuencas detalladas y se asocian con el área de estudio de hidrología).

De acuerdo a la zonificación hidrográfica nacional definida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), las 19 cuencas regionales que llegan hasta el río Cauca (Tabla 2) y las 40 subcuencas detalladas asociadas a los cuerpos de agua



superpuestos por la línea de transmisión delimitadas hasta aguas abajo de esta (Tabla 3), se encuentran localizadas dentro de 12 subzonas hidrográficas (Tabla 4).

Tabla 2. Cuencas para caracterización regional.

No.	Nombre	No.	Nombre
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	11	Río Morales
2	Río Fraile	12	Río Bugalagrande
3	Río Amaime	13	Río Paila
4	El Cerrito	14	Quebrada Las Cañas
5	Río Zabaletas	15	Quebrada Pan de Azúcar
6	Río Guabas	16	Quebrada Yucatán
7	Río Sonso	17	Quebrada Obando
8	Río Guadalajara	18	Río La Vieja
9	Zanjón Burriga	19	Quebrada Hato Viejo
10	Río Tuluá		

Tabla 3. Subcuencas para caracterización detallada.

No.	Nombre	No.	Nombre
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	21	Río Tuluá
2	Directos al Cauca costado este	22	Cañada La Mina
3	Río Fraile	23	Río Morales
4	Río Párraga	24	Quebrada Sabaletas
5	Quebrada Chontaduro	25	Río Bugalagrande
6	Río Bolo	26	Quebrada San Miguel
7	Acequia Beringuito	27	Quebrada San Rosa
8	Acequia Morrococoy	28	Quebrada El Overo
9	Río Palmira	29	Quebrada Murillo
10	Zanjón Poma	30	Río Paila
11	Río Nima	31	Quebrada Los Ángeles
12	Río Amaime	32	Quebrada Las Cañas
13	Río Cerrito	33	Quebrada Pan de Azúcar
14	Río Zabaletas	34	Quebrada Yucatán
15	Río Guabas	35	Quebrada Obando



No.	Nombre	No.	Nombre
16	Río Sonso	36	Río La Vieja
17	Río Guadalajara	37	Quebrada del Bosque
18	Quebrada Chambimbal	38	Quebrada La Pedregosa
19	Quebrada Los Mates	39	Quebrada Hato Viejo
20	Quebrada San Pedro	40	Quebrada Grande

El análisis desarrollado consistió en la identificación de los sistemas lénticos y lóticos, la caracterización morfométrica de los cauces principales identificados, la determinación del régimen hidrológico, índices de caracterización hidrológica y el caudal ambiental de las 19 cuencas regionales y las 40 subcuencas detalladas en la zona del proyecto, y la caracterización hidrológica y de dinámica fluvial para las quebradas La Honda y Pan de Azúcar, a las cuales se les realizará el trámite de permiso de ocupación de cauce.

La cartografía empleada para la delimitación y estimación de las características morfométricas de las unidades hidrográficas de interés, la localización espacial de las estaciones climatológicas e hidrométricas empleadas en el análisis, corresponde a la cartografía IGAC a escala 1:25.000.

La clasificación hidrográfica de las subcuencas se realizó con base en lo establecido en el mapa de Zonificación Ambiental de Colombia desarrollado por el IDEAM (2010), y mencionado dentro de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, expedida en marzo de 2010 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y plasmadas igualmente dentro del Decreto 1640 del 2 de agosto de 2012 del MADS y la Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia del IDEAM (2013), de los cuales se derivan para el territorio colombiano: 5 Áreas Hidrográficas, 41 Zonas Hidrográficas y 309 Subzonas Hidrográficas.

La hidrología del área se calculó a partir de variables climáticas monitoreadas históricamente, por medio de estaciones hidrometeorológicas a cargo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). La información de precipitación se basó en 31 estaciones, 25 estaciones operadas por el IDEAM y 6 operadas por la CVC representativas para la zona de estudio, cuyos registros históricos fueron analizados estadísticamente evaluando la calidad de la información registrada, se realizaron análisis de homogeneidad, eliminación de outliers (Test de Walsh) y complementación de vacíos a fin de reducir la incertidumbre y aumentar la confiabilidad en los resultados que se obtengan a partir de

ellos. Para conocer la distribución espacial de la lluvia en el área, se emplearon el método de Kriging y el software Surfer.

Respecto a la información de registros de caudales en el área de estudio, se identificaron diez estaciones hidrométricas localizadas en los tributarios de la margen derecha del río Cauca, seis estaciones operadas por el IDEAM y cuatro estaciones operadas por la CVC. La información histórica registrada en las estaciones hidrométricas fue evaluada estadísticamente a fin de determinar la calidad de los datos, se realizaron análisis de homogeneidad y consistencia (curvas de doble masa), eliminación de outliers (test de walsh) y complementación de vacíos (Correlaciones de caudales medios diarios ) a fin de reducir la incertidumbre y aumentar la confiabilidad en los resultados que se obtengan a partir de ellos y para construir una serie histórica representativa de caudales medios diarios para un periodo homogéneo comprendido entre 1975 – 2019.

Debido a que no todas las cuencas existen estaciones de caudales fue necesario implementar metodologías indirectas como son las curvas regionales y el método transposición (Caudal – área – precipitación) para estimar el caudal medio mensual en cada cuenca.

A partir de las series diarias de caudales medios registradas en las estaciones hidrométricas de la zona, se generaron las series de caudales medios diarios de las cuencas y subcuencas identificadas, a partir de las cuales se realizó la caracterización del caudal medio y la distribución temporal mensual.

La estimación de caudales mínimos se realizó a partir del análisis estadístico y ajuste de los caudales generados para cada subcuenca y las series históricas de las estaciones hidrométricas identificadas, a distribuciones de probabilidad como Normal, Gumbel, Pearson, Log-Pearson, Log-Normal y Gumbel Tipo III, evaluando su ajuste por medio de la prueba  $\chi^2$ . Los caudales máximos para áreas menores a 2,5 km<sup>2</sup> fueron estimados mediante el Método Racional con curvas IDF construidas a partir de las estaciones de precipitación analizadas; para áreas mayores a 2,5 km<sup>2</sup> se calcularon los caudales máximos con el Modelo Lluvia-Escorrentía del HEC-HMS.

La estimación del caudal ambiental se realizó a partir de la Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental desarrollada por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2013 considerando sólo el componente hidrológico (El caudal que es superado el 95% del tiempo en cada uno de los meses del año).

Las tablas y figuras que se presentan en este documento y no contienen fuente, han sido generadas por INGETEC para este documento.

### 5.1.6.1. Localización del proyecto en zonificación hidrográfica nacional

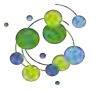
La línea de transmisión eléctrica 500 kV que conecta las subestaciones existentes de La Virginia en Pereira y Alférez en Cali, se encuentra localizada dentro del área hidrográfica del Magdalena - Cauca en el departamento de Risaralda y Valle del Cauca.

De acuerdo con la zonificación hidrográfica nacional establecida por el IDEAM en el informe de “Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia<sup>1</sup>”, el proyecto se localiza en la zona Hidrográfica del río Cauca, específicamente en las subzonas hidrográficas: Río Guachal (2607), Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso (2632), Ríos Amaime y Cerrito (2609), Ríos Guadalajara y San Pedro (2633), Ríos Claro y Jamundí (2629), Río Otún (2613), Ríos Tuluá y Morales (2610), Río Bugalagrande (2635), Río Paila (2636), Río la Vieja (2612), Ríos Las Cañas – Los Micos y Obando (2637) y Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo (2630). En la Tabla 4 y en la Figura 1 se presentan las 12 subzonas hidrográficas que son superpuestas por la línea de transmisión y su división en unidades hidrográficas.

Tabla 4. Zonificación hidrográfica nacional.

Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica		Unidad hidrográfica del nivel subsiguiente		Subcuencas detalladas
Magdalena Cauca 2	Cauca 26	2607	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	2607-12	Guachal	Directos al Cauca costado este
						Quebrada Chontaduro
						Río Párraga
						Río Fraile
						Río Bolo
		2609	Ríos Amaime y Cerrito	2609-12	Amaime	Acequia Morrocoy
						Acequia Beringuito
						Río Palmira
						Zanjón Poma
						Río Nima
		2610	Ríos Tuluá y	2610-14	Tuluá	Río Amaime
						Río Cerrito
					Cañada La Mina	

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. Bogotá D.C. 2013.



Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica		Unidad hidrográfica del nivel subsiguiente		Subcuencas detalladas
			Morales			Río Tuluá
				Morales		Quebrada Sabaletas
						Río Morales
		2612	Río La Vieja	2612-00	El Pinal	Quebrada del Bosque
				2612-15	La Vieja	Río La Vieja
		2613	Río Otún y otros directos al Cauca	2613-00	La Pedregosa	Quebrada La Pedregosa
					Grande	Quebrada Grande
					Hato Viejo	Quebrada Hato Viejo
		2629	Ríos Claro y Jamundí	2629-22	Jamundí	D. Cauca oeste-Z. Cascal
		2632	Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso	2632-13	Zabaletas	Río Zabaletas
					Guabas	Río Guabas
					Sonso	Río Sonso
		2633	Ríos Guadalajara y San Pedro	2633-13	Guadalajara	Quebrada Chambimbal
						Río Guadalajara
					San Pedro	Quebrada Los Mates
						Quebrada San Pedro
		2635	Río Bugalagrande	2635-14	Bugalagrande	Quebrada San Rosa
						Quebrada El Overo
						Quebrada San Miguel
						Río Bugalagrande
		2636	Río Paila	2636-14	La Paila	Quebrada Murillo
						Río Paila
		2637	Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando	2637-14	Las Cañas	Quebrada Los Ángeles
						Quebrada Las Cañas
					Los Micos	Quebrada Pan de Azúcar
						Quebrada Yucatán
				2637-15	Obando	Quebrada Obando

Fuente: Tomado y adaptado. IDEAM. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. (2013)<sup>2</sup> y shape de cuencas del geoportail de la CVC y la CARDER.

<sup>2</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. Bogotá D.C. 2013.

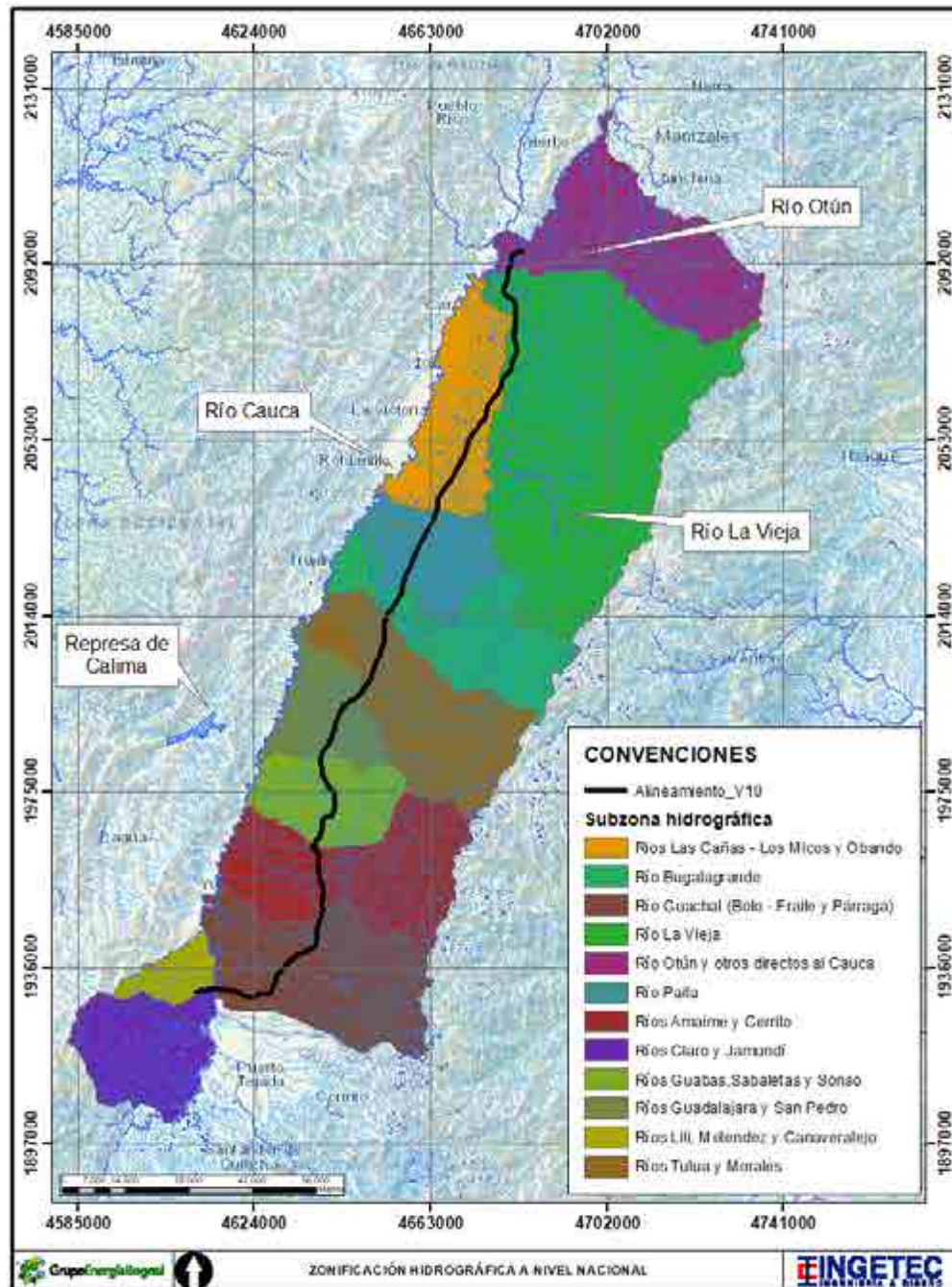


Figura 1. Localización del proyecto con respecto a la zonificación hidrográfica nacional. Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

### 5.1.6.2. Descripción de la red hídrica

La descripción de la red hídrica se realizó a nivel de subzona considerando que la línea de transmisión eléctrica se localiza en 12 subzonas hidrográficas de la zona del Magdalena - Cauca.

#### 5.1.6.2.1. Identificación de sistemas lóticos

Los ecosistemas lóticos se caracterizan por presentar un movimiento definido e irreversible como los ríos, quebradas, caños entre otros. A continuación se presenta la caracterización de estos sistemas para la zona del proyecto.

##### 5.1.6.2.1.1. Río Cauca

El río Cauca nace cerca del páramo de Sotará y desemboca en el Brazo de Loba, en el río Magdalena, en el departamento de Bolívar. Tiene una longitud de 1.204 km y un área de drenaje de 59.074 km<sup>2</sup> que representa el 5% del total del territorio nacional.

Por su gran extensión y variada topografía en la cuenca del río Cauca se presentan diferentes pisos térmicos desde la zona de páramos hasta las llanuras cálidas. En el recorrido del río Cauca a lo largo del país se identifican claramente cuatro zonas: Alto Cauca, Valle Alto, cañón del Cauca o Cauca Medio y Bajo Cauca<sup>3</sup>.

La línea de transmisión eléctrica se localiza en la zona Valle Alto, donde el río Cauca recorre un trayecto de unos 425 km. Esta zona inicia en el municipio de Buenos Aires en el Departamento del Cauca y finaliza en el municipio de La Virginia en el departamento de Risaralda.

“Tributarios importantes en este sector, sobre su margen occidental, son los ríos Claro, Timba, Jamundí y Risaralda; en la margen oriental, donde el valle es más amplio, confluyen entre otros los ríos Ovejas, Palo, Amaime, Tuluá, Guadalajara, Bugalagrande y La Vieja”<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Universidad del Valle. El río Cauca en su valle alto, introducción y antecedentes. Santiago de Cali, 2007 p. 19 y 21

<sup>4</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Universidad del Valle. El río Cauca en su valle alto, introducción y antecedentes. Santiago de Cali, 2007 p. 22



En la Figura 2 se presenta la cuenca del río Cauca hasta la estación Juanchito, en cercanías a la línea de transmisión.

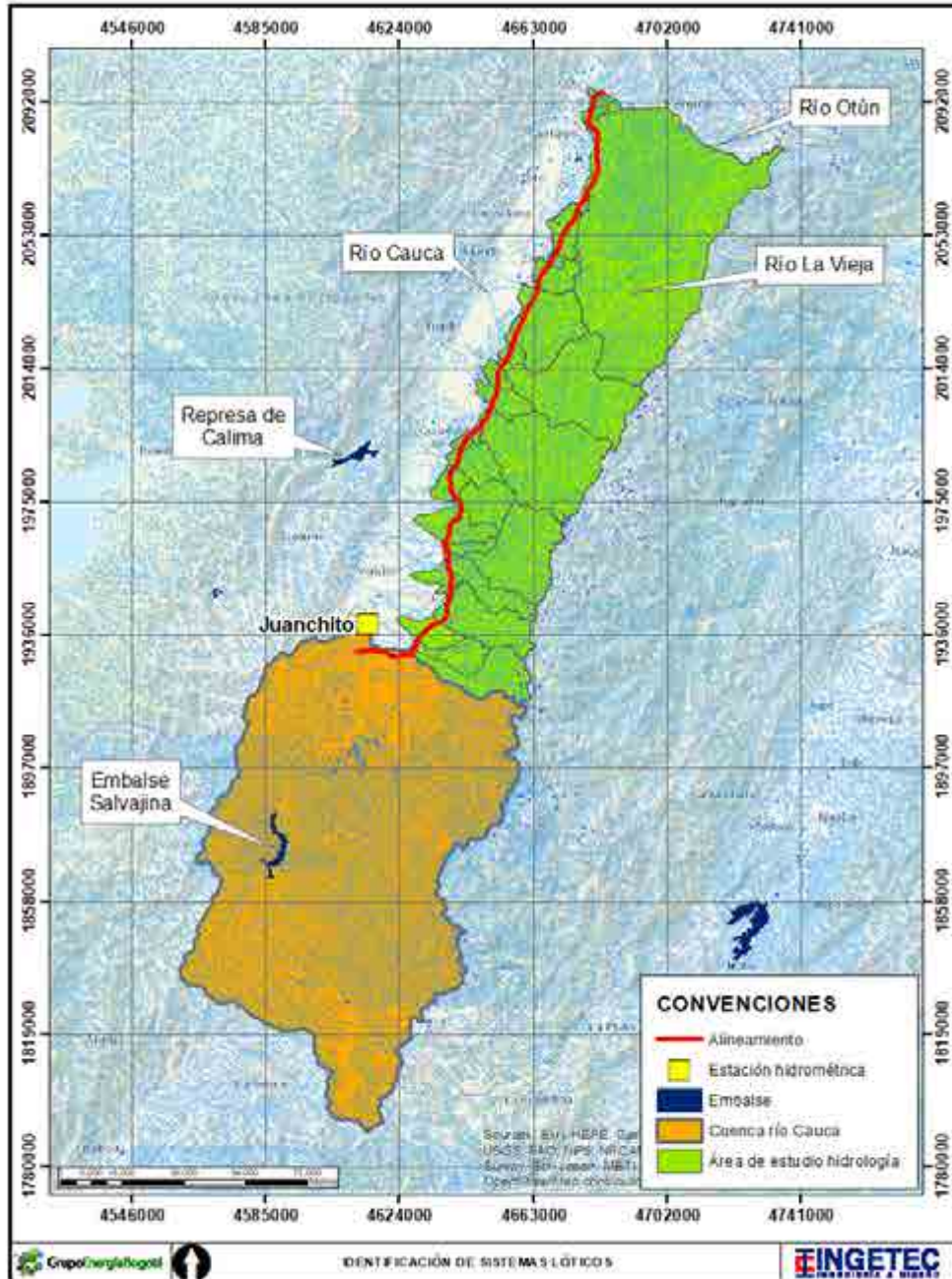


Figura 2. Localización de la cuenca del río Cauca hasta la estación Juanchito.

#### 5.1.6.2.1.2. Tributarios del río Cauca margen izquierda

La línea eléctrica de transmisión, cruza dos subzonas hidrográficas localizadas en la margen izquierda del río Cauca. La descripción de los cuerpos principales que conforman las subzonas hidrográficas, se realizó a partir de la información contenida en los POMCAs disponibles en el portal oficial de la CVC y de estudios realizados por el Grupo Energía Bogotá (GEB), en la zona del proyecto.

- Sub-Zona Hidrográfica Ríos Claro y Jamundí - Código 2629

La cuenca del río Jamundí, ubicada en el flanco oriental de la Cordillera Occidental, en jurisdicción de los municipios de Jamundí y Santiago de Cali. Tiene una extensión superficial de 344,038 Km<sup>2</sup> (34.403 hectáreas) y hace parte integral de la cuenca del río Cauca, una de las dos principales cuencas hidrográficas del país

Desde el punto de vista hidrográfico, el río Jamundí es la corriente principal de la cuenca; nace en el sector de San Miguel del Parque Nacional Natural los Farallones de Cali a 3.900 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), y recorre 58,62 kilómetros. Inicialmente su trayectoria tiene una dirección norte-sur a la altura del Corregimiento de Puente Vélez, cambiando posteriormente a sur-norte hasta llegar al abanico aluvial del valle geográfico del río Cauca en el sector de la Viga, para terminar en dirección oeste-este en la desembocadura del río Cauca, en el sector conocido como Bocas del Palo a 950 m.s.n.m. Los principales tributarios en orden de importancia por caudal son: el río Pance, el río Jordán y la Quebrada Chontaduro<sup>5</sup>.

En la Figura 3 se presenta la subzona hidrográfica Ríos Claro y Jamundí.

---

<sup>5</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Jamundí, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2010. p. 23

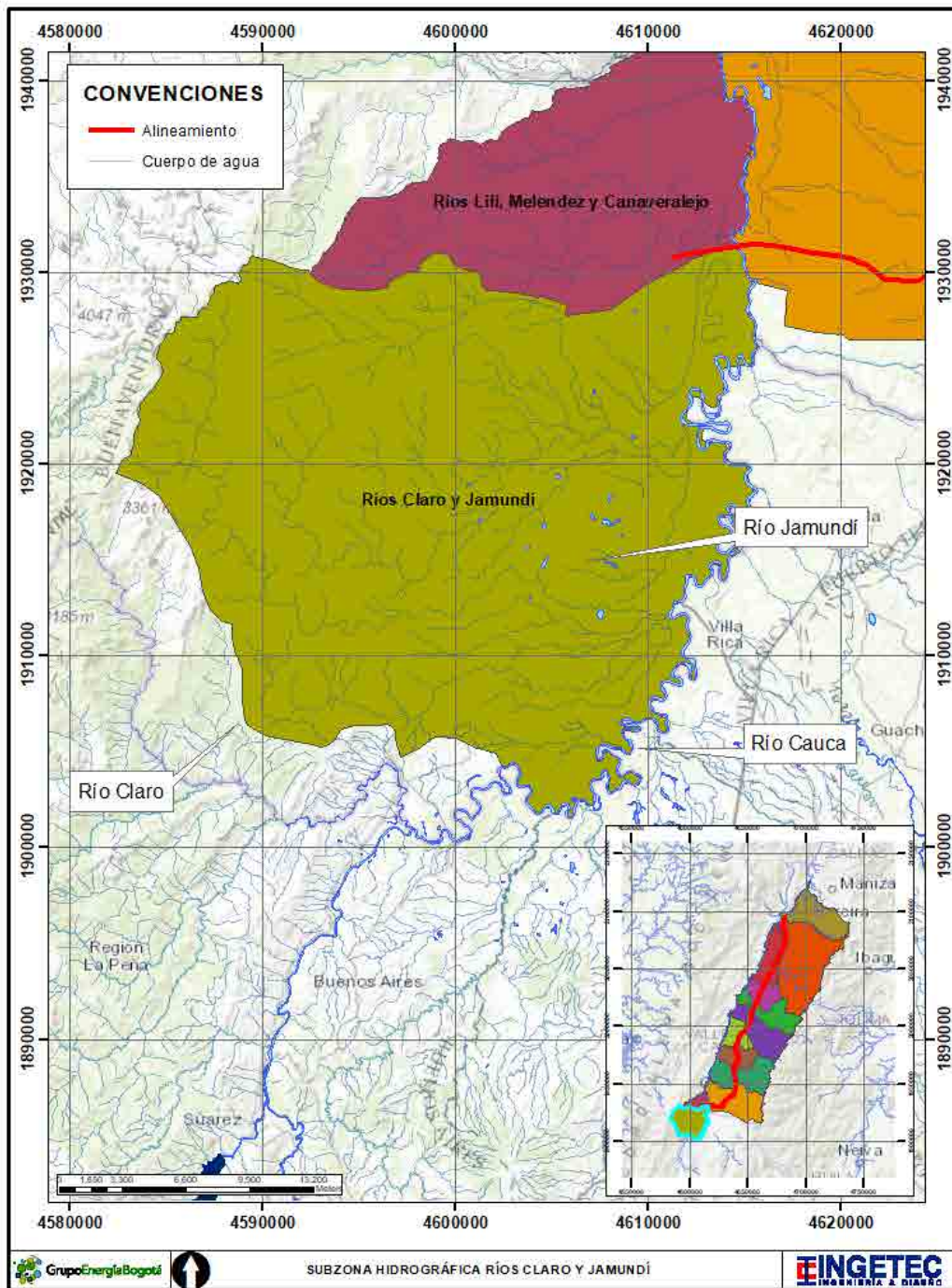


Figura 3. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Claro y Jamundí.  
 Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).





- Sub-Zona Hidrográfica Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo - Código 2630

El río Lili nace en la cordillera occidental y entrega sus aguas al canal interceptor sur, en el casco urbano de la ciudad de Cali, que finalmente desemboca en la margen izquierda del río Cauca. La cuenca del río Lili posee un área de 2.726 ha; limita al norte y occidente con la cuenca del río Meléndez, al sur con la cuenca del río Pance y al oriente con el casco urbano del municipio de Santiago de Cali<sup>6</sup>.

El río Meléndez nace en la cordillera occidental en el sector La Corea a 2.800 msnm y entrega sus aguas al canal interceptor sur, en el casco urbano de la ciudad de Cali, que finalmente desemboca en la margen izquierda del río Cauca; esta cuenca pertenece a la cuenca de tercer orden denominada Lili-Meléndez-Cañaveralejo. La cuenca del río Meléndez posee un área de 4.991 ha; limita al norte con las cuencas de los ríos Pichindé y Cañaveralejo, al sur con las cuencas de los ríos Pance y Lili, al oriente con el casco urbano del municipio de Santiago de Cali y la cuenca del río Cañaveralejo y al occidente con las cuencas de los ríos Pance y Pichindé<sup>7</sup>.

La cuenca del río Cañaveralejo posee un área de 3.026 has; limita al norte con la cuenca del río Cali, al sur con la cuenca del río Meléndez, al oriente con el casco urbano del municipio de Santiago de Cali y al occidente con la cuenca del río Pichindé. El río Cañaveralejo nace a 1.800 msnm, en un sitio conocido como El Faro en la cordillera occidental en el Parque Nacional Natural Los Farallones de Cali, vereda Carolina – Las Brisas. El río entrega sus aguas al canal interceptor sur, en el casco urbano de la ciudad de Cali, que finalmente desemboca en la margen izquierda del río Cauca; esta cuenca pertenece a la cuenca de tercer orden denominada Lili-Meléndez-Cañaveralejo<sup>8</sup>.

En la Figura 4 se presenta la subzona hidrográfica Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo.

---

<sup>6</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Balance oferta – Demanda de agua cuenca del río Lili... p. 1

<sup>7</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Balance oferta – Demanda de agua cuenca del río Meléndez... p. 1

<sup>8</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Balance oferta – Demanda de agua cuenca del río Cañaveralejo. p. 1

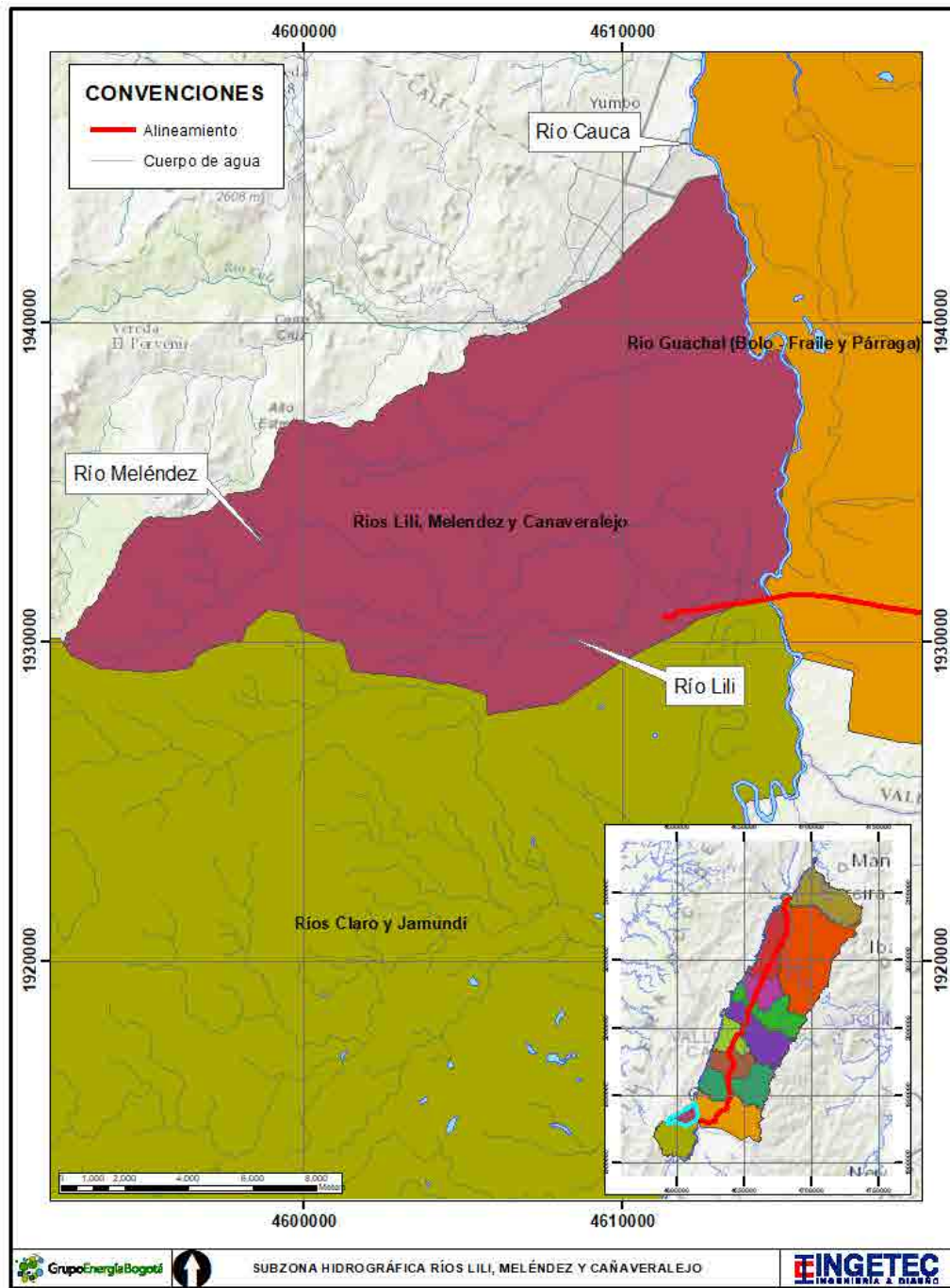


Figura 4. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo.  
 Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

---

#### 5.1.6.2.1.3. Tributarios del río Cauca margen derecha

La línea eléctrica de transmisión, cruza diez subzonas hidrográficas localizadas en la margen derecha del río Cauca. La descripción de los cuerpos principales que conforman las subzonas hidrográficas, se realizó a partir de la información contenida en los POMCAs disponibles en el portal oficial de la CVC.

- Subzona hidrográfica Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga) - Código 2607

El río Guachal se localiza en el extremo suroriental del departamento del Valle del Cauca, se forma en la confluencia de los ríos Fraile y Bolo en el municipio de Palmira, se desarrolla en dirección noroeste hasta desembocar en el río Cauca aproximadamente a 930 m.s.n.m. El río Fraile que nace en el páramo de Las Hermosas en el municipio de Florida, Valle del Cauca a 4.000 m.s.n.m. aproximadamente, fluye en dirección oeste hasta la confluencia con el río Bolo. El río Bolo nace aproximadamente a 4.000 m.s.n.m. en el municipio de Pradera, fluye en dirección oeste pasando por el municipio de Candelaria hasta la confluencia con el río Fraile, en el municipio de Palmira<sup>9</sup>.

En la Figura 5 se presenta la subzona hidrográfica Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga).

---

<sup>9</sup> Grupo Energía Bogotá. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto La Virginia Alférez, Refuerzo Suroccidental a 500 kV. Capítulo 3 Caracterización del área de influencia del proyecto - Numeral 3.2.4 Hidrología. 2018. p. 18



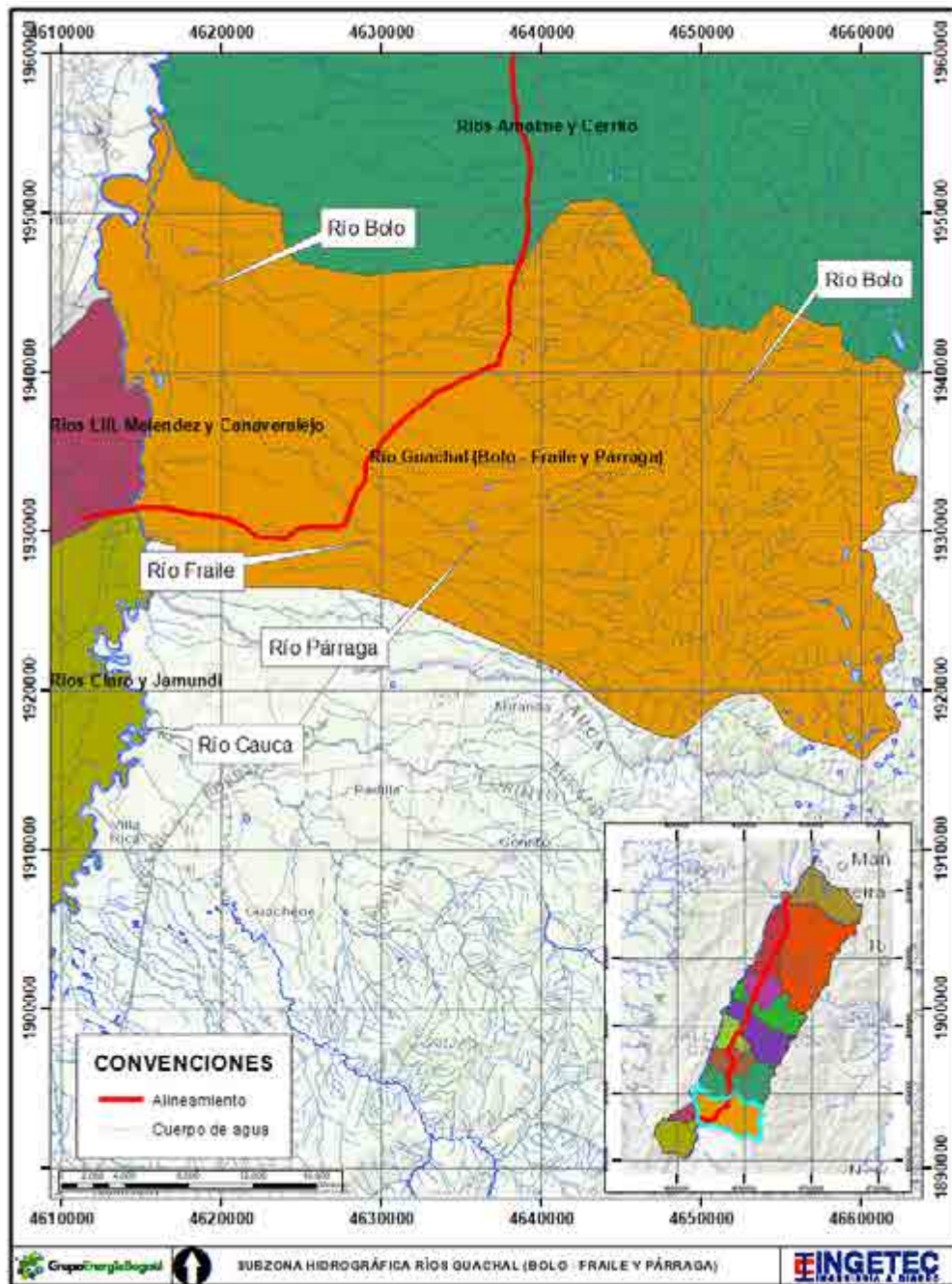


Figura 5. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Guachal (Bolo - Fraile y Párraga).

Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

- Subzona hidrográfica Ríos Amaime y Cerrito - Código 2609

La cuenca del río Amaime presenta un patrón de drenaje erosional con un sistema de drenaje subdendrítico de corrientes superficiales con cauces de todo orden. Se destacan como principales afluentes las quebradas Teatino, El Encanto, La Tigrera y Los Chorros, así como los ríos Nima, Cabuyal, Toche y Coronado. La Quebrada La Tigrera, el Río Coronado y el Nima hacen el mayor aporte de caudal<sup>10</sup>.

La cuenca hidrográfica del río Cerrito, se localiza en el suroccidente de Colombia en el sur del departamento del Valle del Cauca, en el flanco occidental de la cordillera central. El área de la cuenca es de 12.642,7 ha. Se extiende desde el río Cauca, en el valle geográfico hasta la cuchilla conocida como Las Domínguez en la cordillera Central, con alturas que van desde los 935 hasta los 3.850 msnm. Los principales afluentes del río Cerrito son: Quebrada Cerrito adentro, Cristalina, Las Cañadas Dos Quebradas, La Ventura y La Balastrera, Quebrada Venecia y Quebrada La Honda<sup>11</sup>.

En la Figura 6 se presenta la subzona hidrográfica Ríos Amaime y Cerrito.

---

<sup>10</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Amaime. Santiago de Cali. 2013. p. 64

<sup>11</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Cerrito. Santiago de Cali. 2013. p. 46 y 51.

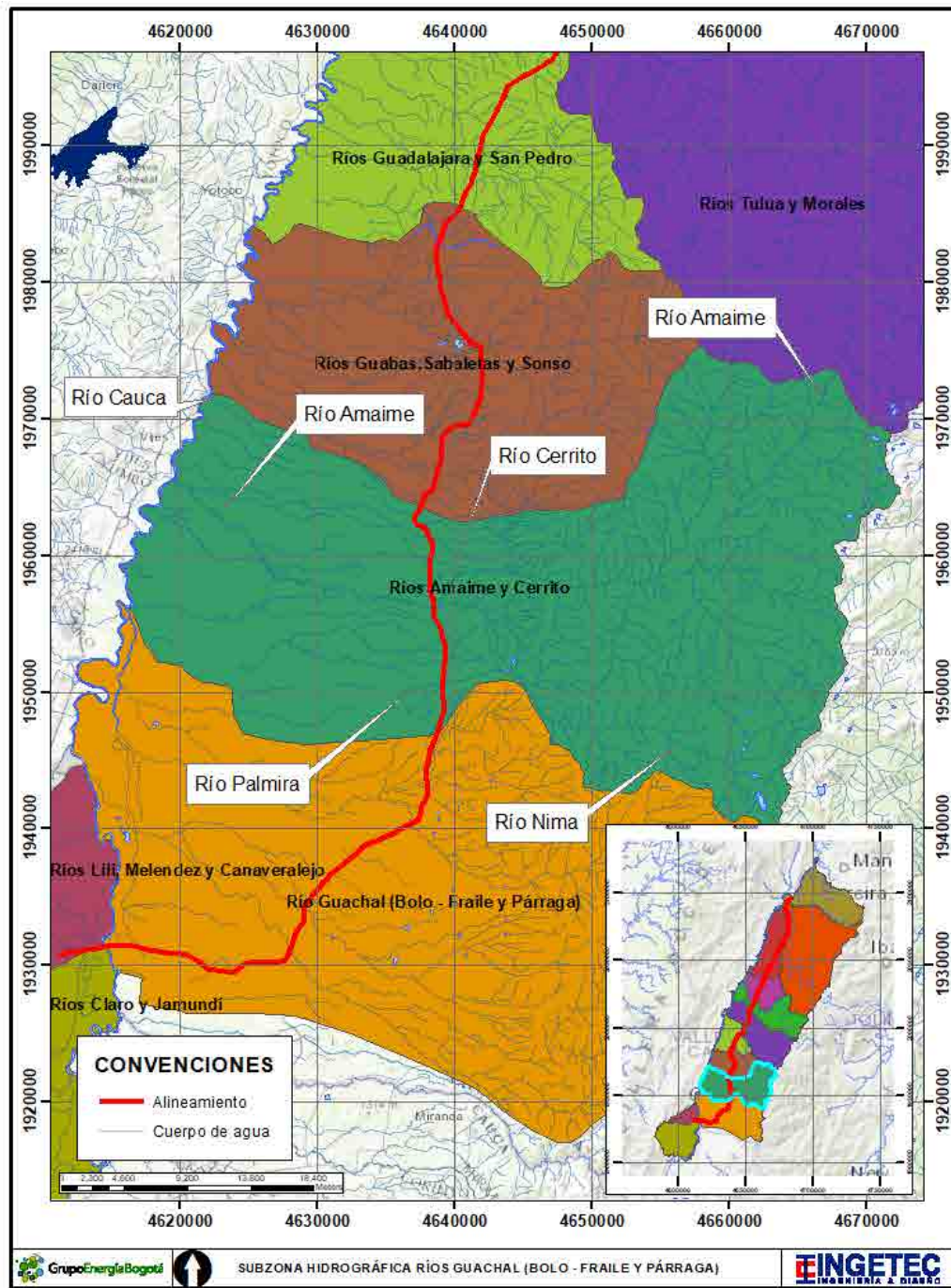


Figura 6. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Amaimé y Cerrito.  
Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

- Subzona hidrográfica Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso - Código 2632

El río Guabas nace a una altura de 3.400 msnm y tiene una extensión de 42,116 km hasta su desembocadura a 935 msnm, en la margen derecha del río Cauca; su caudal medio es de 3.55 m<sup>3</sup>/seg y su área de drenaje es de 11.692 ha.

Las corrientes superficiales que conforman la cuenca en la zona montañosa son la quebrada Las Herosas y la quebrada La Cecilia las cuales se unen en el centro poblado denominado Juntas, sitio desde el cual se conforma el cauce principal del río Guabas. A partir de este punto el río recibe como afluentes por la margen derecha a las quebradas de Juntas, La Victoria, Campo Alegre, Cocuyos, Lulos y La Magdalena; y por la margen izquierda, a las quebradas El Salado, El Silencio, Galarza y el río Flautas.

En la zona plana se identifican pocos drenajes, entre los cuales se destacan los Zanjones: El Pailón, El Asombro y El Guabito, los cuales reciben aguas sobrantes que son asignadas para su uso en los sistemas productivos agropecuarios<sup>12</sup>.

En la Figura 7 se presenta la subzona hidrográfica Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso.

---

<sup>12</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guabas. Santiago de Cali. 2009. p. 38 y 67.



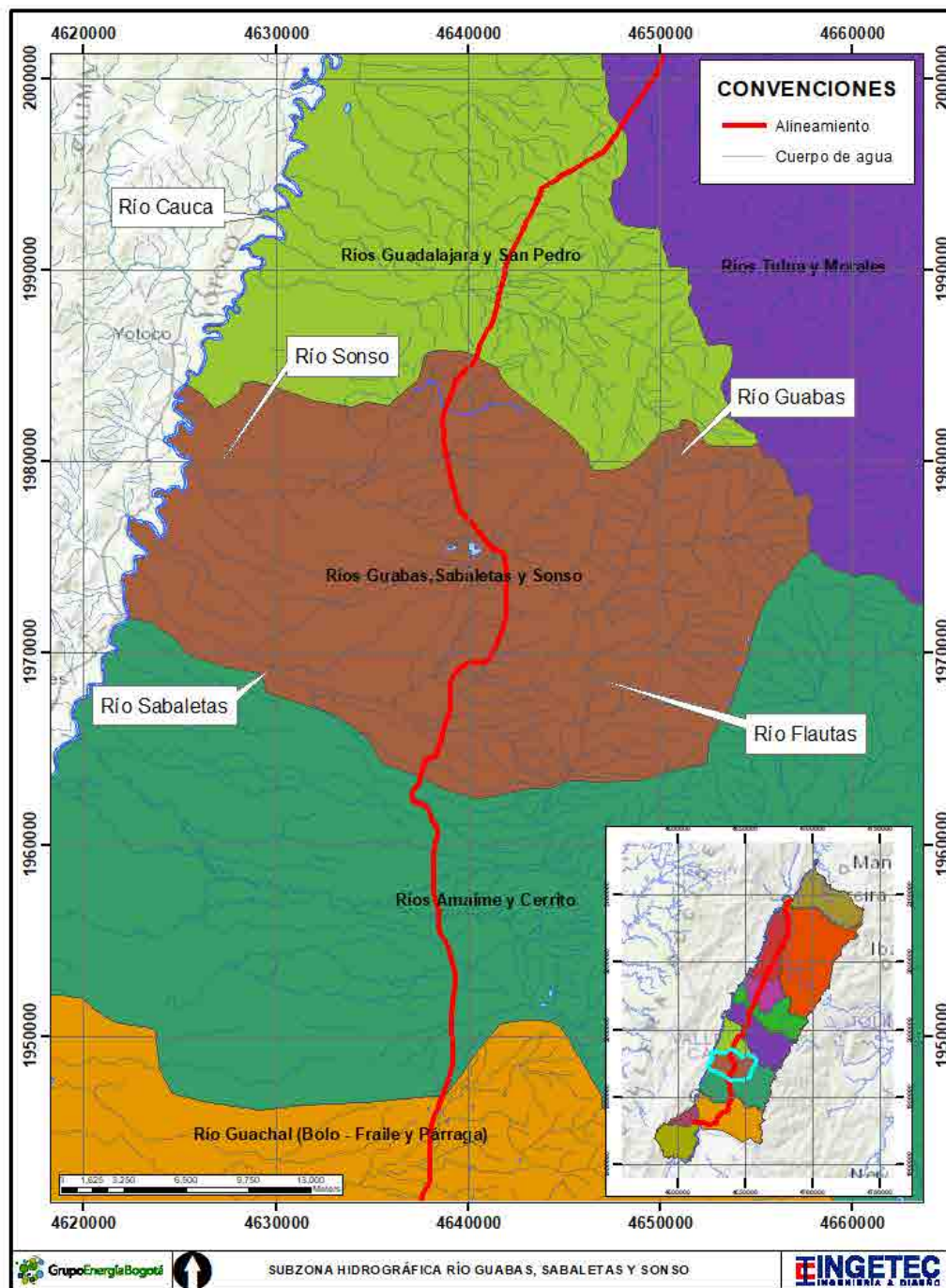


Figura 7. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Guabas, Sabaletas y Sonso.  
Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).



- Subzona hidrográfica Ríos Guadalajara y San Pedro - Código 2633

El POMCA del río Guadalajara, menciona que el límite de la reserva forestal protectora de Buga coincide con la divisoria de aguas (parteaguas) del río Guadalajara, lo que significa que en la reserva nace este río. La reserva conforma la parte alta de la cuenca del río Guadalajara, con alturas que van desde los 1.380 msnm, cerca de la confluencia de la quebrada el Janeiro al río Guadalajara, hasta los 3.750 msnm en el páramo de Pan de Azúcar.

El área de la cuenca es de 30.979,31 hectáreas. Se extiende desde el río Cauca, en el valle geográfico hasta el páramo de Las Dominguez en la cordillera Central (cerro Pan de Azúcar), con alturas que van desde los 930 hasta los 3.750 msnm . El 65,76% del área corresponde a la zona de ladera y el 34,23% al valle geográfico del río Cauca o zona plana<sup>13</sup>.

La quebrada San Pedro nace en las estribaciones de la cordillera Central, en el corregimiento de Buenos Aires, entrega sus aguas al zanjón Burrigá y éste al río Cauca. Desde su nacimiento hasta el sitio donde se localiza la primera derivación, la cuenca tiene un área de 2353 hectáreas. En su recorrido de 38 Km desciende desde los 2150 m.s.n.m. en su nacimiento, hasta los 960 m.s.n.m. aproximadamente en el zanjón Burrigá. Los principales afluentes de la cuenca de la quebrada San Pedro son la quebrada Presidente, El Yeso y Totocal<sup>14</sup>.

En la Figura 8 se presenta la subzona hidrográfica Ríos Guadalajara y San Pedro.

---

<sup>13</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guadalajara. Santiago de Cali. 2011. p. 26 y 67.

<sup>14</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la quebrada San Pedro. Santiago de Cali. 2008. p. 47 y 52.



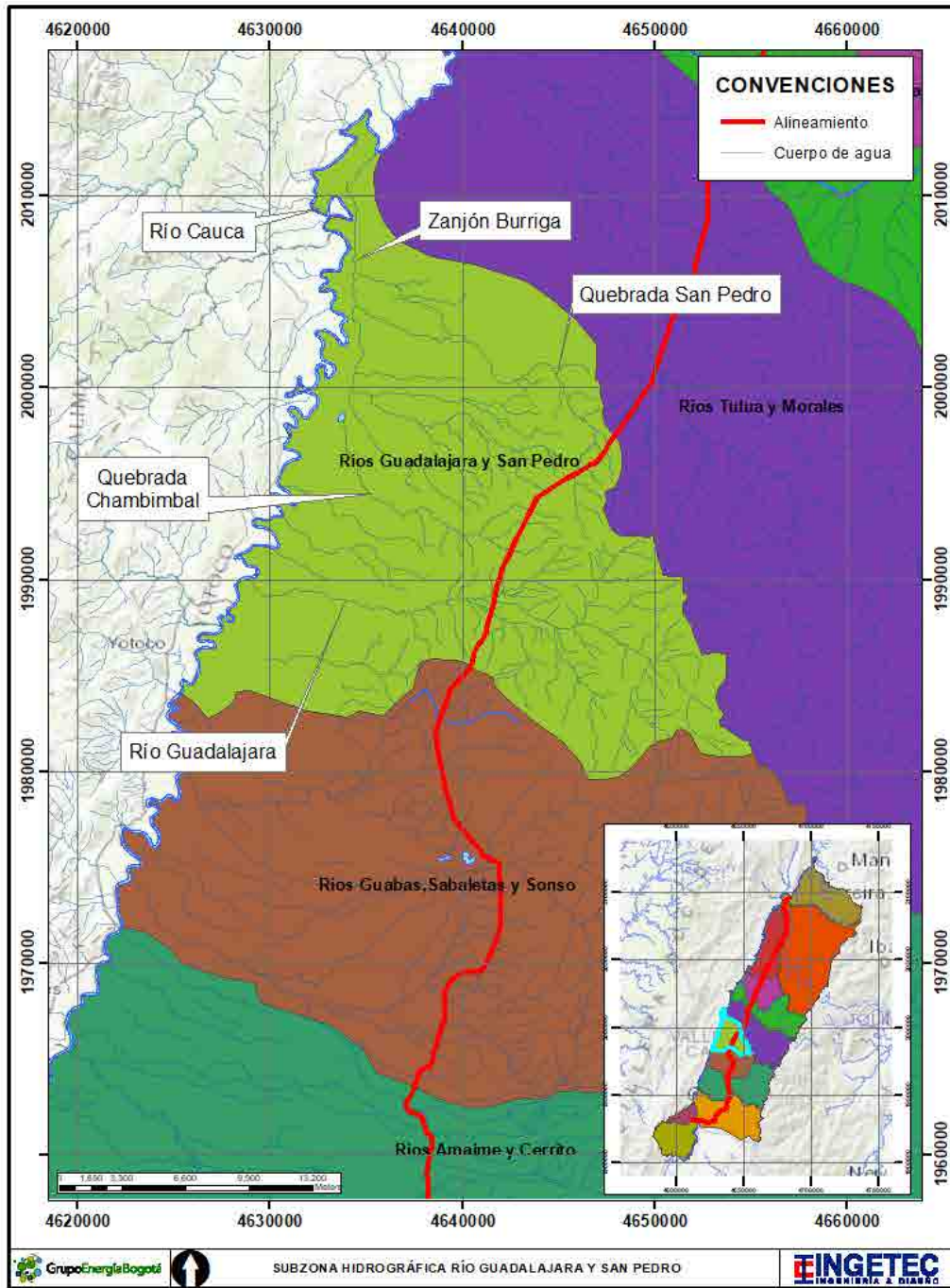


Figura 8. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Guadalajara y San Pedro.  
Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

- Subzona hidrográfica Ríos Tuluá y Morales - Código 2610

El río Tuluá nace en la laguna de las Mellizas, zona del Parque Nacional Natural de las Hermosas, a una cota aproximada de 3500 m.s.n.m., en la vereda de Río Loro en el municipio de Buga, fluye en dirección este – oeste, pasando por el casco urbano del municipio de Tuluá, hasta desembocar en el río Cauca en la vereda Bocas de Tuluá, en el mismo municipio. El río Morales nace en la vereda Puerto Frazadas en el municipio de Tuluá, Valle del Cauca, aproximadamente a una altura de 2750 m.s.n.m.<sup>15</sup>

“La cuenca del río Tuluá tiene un área de 914,95 km<sup>2</sup> y está conformada por las subcuencas de los ríos: Cofre, Loro, zona alta río Tuluá, San antonio, San Marcos, quebrada Nogales, zona media río Tuluá y zona baja río Tuluá. La subcuenca más grande de la cuenca del río Tuluá es la del río Cofre, con una participación territorial del 24,81% del área total de la cuenca”<sup>16</sup>.

En la Figura 9 se presenta la subzona hidrográfica Ríos Tuluá y Morales.

---

<sup>15</sup> Grupo Energía Bogotá. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto La Virginia Alférez, Refuerzo Suroccidental a 500 kV. Capítulo 3 Caracterización del área de influencia del proyecto - Numeral 3.2.4 Hidrología. 2018. p. 24

<sup>16</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Tuluá, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2011. p. 63 y 64

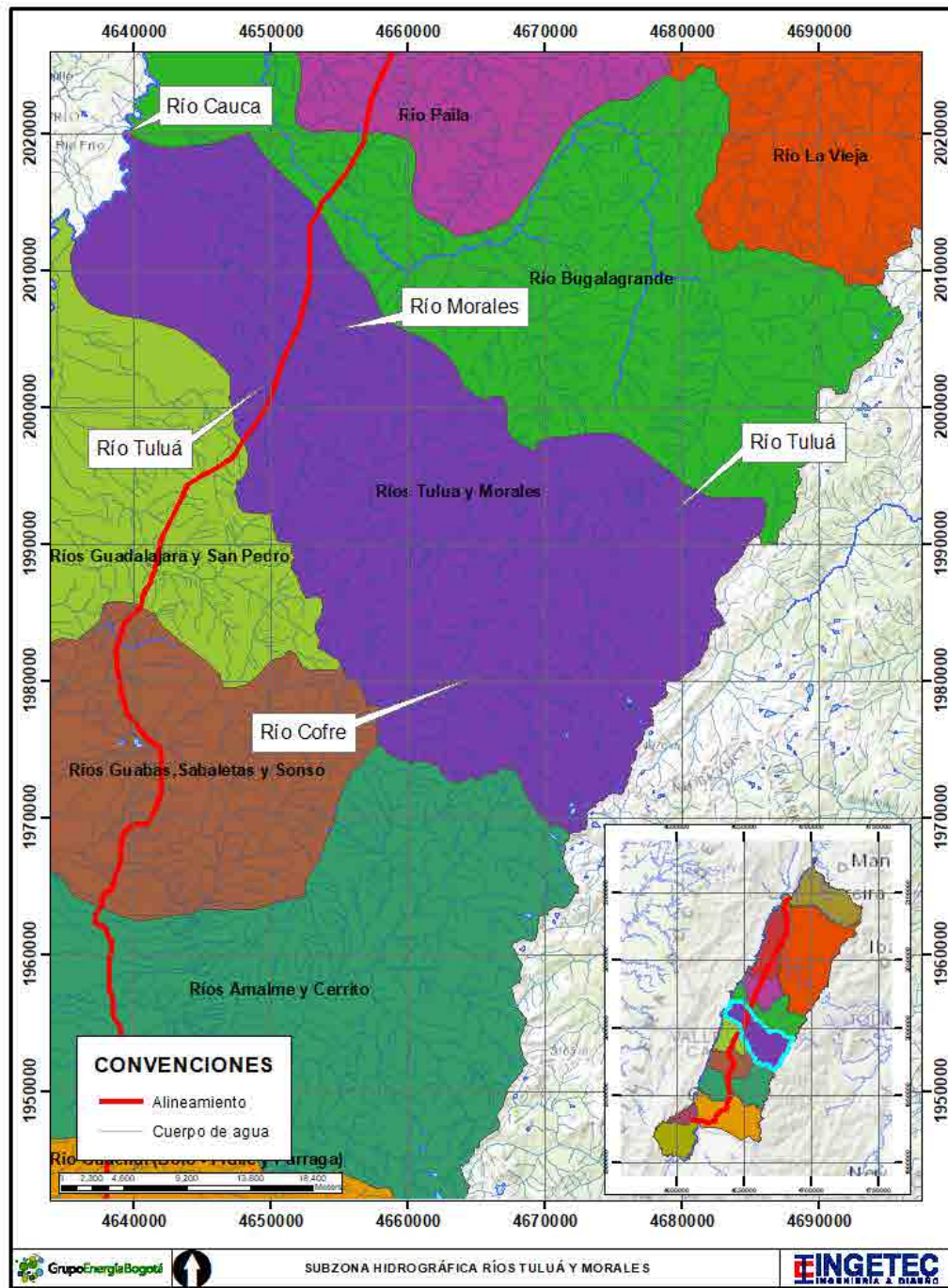


Figura 9. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Tuluá y Morales.  
Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

- Subzona hidrográfica Río Bugalagrande - Código 2635

El río Bugalagrande nace en la vereda Peñas Blancas, en el municipio de Sevilla, Valle del Cauca, aproximadamente a 3600 m.s.n.m., en la Cordillera Central; discurre en sentido sur-norte en la parte alta de la cuenca, hasta la vereda Irlanda en el municipio de Sevilla, donde presenta un cambio de dirección, posiblemente causado por un fuerte control litológico en la zona, finalmente fluye en sentido este-oeste, pasando por la cabecera municipal de Bugalagrande, hasta desembocar en el río Cauca, a una cota aproximada de 916 m.s.n.m. en la vereda El Overo, en el mismo municipio<sup>17</sup>.

En la Figura 10 se presenta la subzona hidrográfica Río Bugalagrande.

---

<sup>17</sup> Grupo Energía Bogotá. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto La Virginia Alférez, Refuerzo Suroccidental a 500 kV. Capítulo 3 Caracterización del área de influencia del proyecto - Numeral 3.2.4 Hidrología. 2018. p. 25



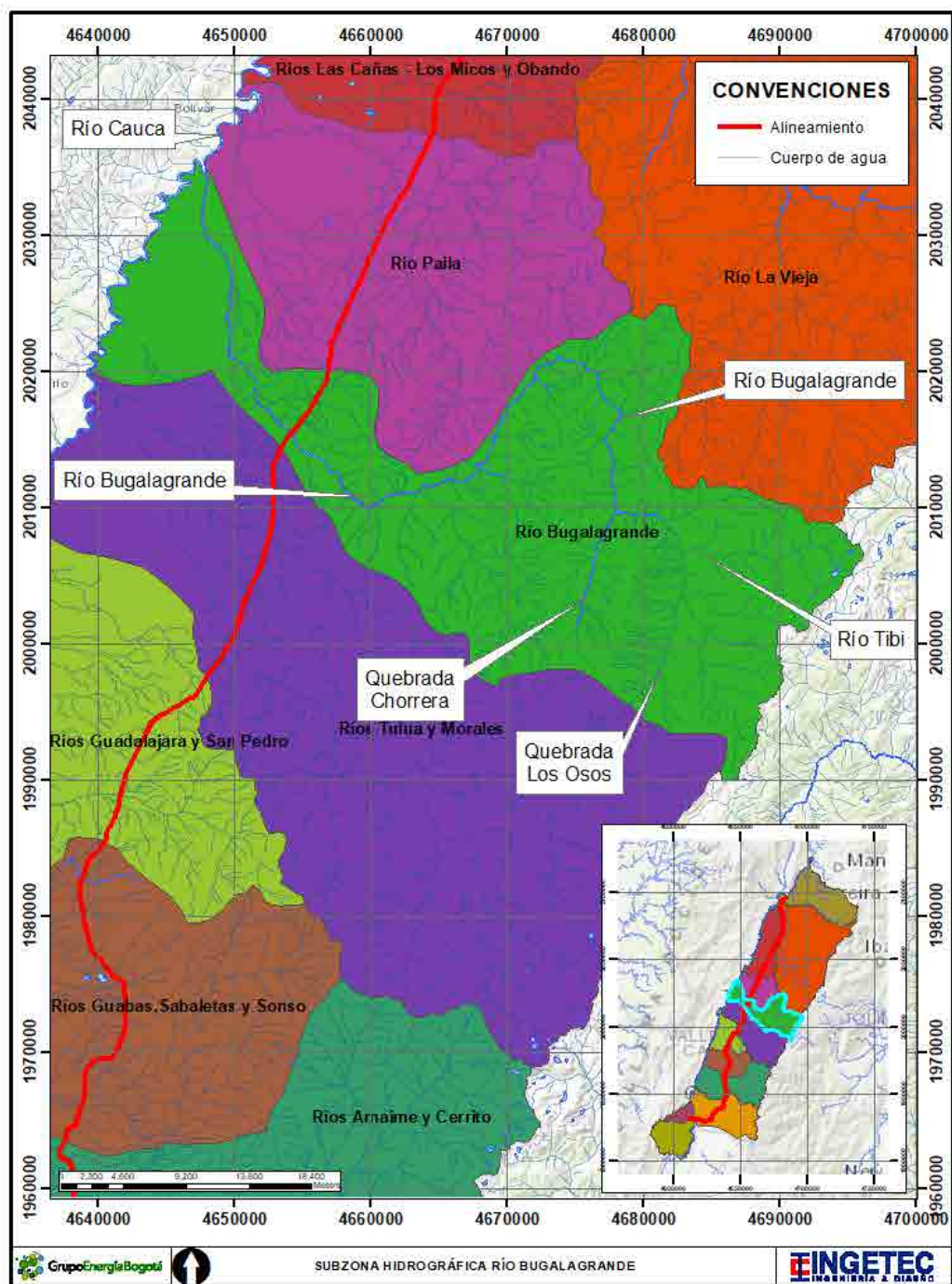


Figura 10. Localización de la subzona hidrográfica del río Bugalagrande.  
Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

- Subzona hidrográfica Río Paila - Código 2636

El territorio correspondiente a la cuenca hidrográfica del río La Paila hace parte del área Magdalena-Cauca, zona río Cauca, este río drena sus aguas originadas desde su máxima altura la cota 2.150 m.s.n.m, sobre la vertiente occidental de la cordillera central en su flanco medio que en descenso llegan hasta la cota 950 m.s.n.m donde son entregadas por la orilla derecha del río Cauca.

Son 44.103 hectáreas las que constituyen el área superficial de la cuenca, conformando paisajes de montañas, colinas, piedemonte y valles; surcados por cuatro afluentes que entregan sus aguas al río La Paila en diferentes puntos de sus 64,1 kilómetros de longitud. Se pueden mencionar: el río San Marcos, la quebrada Tetillal, la quebrada San Pablo, el río Totoró<sup>18</sup>.

En la Figura 11 se presenta la subzona hidrográfica Río Paila.

---

<sup>18</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río La Paila. Santiago de Cali. 2009. p. 53.



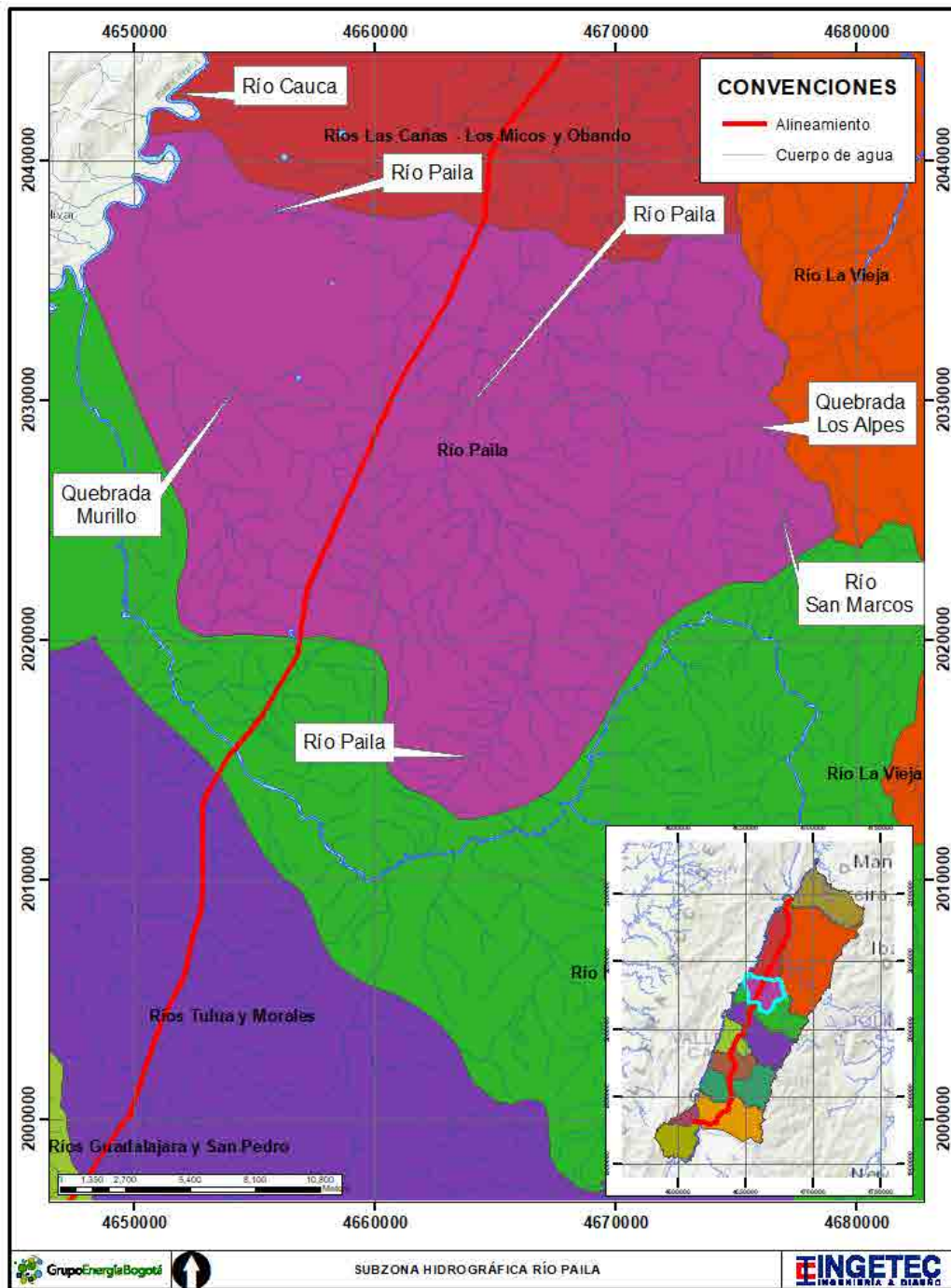


Figura 11. Localización de la subzona hidrográfica del río Paila.  
Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

- Subzona hidrográfica Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando - Código 2637

La cuenca hidrográfica de la quebrada Obando está ubicada en la vertiente occidental de la cordillera Central, margen derecha aguas abajo del valle geográfico del río Cauca y abarca un área aproximada de 28.009 has. La cual se distribuye en una zona plana o baja, una zona media de colinas-piedemonte y baja ladera, y una zona alta o de mayor ladera. Sus principales afluentes son las quebradas Balsora, Cominales, Sande, Naranjo-Obando, Pedro Sánchez, Cruces y El Salto; y su desembocadura es en la margen derecha del río Cauca<sup>19</sup>.

En la Figura 12 se presenta la subzona hidrográfica Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando.

---

<sup>19</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la quebrada Obando. Santiago de Cali. 2009. p. 19 y 20.

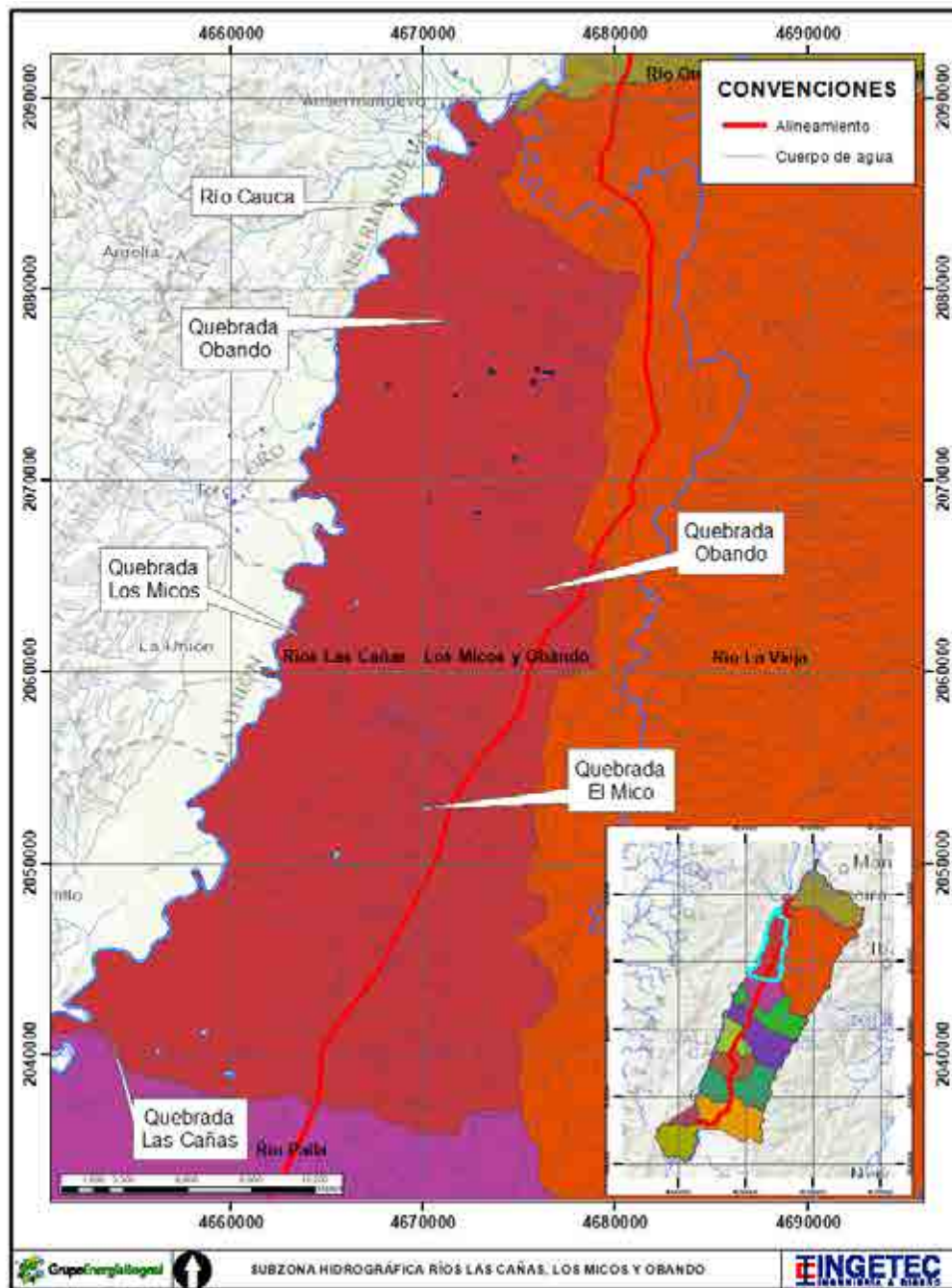


Figura 12. Localización de la subzona hidrográfica de los ríos Las Cañas - Los Micos y Obando.

Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

- Subzona hidrográfica Río La Vieja - Código 2612

Desde el punto de vista hidrográfico, el río La Vieja forma parte de la cuenca del río Cauca, el cual forma parte de la cuenca del Magdalena - Cauca y de la vertiente del Mar Caribe. Nace y se desarrolla en la vertiente occidental de la cordillera Central de Colombia y sus tributarios en la parte alta son los ríos Barragán y Quindío, a partir de cuya confluencia estas dos corrientes pierden su nombre original.

La cuenca tiene una superficie de 284.968,47 hectáreas, de las cuales el 67,76% pertenece al Quindío (193.085,8 ha), el 10,59% a Risaralda (30.189,37 ha), y el 21,65% al Valle del Cauca (61.693,3 ha)<sup>20</sup>.



Fotografía 1. Río La Vieja. Municipio Cartago. Corregimiento La Iberia.  
E: 4650148,1; N: 2000862  
Fecha de toma: 15 de febrero de 2022

En la Figura 13 se presenta la subzona hidrográfica Río La Vieja.

---

<sup>20</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2018. p. 33.



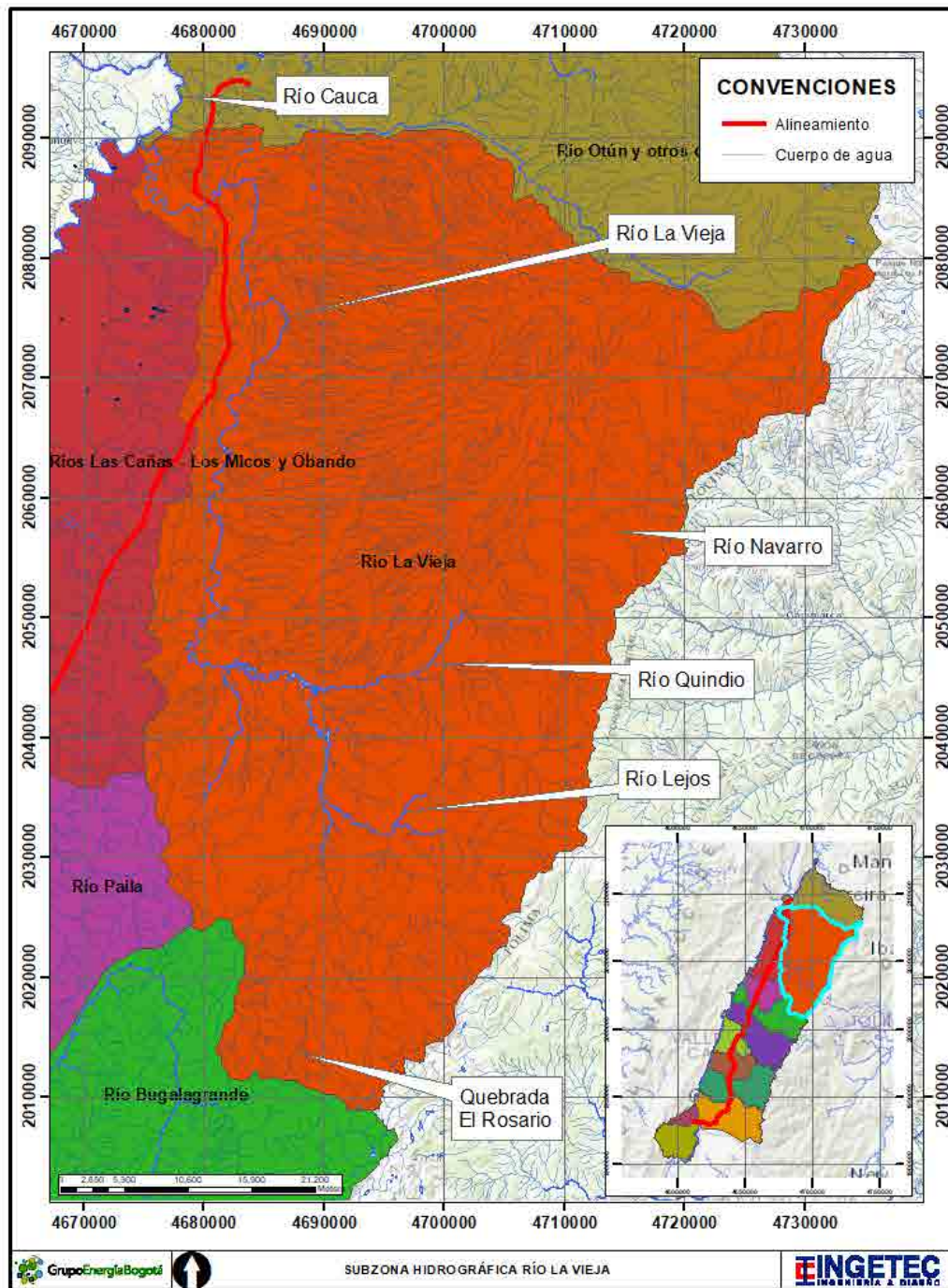


Figura 13. Localización de la subzona hidrográfica del río La Vieja.  
Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM. Zonificación hidrográfica. (2013).

- 
- Subzona hidrográfica Río Otún y otros directos al Cauca - Código 2613

El río Otún nace en la Laguna del Otún, en el Departamento de Risaralda y desemboca en el río; el área de influencia del proyecto se localiza en la cuenca de afluentes directos al río Cauca, como las quebradas Grande, Hato Viejo, el Muerto y la Pedregosa, las cuales fluyen en sentido este – oeste hasta desembocar directamente en el río Cauca<sup>21</sup>.

En la Figura 14 se presenta la subzona hidrográfica Río Otún y otros directos al Cauca.

---

<sup>21</sup> Grupo Energía Bogotá. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto La Virginia Alférez, Refuerzo Suroccidental a 500 kV. Capítulo 3 Caracterización del área de influencia del proyecto - Numeral 3.2.4 Hidrología. 2018. p. 23





### 5.1.6.2.2. Identificación de sistemas lénticos

Los cuerpos de agua lénticos corresponden a aquellos que presentan un movimiento muy bajo o nulo del agua y su corriente no tiene un sentido definido, como lagos, pantanos, madre vieja o meandros abandonados, esteros y embalses, entre otros. En la Tabla 5, se presentan los sistemas lénticos más importantes de las doce subzonas hidrográficas sobre las cuales se desarrolla el proyecto.

Tabla 5. Sistemas lénticos más importantes de las subzonas hidrográficas identificadas.

Subzona hidrográfica	Sistema léntico	Este	Norte
Ríos Amaime y Cerrito	Laguna La Negra	4670688,61	1968560,76
	Laguna Santa Teresa	4662358,53	1941959,32
	Humedal El Conchal	4622216,95	1971166,79
Ríos Tuluá y Morales	Laguna Chilicote	4644451,16	2009389,18
	Laguna Las Mellizas	4683097,76	1988364,64
	Laguna La Rusia	4676123,59	1978544,88
	Laguna Tres Estrellas	4671562,53	1976086,77
	Laguna Los Patos	4675457,08	1972590,71
	Laguna El Espejo Alto	4674922,63	1971942,62
	Laguna Tres Américas	4672072,91	1970465,76
Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso	Humedal Videles	4623389,69	1975807,52
Ríos Guadalajara y San Pedro	Laguna de Sonso o Ciénaga del Chircal	4628331,49	1985338,16
	Humedal El Cedral	4633157,70	1999411,69
Río Paila	Humedal Zambrano	4652247,11	2037357,84
Ríos Claro y Jamundí	Madrevieja Caucaseco	(*)	(*)
	Laguna Charco Azul	(*)	(*)
	Laguna Marañon	4612927,23	1927152,21
	Laguna Pailita	(*)	(*)
	Laguna Pascual	(*)	(*)
Ríos Claro y Jamundí	Laguna Las Garzas	(*)	(*)

Subzona hidrográfica	Sistema léntico	Este	Norte
Ríos Claro y Jamundí	Caño El Estero	4612937,63	1929654,69

Fuente: POMCAS<sup>22</sup>.

(\*) No se pudo acceder a las coordenadas de localización de los cuerpos lénticos, sin embargo en el Plan de manejo ambiental integral de la laguna Charco Azul- Municipio de Santiago de Cali<sup>23</sup>, se presenta una figura con la ubicación de las lagunas.

De la cartografía IGAC a escala 25 000, la visita de campo y la ortofoto del proyecto, en la zona de servidumbre de la línea de transmisión eléctrica, se identificaron 5 lagunas, 2 pantanos y otros 24 cuerpos de agua, cuya área superficial varía desde las 0,032 ha hasta 10,306 ha y en un buffer de 300 m desde el eje de la línea de transmisión se identificaron 214 cuerpos lénticos (Tabla 7).

En la Tabla 6 se presentan las coordenadas de los sistemas lénticos identificados en la zona de servidumbre. Se resalta que los cuerpos de agua no se encuentran intervenidos por zonas destinadas a sitios de torre, patios de almacenamiento o plazas de tendido. Desde la Figura 15 hasta la Figura 20 se presenta la localización de las lagunas identificadas.

Desde la Fotografía 2 hasta la Fotografía 4 se presentan algunos cuerpos de agua identificados.

<sup>22</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Jamundí, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2010.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Amaime. Santiago de Cali. 2013.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Cerrito. Santiago de Cali. 2013.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Tuluá, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2011.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2018.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guabas. Santiago de Cali. 2009.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guadalajara. Santiago de Cali. 2011.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la quebrada San Pedro. Santiago de Cali. 2008.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río La Paila. Santiago de Cali. 2009.

<sup>23</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de manejo ambiental integral de la laguna Charco Azul- Municipio de Santiago de Cali. Santiago de Cali. 2010. p. 201.

Tabla 6. Sistemas lénticos identificados en la zona de servidumbre.

Número	Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
1	Laguna 1	2,193	4639128,664	1948719,891	Ortofoto	Entre TVA367VA y TVA366VA
2	Laguna 2	0,350	4670075,964	2049053,363	IGAC 25000, ortofoto y visita de campo	Entre TVA131N y TVA130N
3	Laguna 3	0,347	4664849,702	2040375,431	Ortofoto y visita de campo	Entre TVA155 y TVA154
4	Laguna 4	0,109	4666054,772	2042264,719	Ortofoto y visita de campo	Entre TVA148 y TVA149
5	Laguna 5	0,690	4620057,038	1930897,501	IGAC 25000, ortofoto y visita de campo	Entre TVA457V* y TVA456V*
6	Otros cuerpos agua 1	10,306	4613137,823	1931064,234	Ortofoto	Entre TVA470 y TVA469
7	Otros cuerpos agua 2	0,099	4670467,328	2049682,719	Ortofoto	Entre TVA129 y TVA128N
8	Otros cuerpos agua 3	0,076	4671386,049	2052684,782	Ortofoto	Entre TVA121 y TVA122
9	Otros cuerpos agua 4	0,497	4672539,694	2054765,278	Ortofoto	Entre TVA116 y TVA117
10	Otros cuerpos agua 5	0,087	4672945,015	2055485,858	Ortofoto	Entre TVA114 y TVA115
11	Otros cuerpos agua 6	0,088	4679500,418	2087363,222	Ortofoto	Entre TVA021 y TVA022
12	Otros cuerpos agua 7	0,091	4679936,924	2089196,945	Ortofoto	Entre TVA016 y TVA017
13	Otros cuerpos agua 8	0,045	4679284,130	2086766,596	Ortofoto	Entre TVA023V y TVA024
14	Otros cuerpos agua 9	0,199	4668281,542	2045734,527	Ortofoto	Entre TVA0139 y TVA140
15	Otros cuerpos agua 10	0,199	4669175,119	2047410,631	Ortofoto	Entre TVA135 y TVA136
16	Otros cuerpos agua 11	0,175	4652736,184	2009500,941	Ortofoto	Entre TVA224 y TVA225

Número	Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
17	Otros cuerpos agua 12	2,061	4638464,490	1946015,584	Ortofoto	Entre TVA372 a TVA373
18	Otros cuerpos agua 13	0,032	4658046,290	2024092,623	Ortofoto	Entre TVA191 y TVA192
19	Otros cuerpos agua 14	0,068	4659642,259	2027693,153	Ortofoto	Entre TVA183 y TVA184V*
20	Otros cuerpos agua 15	0,109	4659913,653	2028500,497	Ortofoto	Entre TVA181 y TVA182
21	Otros cuerpos agua 16	0,082	4673294,722	2055881,246	Ortofoto	Entre TVA113 y TVA114
22	Otros cuerpos agua 17	0,056	4680768,300	2092271,073	Ortofoto	Entre TVA009V* y TVA010V*
23	Otros cuerpos agua 18	1,564	4639026,068	1950600,662	Ortofoto	Entre TVA362 a TVA363
24	Otros cuerpos agua 19	0,146	4638841,122	1966479,202	Ortofoto	Entre TVA330VC1 a TVA331VC2
25	Otros cuerpos agua 20	0,059	4652655,681	2008317,890	Ortofoto	Entre TVA226 a TVA227
26	Otros cuerpos agua 21	0,084	4652810,025	2009648,228	Ortofoto	Entre TVA224 y TVA225
27	Otros cuerpos agua 22	0,122	4652801,140	2010670,735	Ortofoto	Entre TVA222 y TVA223
28	Otros cuerpos agua 23	0,069	4652772,450	2013249,576	Ortofoto	En TVA218
29	Otros cuerpos agua 24	0,304	4656846,143	2020322,518	Ortofoto	Entre TVA201 y TVA200
30	Pantano 1	3,301	4666342,950	2042541,221	Ortofoto	Entre TVA147 y TVA148
31	Pantano 2	2,309	4667361,823	2043956,610	Ortofoto y visita de campo	Entre TVA144N y TVA143

Nota: Los cuerpos de agua analizados se encuentran en la cartografía base/superficies de agua, en las siguientes capas o shapes: Otros cuerpos de agua, Pantano, Laguna y Jagüey.





Fotografía 2. Laguna 3. Vereda Vallejuelo.  
E: 4664849,702; N: 2040375,431  
Fecha de toma: 02 de diciembre de 2020



Fotografía 3. Pantano 1.  
E: 4666342,950; N: 2042541,221  
Fecha de toma: 05 de octubre de 2022



Fotografía 4. Pantano 2.  
E: 4667361,823; N: 2043956,610  
Fecha de toma: 05 de octubre de 2022



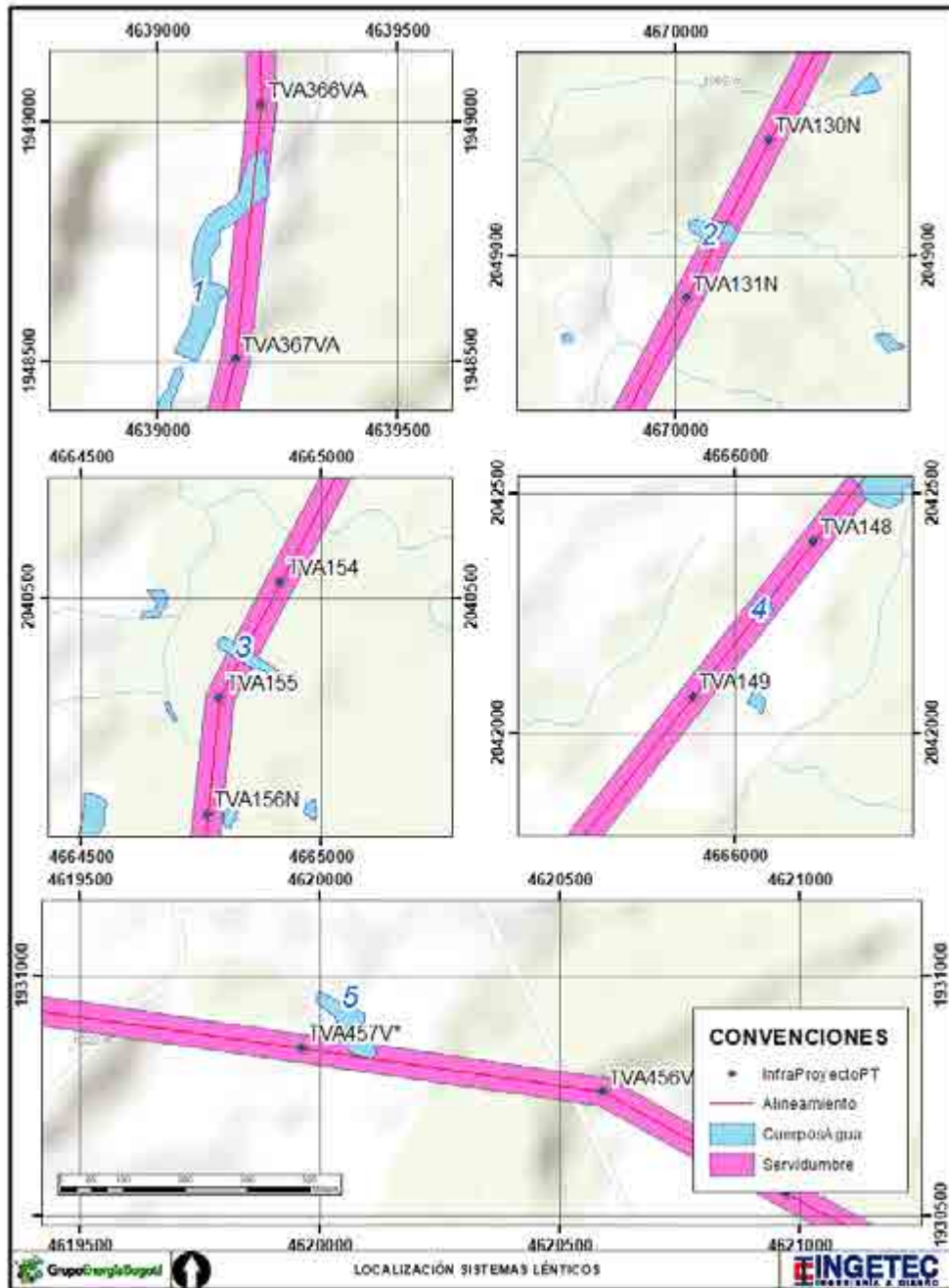


Figura 15. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 1 al 5 en la columna número.

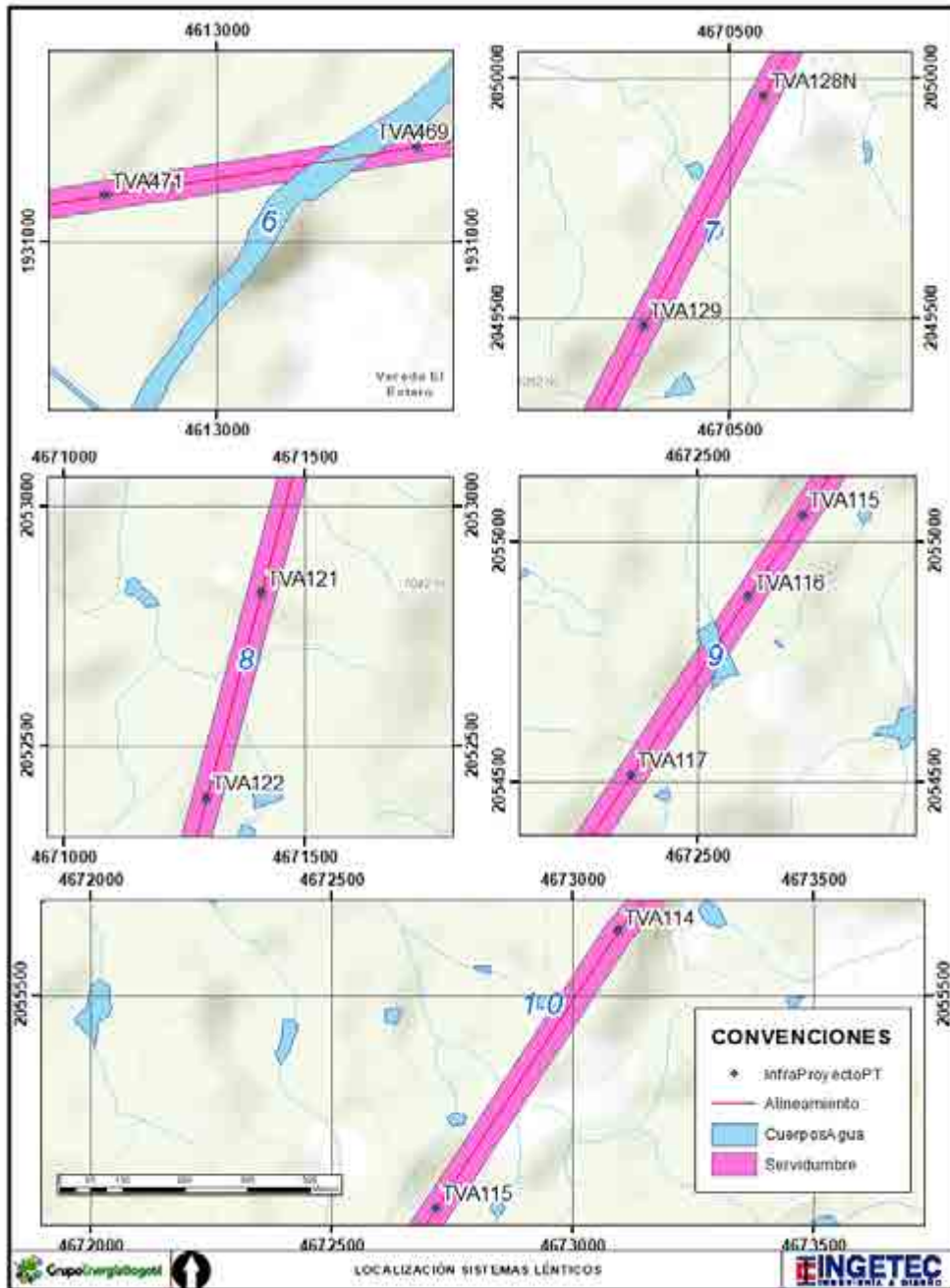


Figura 16. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 6 al 10 en la columna número.

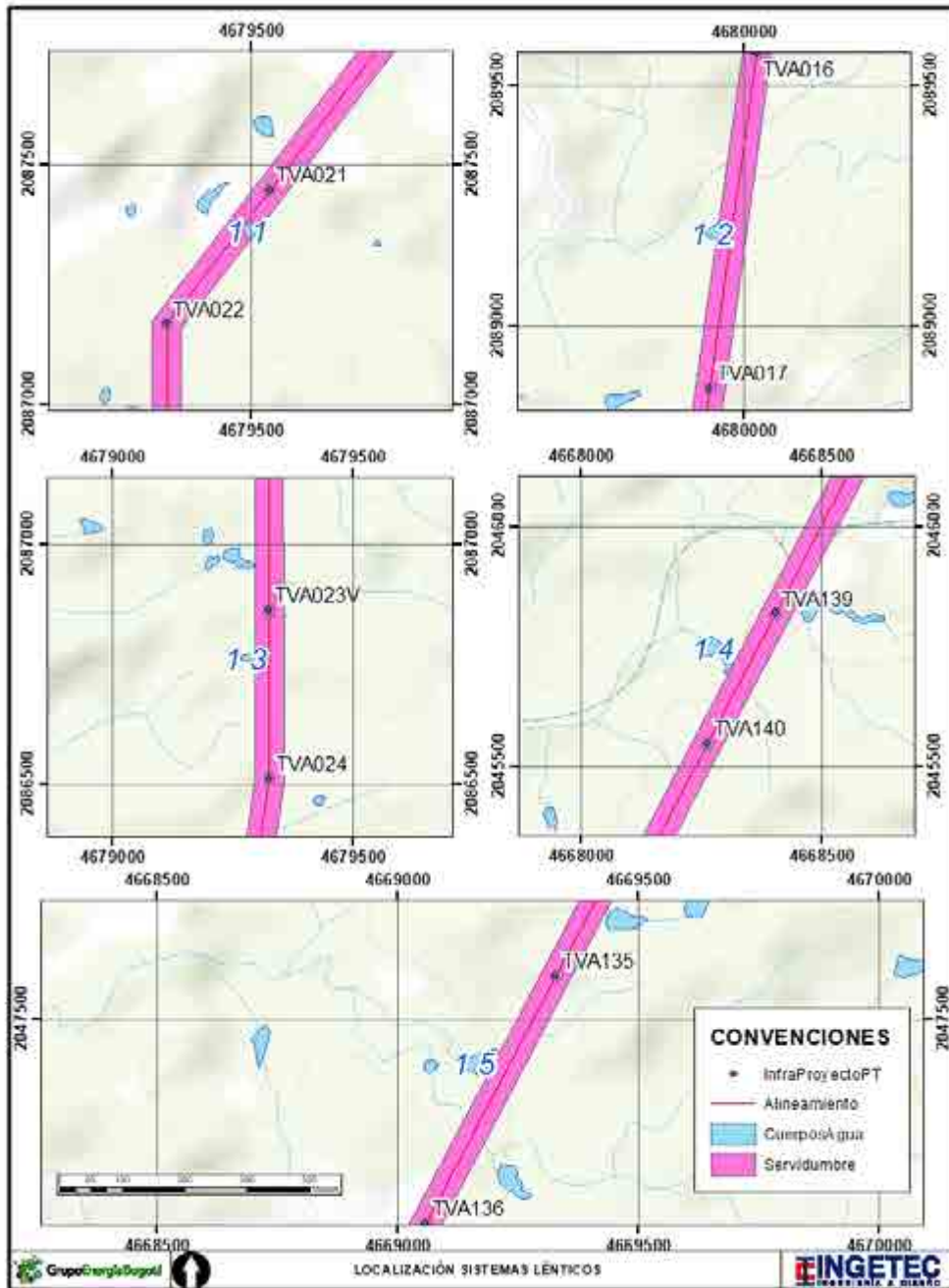


Figura 17. Localización de los sistemas lenticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 11 al 15 en la columna número.

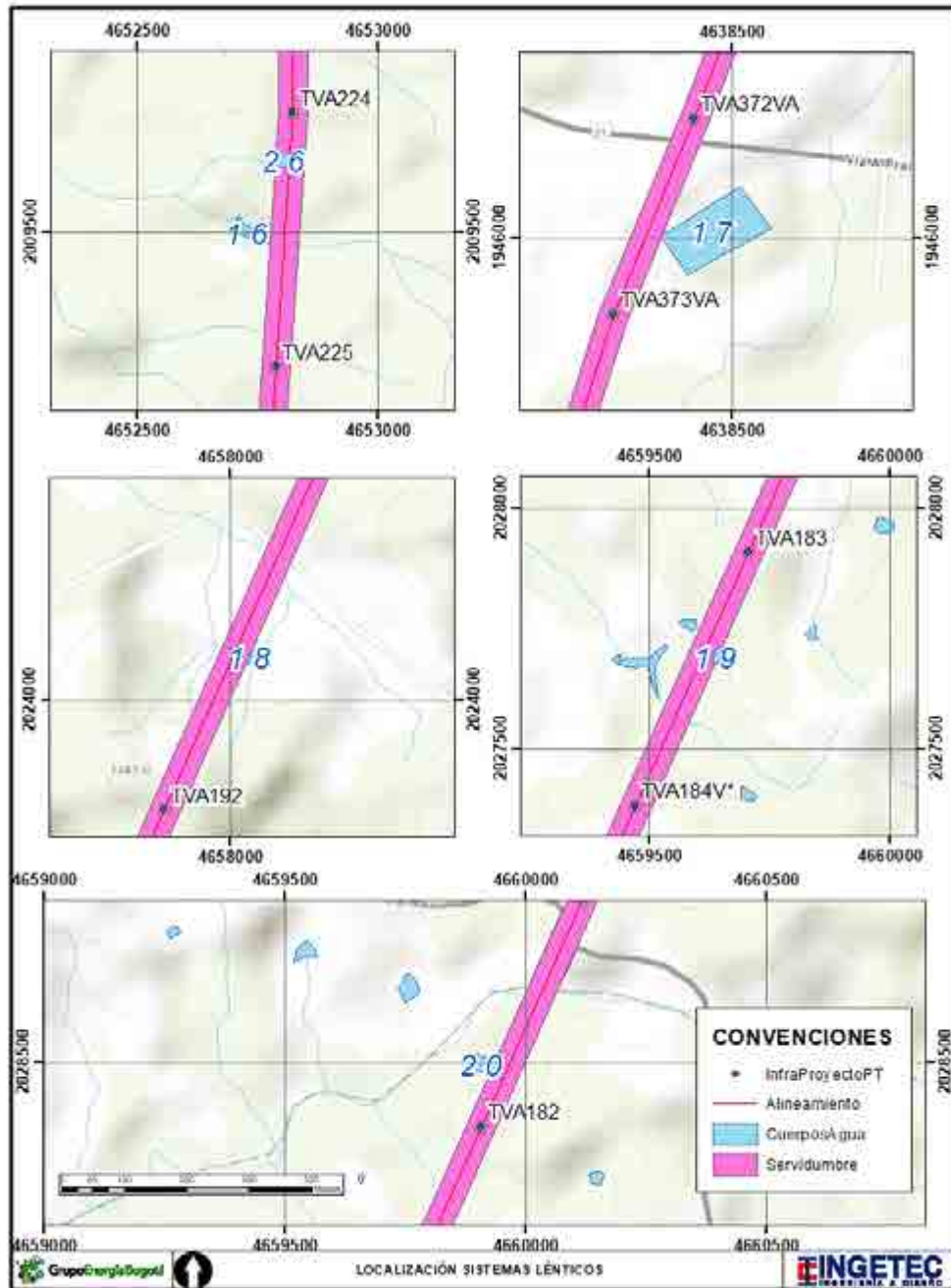


Figura 18. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 16 al 20 y el 26, en la columna número.



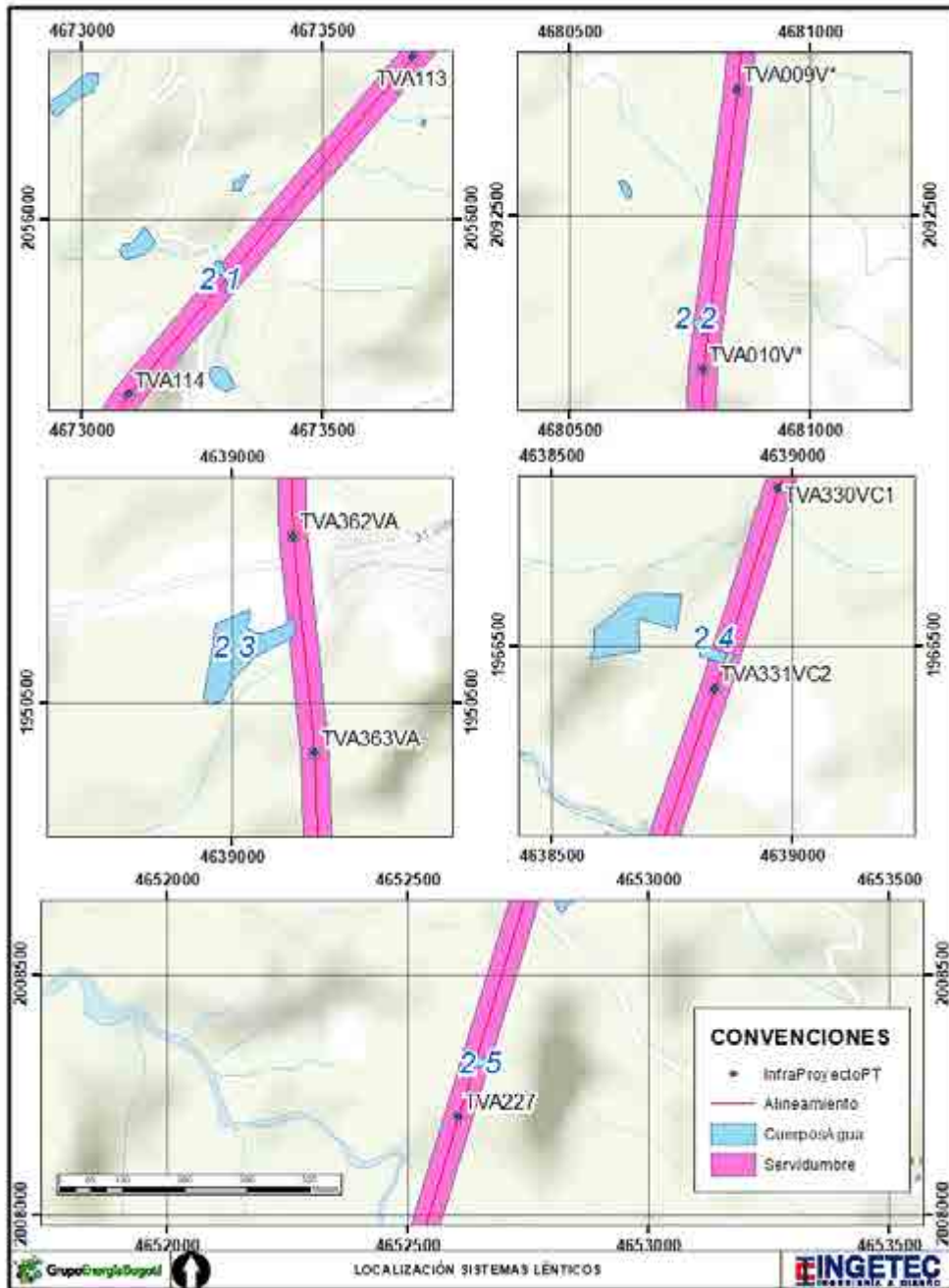


Figura 19. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 21 al 25 en la columna número.

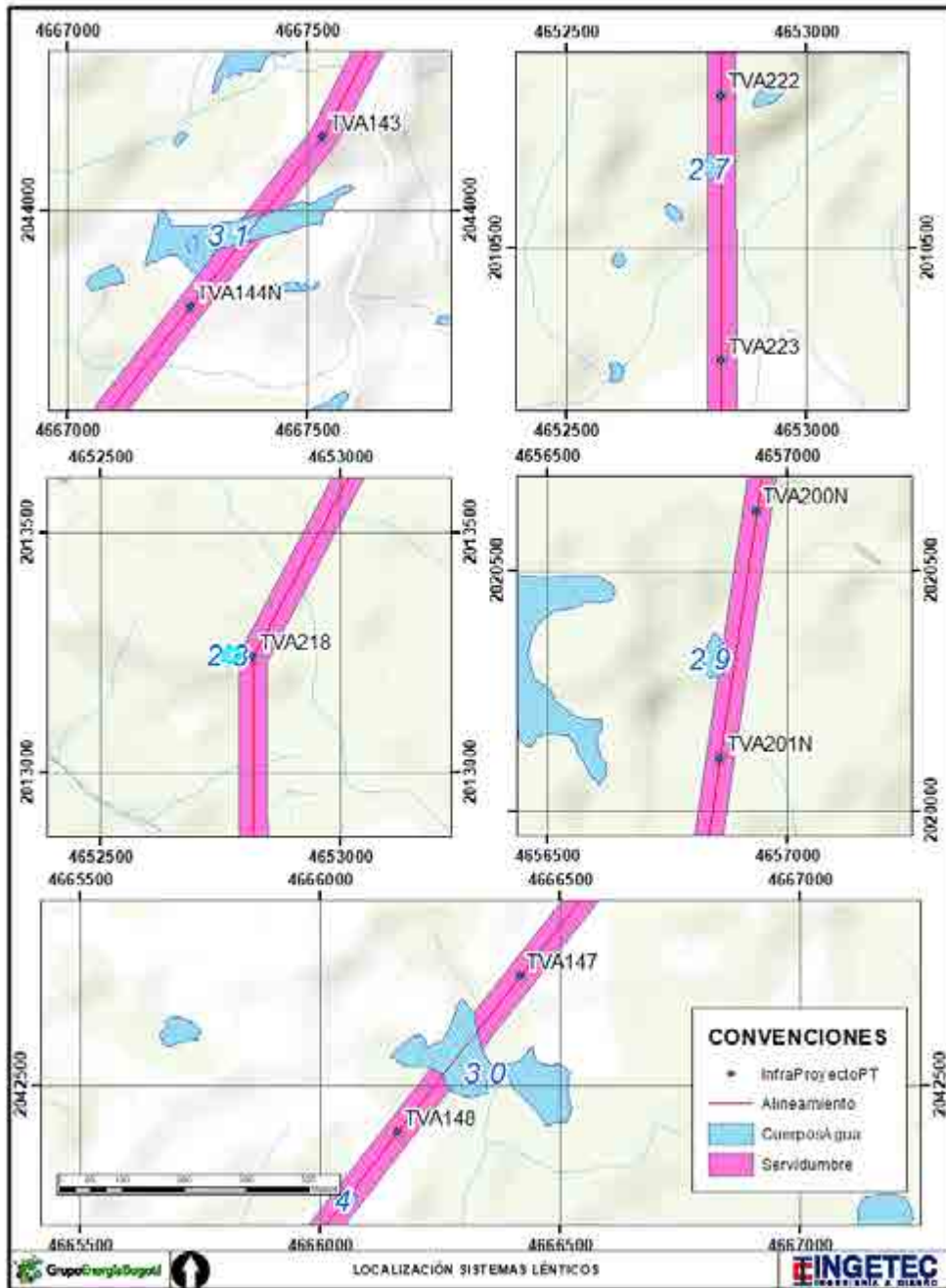


Figura 20. Localización de los sistemas lénticos identificados en la Tabla 6 y numerados del 27 al 31 en la columna número.



Tabla 7. Sistemas lénticos identificados a 300 m desde el eje de la línea de transmisión.

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 1	0,123	4672301,923	2054137,733	Ortofoto	Entre TVA117 y TVA118
Otros cuerpos agua 2	0,004	4643553,45	1993356,499	Ortofoto	Entre TVA259V* y TVA260V*
Otros cuerpos agua 3	0,006	4643562,714	1993349,956	Ortofoto	Entre TVA259V* y TVA260V*
Otros cuerpos agua 4	0,050	4681653,562	2094401,574	Ortofoto	Entre TVA006V* y TVA005V*
Otros cuerpos agua 5	0,150	4681577,014	2083787,203	Ortofoto	Entre TVA032V* y TVA031
Otros cuerpos agua 6	10,306	4613137,823	1931064,234	Ortofoto	Entre TVA470 y TVA469
Otros cuerpos agua 7	0,352	4637562,754	1941912,069	Ortofoto	Entre TVA383VA y TVA382VA
Otros cuerpos agua 8	2,061	4638464,49	1946015,584	Ortofoto	Entre TVA372VA y TVA373VA
Otros cuerpos agua 9	1,564	4639026,068	1950600,662	Ortofoto	Entre TVA363VA y TVA362VA
Otros cuerpos agua 10	2,039	4638542,611	1954749,597	Ortofoto	Entre TVA362VB y TVA361VB
Otros cuerpos agua 11	0,244	4637683,646	1963615,808	Ortofoto	Entre TVA339VC1 y TVA338VC
Otros cuerpos agua 12	0,146	4638841,122	1966479,202	Ortofoto	Entre TVA331VC2 y TVA330VC1
Otros cuerpos agua 13	1,409	4638671,961	1966545,044	Ortofoto	Entre TVA331VC2 y TVA330VC1
Otros cuerpos agua 14	0,150	4639067,546	1968925,453	Ortofoto	Entre TVA324VB y TVA325VB
Otros cuerpos agua 15	0,411	4640599,331	1969338,471	Ortofoto	Entre TVA320VB1 y TVA321VB
Otros cuerpos agua 16	0,275	4640464,826	1969423,938	Ortofoto	Entre TVA321VB y TVA320VB1
Otros cuerpos agua 17	0,918	4640264,412	1969812,381	Ortofoto	Entre TVA321VB y TVA322VB
Otros cuerpos agua 18	0,066	4639334,991	1978689,349	Ortofoto	Entre TVA298 y TVA297
Otros cuerpos agua 19	0,110	4639357,081	1978770,078	Ortofoto	Entre TVA297 y TVA298

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 20	0,081	4638995,062	1979165,903	Ortofoto	Entre TVA296 y TVA297
Otros cuerpos agua 21	0,161	4641903,689	1988971,517	Ortofoto	Entre TVA268V* y TVA267V*
Otros cuerpos agua 22	0,140	4641944,284	1988973,527	Ortofoto	Entre TVA268V* y TVA267V*
Otros cuerpos agua 23	0,180	4641982,413	1988977,524	Ortofoto	Entre TVA268V* y TVA267V*
Otros cuerpos agua 24	0,050	4647018,927	1996115,227	Ortofoto	Entre TVA252V* y TVA253V*
Otros cuerpos agua 25	0,061	4652163,208	2007486,351	Ortofoto	Entre TVA228 y TVA229
Otros cuerpos agua 26	0,073	4652165,338	2007557,949	Ortofoto	Entre TVA228 y TVA229
Otros cuerpos agua 27	0,273	4652217,964	2007941,674	Ortofoto	Entre TVA227 y TVA228
Otros cuerpos agua 28	0,059	4652655,681	2008317,89	Ortofoto	Entre TVA227 y TVA226
Otros cuerpos agua 29	0,087	4652822,425	2008649,315	Ortofoto	Entre TVA226 y TVA227
Otros cuerpos agua 30	0,084	4652810,025	2009648,228	Ortofoto	Entre TVA224 y TVA225
Otros cuerpos agua 31	0,099	4652602,102	2010243,447	Ortofoto	Entre TVA223 y TVA224
Otros cuerpos agua 32	0,057	4652606,597	2010476,942	Ortofoto	Entre TVA223 y TVA222
Otros cuerpos agua 33	0,078	4652721,397	2010575,446	Ortofoto	Entre TVA222 y TVA223
Otros cuerpos agua 34	0,122	4652801,14	2010670,735	Ortofoto	Entre TVA222 y TVA223
Otros cuerpos agua 35	0,231	4652922,089	2010823,506	Ortofoto	Entre TVA222 y TVA221
Otros cuerpos agua 36	0,069	4652772,45	2013249,576	Ortofoto	Entre TVA218 y TVA219N
Otros cuerpos agua 37	0,213	4653457,623	2014198,621	Ortofoto	Entre TVA216 y TVA217V*
Otros cuerpos agua 38	0,167	4654401,947	2016008,636	Ortofoto	Entre TVA213 y TVA212
Otros cuerpos agua 39	0,082	4656589,146	2019684,665	Ortofoto	Entre TVA202N y TVA203

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 40	0,304	4656846,143	2020322,518	Ortofoto	Entre TVA201N y TVA200N
Otros cuerpos agua 41	0,104	4657179,776	2021593,124	Ortofoto	Entre TVA198N y TVA199N
Otros cuerpos agua 42	0,137	4658889,971	2026818,866	Ortofoto	Entre TVA186 y TVA185
Otros cuerpos agua 43	0,106	4659017,24	2027083,893	Ortofoto	Entre TVA185 y TVA186
Otros cuerpos agua 44	0,104	4659986,081	2027963,556	Ortofoto	Entre TVA183 y TVA182
Otros cuerpos agua 45	0,058	4660147,655	2028260,392	Ortofoto	Entre TVA182 y TVA183
Otros cuerpos agua 46	0,163	4659758,447	2028656,37	Ortofoto	Entre TVA182 y TVA181
Otros cuerpos agua 47	0,064	4662287,421	2033113,242	Ortofoto	Entre TVA172 y TVA173
Otros cuerpos agua 48	0,084	4662230,219	2033120,024	Ortofoto	Entre TVA172 y TVA173
Otros cuerpos agua 49	0,266	4662186,569	2033207,358	Ortofoto	Entre TVA172 y TVA173
Otros cuerpos agua 50	0,240	4662256,563	2033235,294	Ortofoto	Entre TVA172 y TVA173
Otros cuerpos agua 51	0,168	4663756,012	2035306,79	Ortofoto	Entre TVA167 y TVA166
Otros cuerpos agua 52	0,050	4663538,814	2035702,796	Ortofoto	Entre TVA166 y TVA165
Otros cuerpos agua 53	0,168	4664005,595	2036115,418	Ortofoto	Entre TVA165 y TVA166
Otros cuerpos agua 54	0,091	4664812,003	2040039,368	Ortofoto	Entre TVA156N y TVA155
Otros cuerpos agua 55	0,083	4664978,554	2040056,587	Ortofoto	Entre TVA156N y TVA155
Otros cuerpos agua 56	0,423	4664523,745	2040039,36	Ortofoto	Entre TVA156N y TVA155
Otros cuerpos agua 57	0,169	4664655,757	2040486,804	Ortofoto	Entre TVA155 y TVA154
Otros cuerpos agua 58	0,190	4664762,984	2040946,869	Ortofoto	Entre TVA153 y TVA152
Otros cuerpos agua 59	0,102	4666044,365	2042067,611	Ortofoto	Entre TVA149 y TVA148

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 60	0,295	4666675,244	2042935,884	Ortofoto	Entre TVA146 y TVA147
Otros cuerpos agua 61	0,498	4666438,849	2043262,153	Ortofoto	Entre TVA146 y TVA147
Otros cuerpos agua 62	0,098	4666827,721	2043698,299	Ortofoto	Entre TVA145 y TVA144N
Otros cuerpos agua 63	0,250	4667077,556	2043857,631	Ortofoto	Entre TVA144N y TVA145
Otros cuerpos agua 64	0,057	4667258,949	2043928,191	Ortofoto	Entre TVA144N y TVA143
Otros cuerpos agua 65	0,049	4667233,56	2044149,489	Ortofoto	Entre TVA143 y TVA144N
Otros cuerpos agua 66	0,048	4667909,512	2044261,319	Ortofoto	Entre TVA142 y TVA143
Otros cuerpos agua 67	0,099	4667943,372	2045240,866	Ortofoto	Entre TVA141 y TVA140
Otros cuerpos agua 68	0,113	4670102,425	2048487,267	Ortofoto	Entre TVA132 y TVA131N
Otros cuerpos agua 69	0,099	4670467,328	2049682,719	Ortofoto	Entre TVA129 y TVA128N
Otros cuerpos agua 70	0,084	4670424,466	2049808,332	Ortofoto	Entre TVA129 y TVA128N
Otros cuerpos agua 71	0,056	4670784,573	2049846,516	Ortofoto	Entre TVA128N y TVA129
Otros cuerpos agua 72	0,139	4670810,531	2050098,172	Ortofoto	Entre TVA128N y TVA127
Otros cuerpos agua 73	0,153	4670494,047	2050274,571	Ortofoto	Entre TVA127 y TVA128N
Otros cuerpos agua 74	0,093	4670789,924	2050917,49	Ortofoto	Entre TVA127 y TVA128N
Otros cuerpos agua 75	0,210	4671419,838	2052394,094	Ortofoto	Entre TVA122 y TVA123
Otros cuerpos agua 76	0,076	4671386,049	2052684,782	Ortofoto	Entre TVA121 y TVA122
Otros cuerpos agua 77	0,052	4671890,799	2054230,378	Ortofoto	Entre TVA118 y TVA119
Otros cuerpos agua 78	0,497	4672539,694	2054765,278	Ortofoto	Entre TVA116 y TVA117
Otros cuerpos agua 79	0,062	4672845,419	2055055,772	Ortofoto	Entre TVA115 y TVA116

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 80	0,080	4672759,026	2055242,069	Ortofoto	Entre TVA115 y TVA116
Otros cuerpos agua 81	0,089	4672628,168	2055458,691	Ortofoto	Entre TVA115 y TVA114
Otros cuerpos agua 82	0,087	4672945,015	2055485,858	Ortofoto	Entre TVA114 y TVA115
Otros cuerpos agua 83	0,036	4672814,622	2055554,754	Ortofoto	Entre TVA114 y TVA115
Otros cuerpos agua 84	0,063	4673328,754	2056077,999	Ortofoto	Entre TVA113 y TVA114
Otros cuerpos agua 85	0,122	4673702,561	2056439,505	Ortofoto	Entre TVA113 y TVA112
Otros cuerpos agua 86	0,081	4679537,035	2067461,758	Ortofoto	Entre TVA062 y TVA061
Otros cuerpos agua 87	0,047	4681557,892	2078536,956	Ortofoto	Entre TVA042 y TVA043
Otros cuerpos agua 88	0,088	4681553,52	2080176,211	Ortofoto	Entre TVA040 y TVA039
Otros cuerpos agua 89	0,058	4682039,092	2080475,803	Ortofoto	Entre TVA039 y TVA040
Otros cuerpos agua 90	0,054	4682124,106	2080782,188	Ortofoto	Entre TVA038 y TVA039
Otros cuerpos agua 91	0,111	4681860,214	2082260,249	Ortofoto	Entre TVA035V y TVA036
Otros cuerpos agua 92	0,059	4681756,582	2082649,737	Ortofoto	Entre TVA034V y TVA035V
Otros cuerpos agua 93	0,049	4680818,027	2084810,402	Ortofoto	Entre TVA029 y TVA030
Otros cuerpos agua 94	0,088	4679500,418	2087363,222	Ortofoto	Entre TVA021 y TVA022
Otros cuerpos agua 95	0,040	4679251,414	2087403,127	Ortofoto	Entre TVA022 y TVA021
Otros cuerpos agua 96	0,134	4679526,76	2087578,834	Ortofoto	Entre TVA021 y TVA020
Otros cuerpos agua 97	0,199	4679580,559	2087786,33	Ortofoto	Entre TVA020 y TVA019
Otros cuerpos agua 98	0,073	4679687,274	2088153,322	Ortofoto	Entre TVA019 y TVA018
Otros cuerpos agua 99	0,105	4680076,23	2088252,727	Ortofoto	Entre TVA018 y TVA019

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 100	0,149	4679741,646	2088844,606	Ortofoto	Entre TVA017 y TVA018
Otros cuerpos agua 101	0,091	4679936,924	2089196,945	Ortofoto	Entre TVA017 y TVA016
Otros cuerpos agua 102	0,076	4680271,931	2090458,509	Ortofoto	Entre TVA014 y TVA013
Otros cuerpos agua 103	0,076	4679939,408	2090484,723	Ortofoto	Entre TVA014 y TVA013
Otros cuerpos agua 104	0,102	4680154,739	2090809,804	Ortofoto	Entre TVA013 y TVA014
Otros cuerpos agua 105	0,048	4680166,718	2091198,608	Ortofoto	Entre TVA012 y TVA013
Otros cuerpos agua 106	0,071	4680229,209	2091210,39	Ortofoto	Entre TVA012 y TVA013
Otros cuerpos agua 107	0,050	4680919,66	2094130,508	Ortofoto	Entre TVA007V* y TVA008V*
Otros cuerpos agua 108	0,062	4681873,105	2094457,694	Ortofoto	Entre TVA006V* y TVA005V*
Otros cuerpos agua 109	0,163	4683052,154	2094571,993	Ortofoto	Entre TVA003V* y TVA004V*
Otros cuerpos agua 110	0,176	4680939,12	2093902,621	Ortofoto	Entre TVA007V* y TVA008V*
Otros cuerpos agua 111	0,103	4681291,592	2093978,544	Ortofoto	Entre TVA007V* y TVA006V*
Otros cuerpos agua 112	0,052	4680630,576	2090877,755	Ortofoto	Entre TVA012 y TVA013
Otros cuerpos agua 113	0,061	4680955,638	2091385,026	Ortofoto	Entre TVA011V* y TVA012
Otros cuerpos agua 114	0,045	4679284,13	2086766,596	Ortofoto	Entre TVA023V y TVA024
Otros cuerpos agua 115	0,047	4679205,713	2086963,594	Ortofoto	Entre TVA023V y TVA022
Otros cuerpos agua 116	0,131	4679259,011	2086971,298	Ortofoto	Entre TVA023V y TVA022
Otros cuerpos agua 117	0,301	4639345,741	1968574,099	Ortofoto	Entre TVA325VB y TVA326VB1
Otros cuerpos agua 118	0,523	4670571,365	2050779,524	Ortofoto	Entre TVA126 y TVA127
Otros cuerpos agua 119	0,059	4679557,451	2085200,817	Ortofoto	Entre TVA027 y TVA026V



Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 120	0,171	4668308,216	2045084,952	Ortofoto	Entre TVA141 y TVA140
Otros cuerpos agua 121	0,089	4667935,432	2045392,767	Ortofoto	Entre TVA141 y TVA140
Otros cuerpos agua 122	0,199	4668281,542	2045734,527	Ortofoto	Entre TVA139 y TVA140
Otros cuerpos agua 123	0,154	4668674,972	2046059,978	Ortofoto	Entre TVA138N y TVA139
Otros cuerpos agua 124	0,259	4668975,054	2046406,212	Ortofoto	Entre TVA137 y TVA138N
Otros cuerpos agua 125	0,238	4669217,18	2046660,745	Ortofoto	Entre TVA137 y TVA136
Otros cuerpos agua 126	0,640	4668633,735	2047022,384	Ortofoto	Entre TVA137 y TVA136
Otros cuerpos agua 127	0,245	4669240,773	2047164,565	Ortofoto	Entre TVA136 y TVA135
Otros cuerpos agua 128	0,199	4669175,119	2047410,631	Ortofoto	Entre TVA135 y TVA136
Otros cuerpos agua 129	0,249	4669473,518	2047708,495	Ortofoto	Entre TVA135 y TVA134
Otros cuerpos agua 130	0,230	4669624,846	2047742,268	Ortofoto	Entre TVA134 y TVA135
Otros cuerpos agua 131	0,248	4669820,491	2048370,373	Ortofoto	Entre TVA132 y TVA133
Otros cuerpos agua 132	0,196	4670814,703	2050835,09	Ortofoto	Entre TVA126 y TVA125
Otros cuerpos agua 133	0,090	4671278,393	2051443,85	Ortofoto	Entre TVA124 y TVA125
Otros cuerpos agua 134	0,230	4671115,281	2051452,532	Ortofoto	Entre TVA125 y TVA124
Otros cuerpos agua 135	0,175	4670872,016	2051891,101	Ortofoto	Entre TVA124 y TVA123
Otros cuerpos agua 136	0,195	4671364,327	2052302,219	Ortofoto	Entre TVA122 y TVA123
Otros cuerpos agua 137	0,198	4671159,784	2052819,564	Ortofoto	Entre TVA121 y TVA122
Otros cuerpos agua 138	0,404	4671244,139	2053127,562	Ortofoto	Entre TVA120 y TVA121
Otros cuerpos agua 139	0,046	4672426,319	2054473,042	Ortofoto	Entre TVA117 y TVA118

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 140	0,186	4673290,8	2055667,696	Ortofoto	Entre TVA114 y TVA113
Otros cuerpos agua 141	0,246	4673115,824	2055947,57	Ortofoto	Entre TVA114 y TVA113
Otros cuerpos agua 142	0,135	4679417,21	2087428,29	Ortofoto	Entre TVA021 y TVA022
Otros cuerpos agua 143	0,175	4652736,184	2009500,941	Ortofoto	Entre TVA224 y TVA225
Otros cuerpos agua 144	0,038	4641537,913	1970958,123	Ortofoto	Entre TVA315VB y TVA316VB
Otros cuerpos agua 145	0,006	4639013,913	1979101,941	Ortofoto	Entre TVA296 y TVA297
Otros cuerpos agua 146	0,018	4639302,028	1979187,125	Ortofoto	Entre TVA296 y TVA297
Otros cuerpos agua 147	0,032	4658046,29	2024092,623	Ortofoto	Entre TVA192 y TVA191
Otros cuerpos agua 148	0,052	4659490,894	2026923,356	Ortofoto	Entre TVA185 y TVA186
Otros cuerpos agua 149	0,063	4659702,66	2027405,157	Ortofoto	Entre TVA184V* y TVA183
Otros cuerpos agua 150	0,260	4659482,301	2027669,272	Ortofoto	Entre TVA184V* y TVA183
Otros cuerpos agua 151	0,068	4659642,259	2027693,153	Ortofoto	Entre TVA183 y TVA184V*
Otros cuerpos agua 152	0,062	4659578,136	2027758,541	Ortofoto	Entre TVA183 y TVA184V*
Otros cuerpos agua 153	0,040	4659835,641	2027739,982	Ortofoto	Entre TVA183 y TVA184V*
Otros cuerpos agua 154	0,016	4659659,499	2028260,471	Ortofoto	Entre TVA182 y TVA183
Otros cuerpos agua 155	0,109	4659913,653	2028500,497	Ortofoto	Entre TVA182 y TVA181
Otros cuerpos agua 156	0,083	4660110,296	2029001,425	Ortofoto	Entre TVA181 y TVA180
Otros cuerpos agua 157	0,006	4660535,604	2030255,977	Ortofoto	Entre TVA178 y TVA179
Otros cuerpos agua 158	0,051	4663593,688	2035424,447	Ortofoto	Entre TVA167 y TVA166
Otros cuerpos agua 159	0,169	4663763,464	2035418,057	Ortofoto	Entre TVA167 y TVA166

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 160	0,006	4664246,534	2036363,989	Ortofoto	Entre TVA164 y TVA163
Otros cuerpos agua 161	0,036	4664687,866	2040261,125	Ortofoto	Entre TVA155 y TVA156N
Otros cuerpos agua 162	0,009	4665010,06	2040886,327	Ortofoto	Entre TVA153 y TVA152
Otros cuerpos agua 163	0,014	4665179,307	2040831,818	Ortofoto	Entre TVA153 y TVA152
Otros cuerpos agua 164	0,025	4665682,646	2041526,905	Ortofoto	Entre TVA150 y TVA151
Otros cuerpos agua 165	0,132	4667470,611	2043839,395	Ortofoto	Entre TVA144N y TVA143
Otros cuerpos agua 166	0,052	4669068,832	2047403,412	Ortofoto	Entre TVA135 y TVA136
Otros cuerpos agua 167	0,024	4669626,103	2048040,841	Ortofoto	Entre TVA133 y TVA134
Otros cuerpos agua 168	0,034	4669771,666	2048829,785	Ortofoto	Entre TVA131N y TVA132
Otros cuerpos agua 169	0,018	4672668,023	2054788,696	Ortofoto	Entre TVA116 y TVA115
Otros cuerpos agua 170	0,082	4673294,722	2055881,246	Ortofoto	Entre TVA114 y TVA113
Otros cuerpos agua 171	0,008	4673709,579	2056203,114	Ortofoto	Entre TVA113 y TVA114
Otros cuerpos agua 172	0,030	4673577,702	2056618,229	Ortofoto	Entre TVA113 y TVA112
Otros cuerpos agua 173	0,009	4675714,176	2060674,587	Ortofoto	Entre TVA076V y TVA077V
Otros cuerpos agua 174	0,006	4676291,408	2061660,639	Ortofoto	Entre TVA075V y TVA073V
Otros cuerpos agua 175	0,026	4677135,398	2062414,248	Ortofoto	Entre TVA072V y TVA073V
Otros cuerpos agua 176	0,041	4681877,298	2077695,196	Ortofoto	Entre TVA043 y TVA044
Otros cuerpos agua 177	0,022	4681764,33	2080758,914	Ortofoto	Entre TVA038 y TVA039
Otros cuerpos agua 178	0,017	4681740,506	2082984,305	Ortofoto	Entre TVA033 y TVA034V
Otros cuerpos agua 179	0,040	4681140,337	2084005,32	Ortofoto	Entre TVA031 y TVA030

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Otros cuerpos agua 180	0,019	4679147,392	2086313,465	Ortofoto	Entre TVA024 y TVA025V
Otros cuerpos agua 181	0,034	4679428,89	2086466,471	Ortofoto	Entre TVA024 y TVA023V
Otros cuerpos agua 182	0,052	4679197,179	2087017,159	Ortofoto	Entre TVA022 y TVA023V
Otros cuerpos agua 183	0,012	4679764,473	2087335,506	Ortofoto	Entre TVA021 y TVA020
Otros cuerpos agua 184	0,021	4679951,411	2088627,603	Ortofoto	Entre TVA018 y TVA017
Otros cuerpos agua 185	0,002	4680461,256	2091674,462	Ortofoto	Entre TVA011V* y TVA012
Otros cuerpos agua 186	0,052	4680615,489	2092555,568	Ortofoto	Entre TVA009V* y TVA010V*
Otros cuerpos agua 187	0,056	4680768,3	2092271,073	Ortofoto	Entre TVA010V* y TVA009V*
Otros cuerpos agua 188	0,045	4683247,501	2095023,21	Ortofoto	Entre TVA003V* y TVA004V*
Otros cuerpos agua 189	0,014	4682990,012	2094725,449	Ortofoto	Entre TVA003V* y TVA004V*
Otros cuerpos agua 190	0,119	4679659,822	2088384,115	Ortofoto	Entre TVA018 y TVA019
Otros cuerpos agua 191	0,097	4681557,415	2094131,93	Ortofoto	Entre TVA006V* y TVA007V*
Pantano 1	1,943	4665405,49	2042056,838	Ortofoto	Entre TVA150 y TVA149
Pantano 2	3,301	4666342,95	2042541,221	Ortofoto	Entre TVA147 y TVA148
Pantano 3	3,301	4666342,95	2042541,221	Ortofoto	Entre TVA147 y TVA148
Pantano 4	6,450	4667355,744	2043452,913	Ortofoto	Entre TVA145 y TVA144N
Pantano 5	3,598	4667444,187	2044423,832	Ortofoto	Entre TVA143 y TVA142
Pantano 6	0,417	4668531,428	2045829,797	Ortofoto	Entre TVA139 y TVA140
Pantano 7	2,742	4653790,531	2014124,219	Ortofoto	Entre TVA216 y TVA217V*
Pantano 8	2,309	4667361,823	2043956,61	Ortofoto	Entre TVA144N y TVA143

Sistema léntico	Área (ha)	Este	Norte	Fuente	Localización
Laguna 1	4,633	4665046,402	2041571,286	Ortofoto	Entre TVA151 y TVA150
Laguna 2	0,098	4674592,194	2057849,118	Ortofoto	Entre TVA111 y TVA110
Laguna 3	0,690	4620057,038	1930897,501	IGAC 25000, ortofoto y visita de campo	Entre TVA457V* y TVA456V*
Laguna 4	0,869	4652383,35	2008742,039	Ortofoto	Entre TVA226 y TVA227
Laguna 5	1,070	4683167,928	2095212,692	Ortofoto	Entre TVA003V* y TVA004V*
Laguna 6	2,193	4639128,664	1948719,891	Ortofoto	Entre TVA367VA y TVA366VA
Laguna 7	5,104	4656487,54	2020301,4	Ortofoto	Entre TVA201N y TVA200N
Laguna 8	0,350	4670075,964	2049053,363	IGAC 25000, ortofoto y visita de campo	Entre TVA131N y TVA130N
Laguna 9	0,347	4664849,702	2040375,431	Ortofoto y visita de campo	Entre TVA155 y TVA154
Laguna 10	0,109	4666054,772	2042264,719	Ortofoto y visita de campo	Entre TVA148 y TVA149
Laguna 11	0,132	4671796,814	2053874,76	Ortofoto	Entre TVA119 y TVA118
Laguna 12	0,158	4672196,444	2053917,233	Ortofoto	Entre TVA118 y TVA119
Laguna 13	0,155	4670395,601	2049358,448	Ortofoto	Entre TVA129 y TVA130N
Laguna 14	0,277	4639024,734	1948416,939	Ortofoto	Entre TVA367VA y TVA368VA1

Nota: Los cuerpos de agua analizados se encuentran en la cartografía base/superficies de agua, en las siguientes capas o shapes: Otros cuerpos de agua, Pantano, Laguna y Jagüey.

---

#### 5.1.6.2.2.1. Embalse Salvajina

Como se mencionó anteriormente, la línea de transmisión eléctrica cruza el río Cauca en el municipio de Cali, sin producir modificaciones en el cuerpo de agua. 130 km aguas arriba de esta intersección, se localiza el embalse Salvajina el cual inició operaciones en el año 1985 y tiene un efecto regulador en los caudales del río, por lo tanto los análisis que se realizaron en este documento para el río Cauca, consideran el periodo antes y después del inicio de operaciones del embalse.

El embalse de Salvajina tiene un volumen útil de 773 millones de m<sup>3</sup> y fue el primer embalse multipropósito en Colombia, está ubicado al norte del departamento del Cauca y forma parte del Proyecto de regulación del río Cauca, diseñado y construido por la CVC, con el propósito de mitigar los desbordamientos del río en su valle alto, incrementar los caudales bajos durante el verano para la dilución de la carga contaminante vertida, y generar energía hidroeléctrica para la región. Las crecientes posteriores a la entrada en operación del embalse de Salvajina han permitido evaluar la mitigación de los eventos sobre el valle geográfico gracias a la regulación en el embalse<sup>24</sup>.

La localización del embalse Salvajina respecto a la línea de transmisión se presenta en la Figura 21.

---

<sup>24</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Banco Interamericano de Desarrollo. Alternativas de conformación de embalses de laminación de picos de caudales de crecientes en la cuenca del río Meléndez. Colombia. 2015.



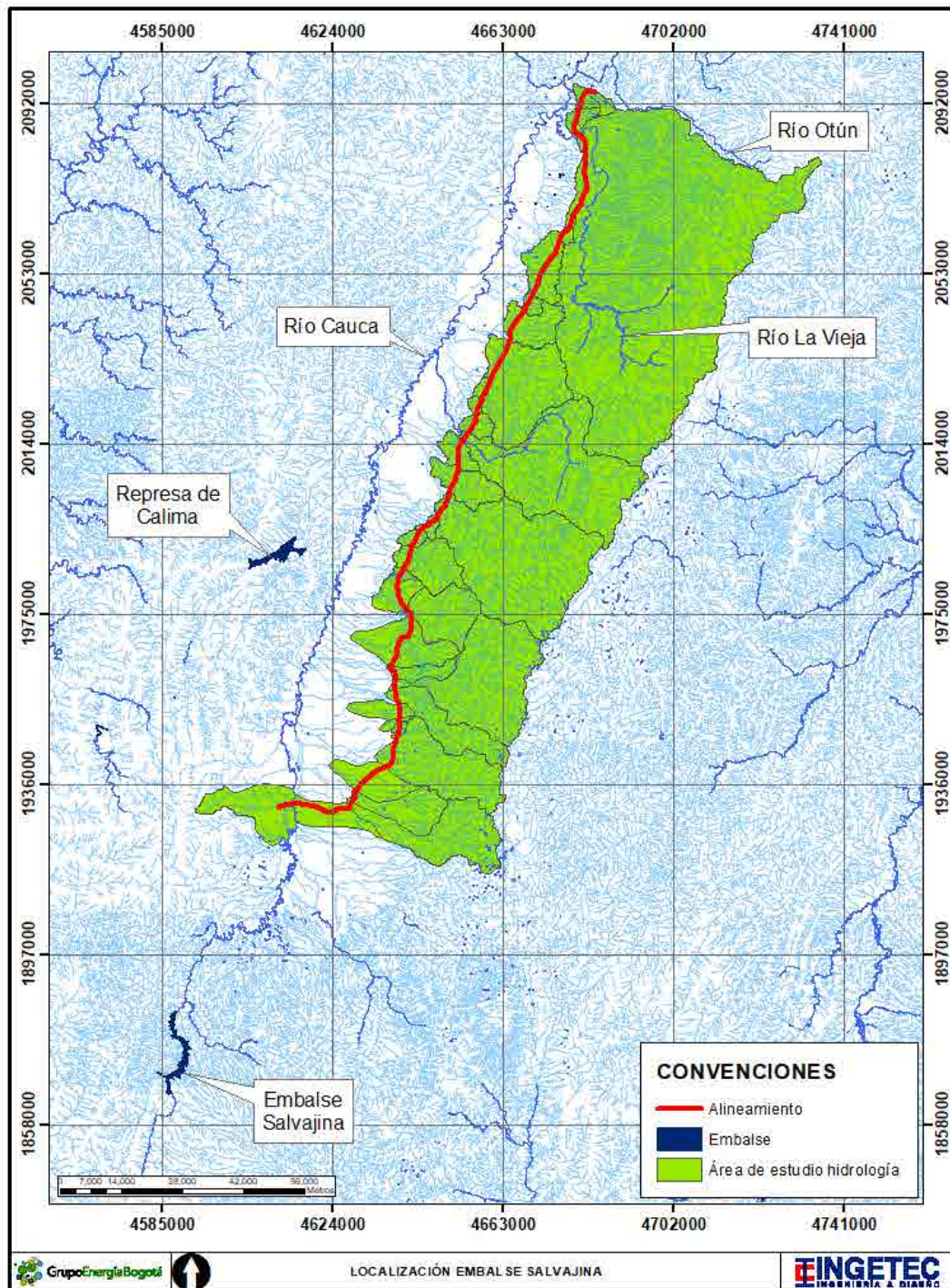


Figura 21. Localización del embalse Salvajina respecto a la línea de transmisión.

### 5.1.6.2.3. Zonas de recarga potencial

La recarga del flujo subterráneo en el área de caracterización hidrogeológica, se produce a través de la infiltración de las aguas lluvia que se precipitan sobre las unidades de roca ígneas y sedimentarias, así como sobre los depósitos aluviales y coluvio aluviales que cubren estas litologías localmente. No obstante, el porcentaje de agua de las precipitaciones que se infiltra en el subsuelo depende de la evapotranspiración, la absorción del agua por la cobertura vegetal y el tipo de vegetación, la morfología del terreno y la permeabilidad de suelos y rocas. Es así como el agua infiltrada se mueve esencialmente por acción de la gravedad en los suelos y rocas, y su paso por la zona no saturada (Figura 22) constituye la principal fuente para la recarga de los acuíferos, sin embargo éstos tienen un potencial de capacidad de acumulación de agua subterránea, que como se ha explicado, está definido por las propiedades texturales, mineralógicas, estructurales y de grado de meteorización de las rocas, así como del espesor y características de las formaciones superficiales (depósitos y suelos residuales) que cubren las unidades roca. El volumen de agua que llega hasta la superficie de saturación de los acuíferos es igual al volumen total de la infiltración menos la cantidad de agua retenida en el suelo. El contenido de humedad del suelo, antes del comienzo de la infiltración, es por lo tanto uno de los factores más importantes que influyen en la recarga de los acuíferos.

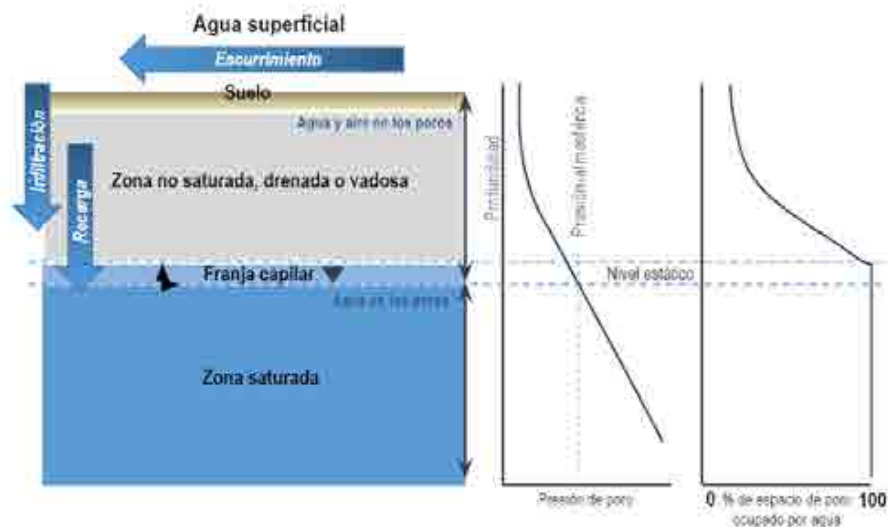


Figura 22. Comportamiento del agua que se infiltra. Bajo la zona saturada está la zona impermeable.

Fuente: Fitts. (2002).



Otra fuente de recarga importante de los acuíferos es su conexión directa con cuerpos de agua superficiales como lagos, ríos y quebradas, que dependen de la disponibilidad de agua durante las temporadas de lluvias. En los periodos lluviosos, las corrientes de agua superficiales tenderán a recargar los acuíferos y durante los periodos de sequía tenderá a ocurrir lo contrario. Esta interacción hídrica entre las corrientes de aguas superficiales y los acuíferos es un proceso que depende de la diferencia de potencial entre los niveles de agua superficial en la corriente y los niveles de agua subterránea en el acuífero, así como de las características hidrogeológicas de permeabilidad y porosidad de los materiales involucrados.

En los cauces localizados en valles profundos generalmente el proceso principal es de descarga de las aguas subterráneas hacia la corriente, ya que en este tipo de configuración comúnmente los niveles freáticos descienden en forma más o menos paralela a las laderas a través de las discontinuidades de la roca y están por consiguiente localizados por encima del río. En cambio, en cauces localizados en valles amplios conformados por materiales aluviales pueden presentarse comúnmente procesos dependientes de la época hidrológica, en los que en época seca el flujo se da desde los acuíferos al río y en época de lluvias en el sentido contrario.

Cuando los niveles en el acuífero son más altos que los niveles en el río, se pueden presentar flujos desde el acuífero hacia el río. Esto sucede comúnmente al principio de las épocas de tiempo seco, cuando tras la época de lluvias, los acuíferos están cargados, tienen niveles altos, mientras que los niveles en el cauce son bajos; a medida que transcurre la temporada de tiempo seco el acuífero se va descargando, los niveles freáticos van bajando, pudiendo llegar un momento en el cual ya no se da un aporte desde éste hacia la corriente.

Cuando los niveles en el río son más altos que los niveles en el acuífero, los flujos se dan desde el río hacia el acuífero, con lo cual se logra un proceso de recarga “lateral” de éstos; esto sucede comúnmente al principio de la época de lluvias, cuando los niveles limnimétricos son altos mientras que los niveles en el acuífero son bajos debido al proceso de descarga del mismo durante la temporada de tiempo seco inmediatamente anterior.

En función de las unidades geológicas y estructuras circundantes al río es importante tener en cuenta que cuando éstos tienen baja conductividad hidráulica y baja porosidad la interacción con la corriente superficial es baja, mientras que cuando los materiales tienen alta conductividad hidráulica y alta porosidad, la interacción puede ser mayor. En la Figura 23 se presenta un esquema general que muestra el comportamiento relacionado con la interacción río - acuífero asociado a la condición en la cual el acuífero descarga a los cuerpos de agua, y el comportamiento relacionado con la interacción río - acuífero asociado a la condición en la cual los cuerpos de agua recargan los acuíferos.



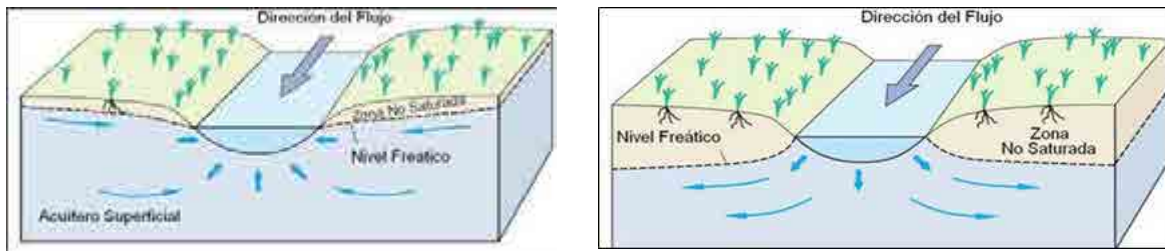


Figura 23. Interacción Acuífero - Río (izquierda) y Río - Acuífero (derecha)

En la zona de estudio también debe considerarse como fuente de recarga de los acuíferos, las corrientes superficiales de agua. Esta recarga depende del grado de conectividad entre éstos y la disponibilidad de agua en las corrientes superficiales durante las temporadas de lluvias. En los periodos lluviosos, las corrientes superficiales de agua tenderán a recargar los acuíferos y durante los periodos de sequía ocurre lo contrario. Finalmente las fuentes termales también contribuyen a la recarga de los acuíferos, sin embargo en cercanías de la zona de interés no se identificaron anomalías geotérmicas que pudieran evidenciar la llegada de flujos regionales procedentes de sistemas hidrogeológicos asociados a cuerpos magmáticos.

Como zonas de descarga en el área de influencia se tienen las corrientes superficiales de agua (cuerpos lóaticos) como ríos y quebradas (Figura 29), siendo el río Cauca la fuente principal de descarga de los flujos de agua subsuperficial (flujos de agua que transitan en los primeros metros de profundidad y vuelven a salir a superficie sin incorporarse al nivel freático) y agua subterránea presentes en el área de caracterización hidrogeológico conceptual. Estos sistemas de agua superficial presentan caudal permanente a lo largo de todo el año hidrológico, con variaciones relacionadas directamente con la precipitación. Durante los periodos de tiempo seco los caudales de estos sistemas se alimentan en parte gracias a la superficie freática y la zona saturada, es decir al flujo base que aportan los acuíferos de porosidad primaria como los depósitos cuaternarios aluviales y coluvio - aluviales, y acuíferos de porosidad secundaria por fracturamiento como las rocas ígneas.

En general, las principales zonas de recarga de a lo largo del área de caracterización hidrogeológica se localizan en: 1. El sistema de fallas geológicas de las cordilleras Central y Occidental 2. Los conos aluviales de los ríos Cauca y sus tributarios 3. Los cauces de los ríos tributarios y 4. La infiltración directa de la lluvia sobre toda la zona restante. Su principal zona de descarga es el río Cauca en toda su longitud (Figura 24).

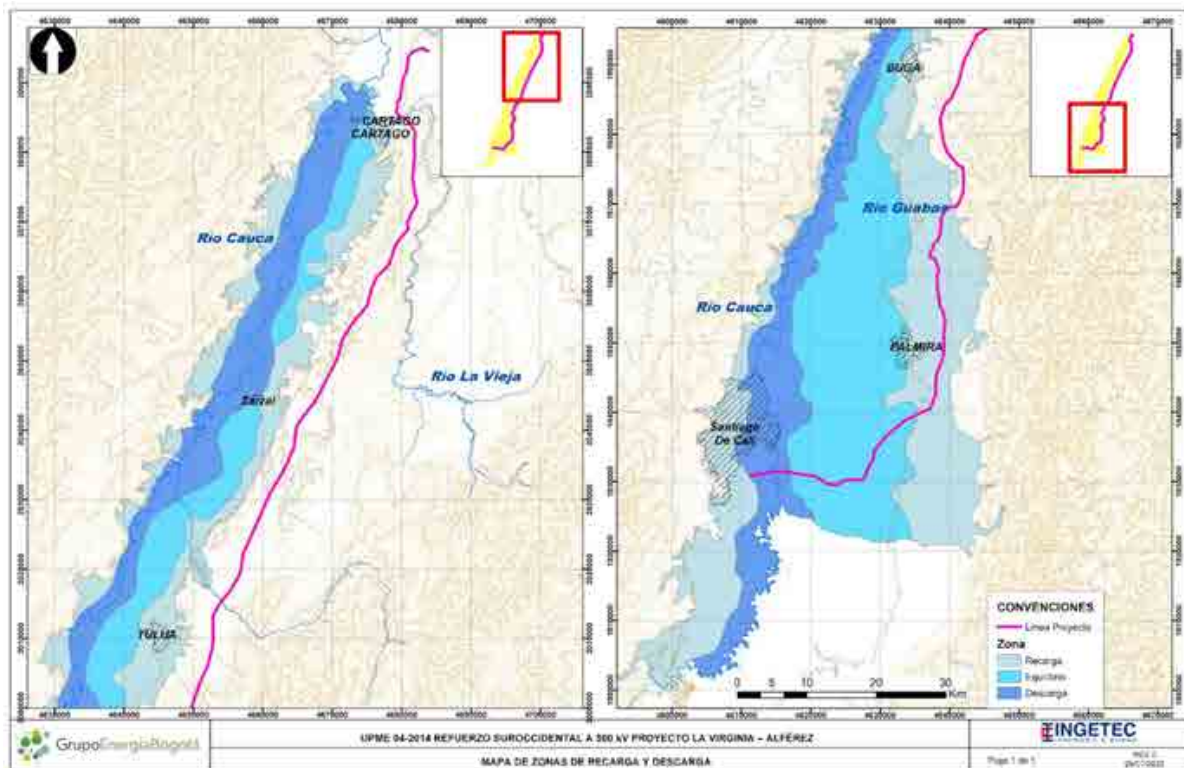


Figura 24. Zonas potenciales de recarga y descarga a los acuíferos.  
 Fuente: Zona tomadas de CVC. (2020).

### 5.1.6.3. Caracterización morfométrica

Para los cuerpos de agua asociadas a las 19 cuencas regionales y a las 40 subcuencas detalladas, se determinaron las principales características morfométricas las cuales se describen a continuación.

**Área de drenaje:** Es la superficie del terreno que contribuye al escurrimiento, hacia el cauce principal y sus tributarios, delimitada por la divisoria de aguas o línea imaginaria que se ubica en los puntos de mayor elevación topográfica.

**Perímetro:** Corresponde a la longitud de la línea divisoria de la cuenca de drenaje.

**Longitud del cauce principal:** Es la distancia medida desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de cierre de la misma.

Coeficiente de compacidad: El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius permite determinar la irregularidad de la cuenca. Se define como la relación entre el perímetro y la longitud de la circunferencia correspondiente a un círculo de igual área de la cuenca, según la Ecuación 1.

$$Kc = 0,282 \frac{P}{A^{0,5}}$$

Fuente: Monsalve Sáenz. Hidrología en la ingeniería. (1995).

Ecuación 1. Coeficiente de compacidad

Donde:

P es el perímetro en kilómetros

A es el área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

Cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similitud con formas redondas, dentro de los rangos que se muestran en la Tabla 8 determinados por la (FAO, 1985).

Tabla 8. Clasificación del coeficiente de compacidad.

Rango	Descripción
1,00 – 1,25	Redonda a oval redonda
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1,75	Rectangular oblonga

Fuente: FAO. (1985).

Factor de forma: Índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la cuenca y de su área promedio. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor de forma tiende a uno.

Este factor, es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca, teniendo en cuenta que aquellas cuencas con formas alargadas, tienden a presentar un flujo de agua más veloz, en comparación de las cuencas redondeadas, logrando una evacuación más rápida, mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base principalmente. Ecuación 2.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Fuente: Monsalve Sáenz. Hidrología en la ingeniería. (1995).

Ecuación 2. Factor de forma



Donde:

A es el área de drenaje de la cuenca en km<sup>2</sup>

L es la longitud axial de la cuenca en km, distancia en línea recta entre la parte más alta de la cuenca y la parte más baja o de desembocadura (FAO, 1985).

El escurrimiento resultante de una lluvia sobre una cuenca de forma alargada, no se concentra tan rápidamente como en una cuenca de forma redonda; además, una cuenca con un factor de forma bajo (forma alargada) es menos propensa a tener una lluvia intensa simultáneamente sobre toda su superficie que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor.

Densidad de drenaje: Corresponde a la relación entre la longitud total de los cuerpos de agua dentro de la cuenca en Km y el área total de ésta en Km<sup>2</sup>. Generalmente se expresa en km/km<sup>2</sup> y toma valores entre 0,5 para cuencas con drenaje pobre y 3,5 para cuencas excepcionalmente bien drenadas (Monsalve, 1991) y es calculado mediante la Ecuación 3.

$$D_d = \frac{\Sigma L}{A}$$

Fuente: Monsalve Sáenz. Hidrología en la ingeniería. (1995).

Ecuación 3. Densidad de drenaje

Donde:

$D_d$  es la densidad de drenaje en km/km<sup>2</sup>

L es la longitud de cauces en km

A es el área total de la cuenca en km<sup>2</sup>

Tabla 9. Valores de densidad de drenaje

Rango	Descripción
0,1 - 1,8	Baja
1,9 - 3,6	Moderada
3,7 - 5,6	Alta

Fuente: Maidment. Handbook of hydrology. (1993).

Densidad de corrientes: Es un indicador del grado de bifurcación o eficiencia de una cuenca, definida como el número de corrientes perennes o intermitentes por unidad de área. Un orden de corrientes alto, refleja una cuenca altamente disectada, que responde rápidamente a una tormenta<sup>25</sup>.

<sup>25</sup> APARICIO F. Fundamentos de hidrología de superficie. México. 2018. p. 21 y 22.

$$D_c = \frac{Nc}{A}$$

Ecuación 4. Densidad de corrientes.

Fuente: Bateman. Hidrología básica y aplicada. (2007)<sup>26</sup>.

Donde:

D<sub>c</sub> corresponde a la densidad de corrientes

N<sub>c</sub> corresponde al número total de corrientes dentro del área A (km<sup>2</sup>)

Pendiente media de la cuenca<sup>27</sup>: La pendiente es la variación de la inclinación de una cuenca; su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o sedimentación) puesto que, en zonas de altas pendientes, se presentan con mayor frecuencia los problemas de erosión mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación.

De acuerdo con el uso del suelo y la red de drenaje, la pendiente influye en el comportamiento de la cuenca afectando directamente el escurrimiento de las aguas lluvias; esto es, en la magnitud y en el tiempo de formación de una creciente en el cauce principal. En cuencas de pendientes fuertes existe la tendencia a la generación de crecientes en los ríos en tiempos relativamente cortos; estas cuencas se conocen como torrenciales, igual que los ríos que las drenan.

Tabla 10. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente

Rango	Descripción
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Medianamente accidentado
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuertemente accidentado
35 - 50	Muy fuertemente accidentado
50 - 75	Escarpado
> 75	Muy escarpado

Fuente: CVC. POMCA Río La Vieja. (2018).

<sup>26</sup>BATEMAN, ALLEN. Hidrología Básica y Aplicada, 2007. p. 6.

<sup>27</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2018

Pendiente media del cauce: La pendiente media del cauce principal se determinó mediante la metodología de Taylor - Schwartz, expresada en la Ecuación 5.

$$S = \left\{ \sum \frac{L_i}{\left( \frac{1}{\sqrt{S_i}} \right)} \right\}^2$$

Ecuación 5. Pendiente media metodología Taylor - Schwartz  
Fuente: Monsalve Sáenz. Hidrología en la ingeniería. (1995).

Donde:

S es la pendiente media del cauce principal en m/m  
L es la longitud del cauce principal en m  
li es la longitud del tramo (m) entre las curvas de nivel  
Si es la pendiente media del tramo (m/m)

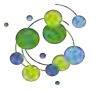
Este parámetro fue empleado en la estimación del tiempo de concentración.

Tiempo de concentración: El tiempo de concentración es el tiempo que toma el agua superficial en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés.

El tiempo de concentración se calculó a partir de diferentes metodologías empíricas deducidas en otros países cuyas cuencas de estudio poseen características diferentes entre sí (Tabla 11); por ejemplo, el método de Kirpich fue deducido en pequeñas cuencas agrícolas de Tennessee y Pensilvania (áreas entre 0,004 km<sup>2</sup> y 0,453 km<sup>2</sup>), mientras que el SCS desarrolló su ecuación como la suma de tiempos de viaje individual para diferentes regiones (áreas menores a 8 km<sup>2</sup>), desde zonas boscosas con cauces pendientes a planicies con escorrentía lenta y zonas impermeables. Por otro lado, las ecuaciones empíricas no tienen en cuenta el efecto de la vegetación, a excepción de las que involucran número de curva o coeficiente de escorrentía. Estos aspectos aumentan el grado de incertidumbre en el cálculo del tiempo de concentración.

Tabla 11. Formulaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.

Fórmula	Ecuación	Parámetros
Kirpich	$T_c = 0,06628 \left( \frac{L_D}{S^{0,5}} \right)^{0,77}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)



Fórmula	Ecuación	Parámetros
Témez	$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Williams	$T_c = 0,683 \left( \frac{LA^{0,40}}{DS^{0,25}} \right)$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) D = Diámetro de una cuenca circular con área A (km) A = Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )
Bransby – Williams	$T_c = \frac{14,6L}{A^{0,1}S^{0,2}}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (min) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )
Giandotti	$T_c = \left( \frac{4\sqrt{A}+1,5L}{25,3\sqrt{LS}} \right)$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )
Johnstone y Cross	$T_c = 2,6 \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,5}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/km)
SCS – Ranser	$T_c = 0,947 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) H = Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente principal (m)
Ventura – Heras	$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,75}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Ven Te Chow	$T_c = 0,273 \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,64}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos	$T_c = 0,28 \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

Fuente: Tomada y adaptada. Monsalve Sáenz. (1995), INVIAS (2009) y Chow, Maidment, & Mays. (1994).

De acuerdo con estudios realizados en Colombia, como la Hidrología de Antioquia<sup>28</sup> y el artículo Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca

<sup>28</sup> Secretaria de Obras Públicas - Departamento de Antioquia. Hidrología de Antioquia. Medellín. 1997.

---

experimental urbana de la quebrada San Luis Manizales<sup>29</sup>, se recomienda el uso del mayor número de metodologías para estimar el tiempo de concentración, descartando los resultados que estén por fuera del rango medio, con el fin de reducir la incertidumbre asociada.

Teniendo en cuenta los anteriores estudios y las restricciones que tienen los métodos en su etapa de deducción tanto en área de drenaje como en pendiente del cauce y cobertura vegetal, se adopta la recomendación de emplear el promedio de los tiempos de concentración estimados con las diferentes metodologías empíricas presentadas.

#### 5.1.6.3.1. Caracterización cuencas regionales

Para la delimitación de las 19 cuencas regionales (Figura 26), teniendo en cuenta que en la zona oriental donde entregan sus aguas al río Cauca, se localizan diferentes canales antrópicos conectados entre sí, se tomó como guía el trazado de cuencas realizado por la CVC para establecer las divisorias de cuencas. Dado que la conectividad entre estos canales no permite realizar una delimitación de la cuenca asociada al drenaje natural, se presentan cruces entre canales antrópicos y divisorias de cuenca.

La cuenca D. Cauca oeste-Z. Cascal se delimita entre la subzona hidrográfica Río Lili, Melendez y Cañaveralejo y la subzona ríos Claro y Jamundí. Como se presenta en la Figura 25 el Zanjón Cascal se conecta con el río Lili y el río Melendez y posteriormente entrega sus aguas al río Cauca. Esta red de drenaje atraviesa las dos subzonas hidrográficas mencionadas anteriormente.

---

<sup>29</sup> VELEZ J & BOTERO A. Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis Manizales. Manizales. 2010.

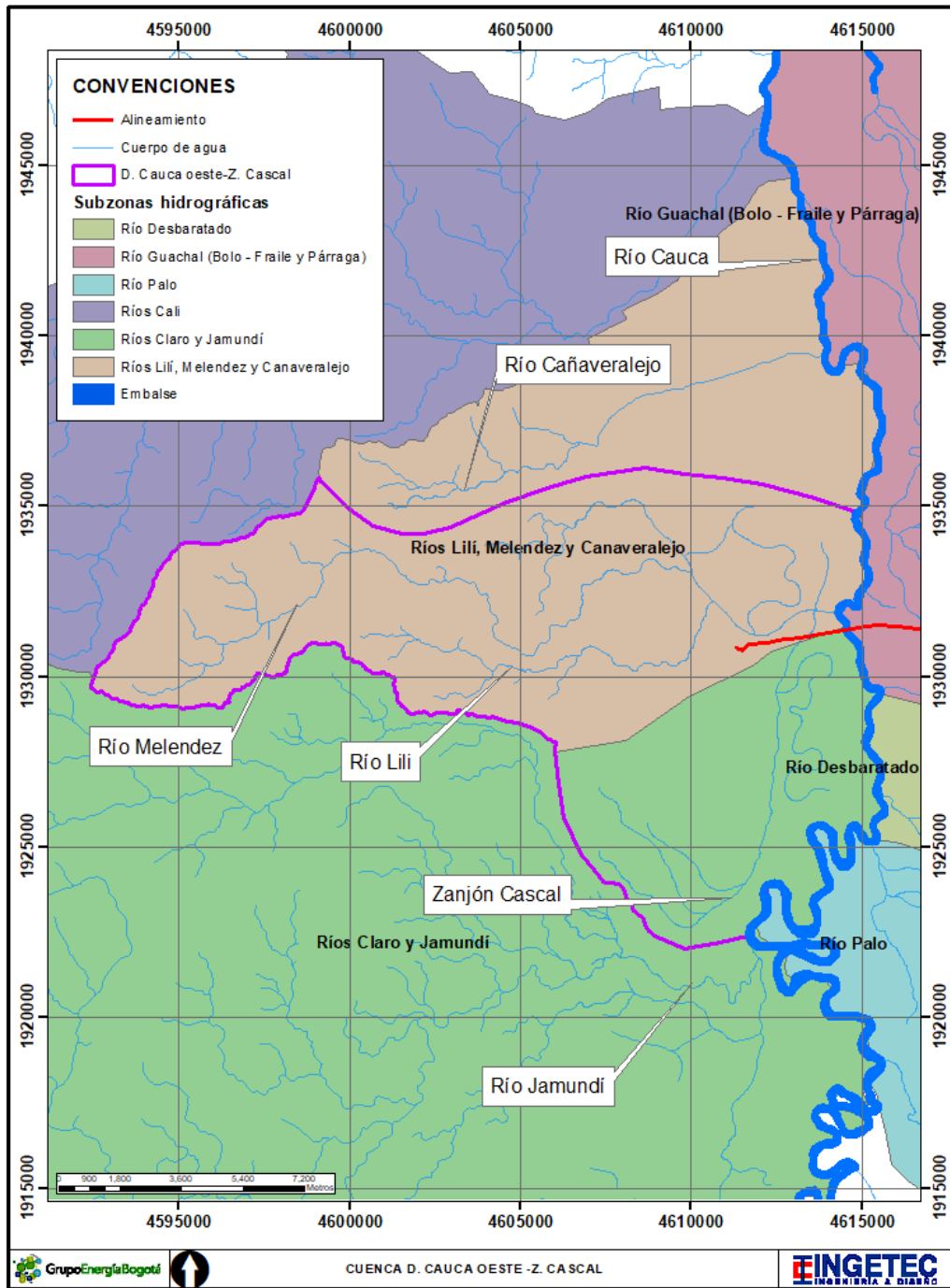


Figura 25. Delimitación cuenca D. Cauca oeste-Z. Cascal.



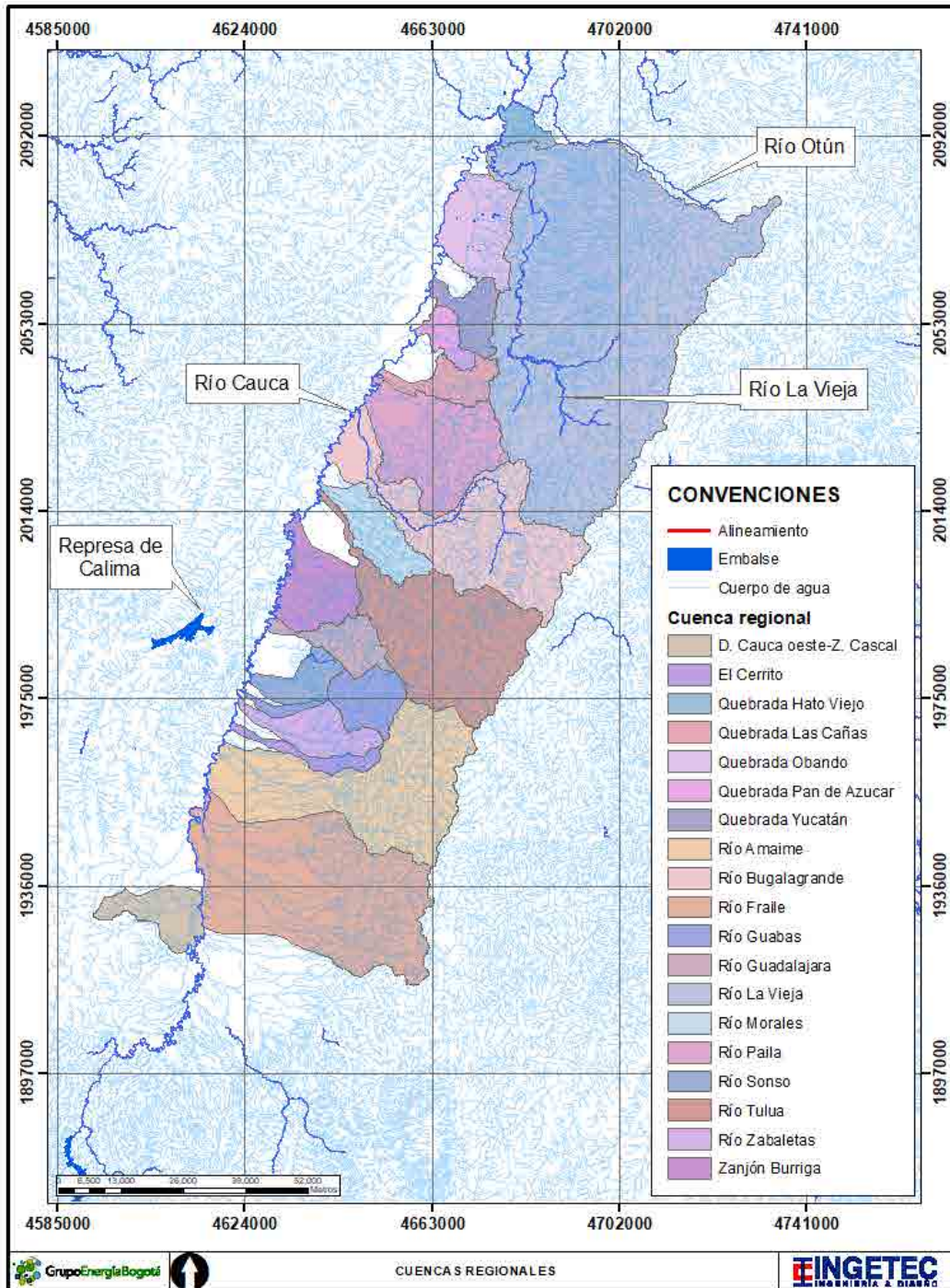


Figura 26. Cuencas regionales.

---

En la Tabla 12 se presenta el tiempo de concentración estimado para las cuencas regionales delimitadas hasta el río Cauca y los tiempos seleccionados. El tiempo de concentración adoptado se estimó a partir del intervalo de confianza<sup>30</sup> definido por la media aritmética ( $\mu$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ), descartando los valores fuera del rango  $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$  y hallando el promedio con los valores dentro de dicho rango.

El resultado de las características morfométricas generales de las cuencas regionales hasta el río Cauca se presentan en la Tabla 13

---

<sup>30</sup> CASTAÑEDA J. & GIL L. Una mirada a los intervalos de confianza en investigación. 2004.

Tabla 12. Tiempos de concentración estimados en minutos para las cuencas regionales.

Nombre	tc 1	tc 2	tc 3	tc 4	tc 5	tc 6	tc 7	tc 8	tc 9	tc 10	$\mu$	$\sigma$	$\mu + \sigma$	$\mu - \sigma$	Tc Adoptado (min)
D. Cauca oeste-Z. Cascal	283,4	220,4	585,5	598,2	377,9	442,9	158,1	213,3	568,1	493,5	394,1	167,3	561,4	226,9	399,5
Río Fraile	1105,2	642,5	1963,7	1866,8	1268,2	1071,7	423,3	612,9	1760,5	1438,4	1215,3	546,2	1761,5	669,1	1328,8
Río Amaime	793,1	536,3	1593,2	1574,2	800,3	864	413,2	512,9	1336,1	1200,7	962,4	437	1399,4	525,4	921,8
El Cerrito	426,7	305,1	977,9	978,5	387,7	577,7	188,5	293,9	798,2	683,1	561,7	287,4	849,1	274,3	496,1
Río Zabaletas	439,9	310,7	915,3	913	483,7	589,3	198,8	299,2	818,6	695,6	566,4	261,9	828,3	304,5	556,3
Río Guabas	298,1	264,7	737,1	779,9	272,8	457,7	206,8	255,5	592,4	592,7	445,8	215,4	661,2	230,4	390,6
Río Sonso	250,9	190,4	500,4	507,7	371,2	409,2	134,7	184,5	513,3	426,2	348,8	146,4	495,2	202,4	364,3
Río Guadalajara	202,2	194,8	505,7	545,9	207,9	355,7	151,9	188,8	429	436,1	321,8	149	470,8	172,8	287,8
Zanjón Burriga	428,4	285,5	791,3	777,3	618,7	579,2	250	275,3	800,7	639,1	544,5	220,2	764,7	324,4	566,3
Río Tuluá	467,1	403,4	1113,7	1171,6	410,6	612,7	368,9	387,2	860,5	903,2	669,9	314,9	984,8	355	551,7
Río Morales	490,6	340,2	1020,3	1013,2	520,2	632,5	258,1	327,3	896,3	761,8	626	285,3	911,4	340,7	660,3
Río Bugalagrande	706,4	548,7	1663,4	1704,1	543,2	801,4	532,4	524,6	1213,5	1228,6	946,6	470	1416,6	476,7	762,4
Río Paila	829,7	487,5	1494,5	1423,4	991,5	889,7	564,7	466,8	1387,1	1091,5	962,7	386,7	1349,3	576	950,6
Quebrada Las Cañas	454,1	298,9	895,9	877,4	540,2	601,5	344,5	288,1	840,5	669,3	581	236,1	817,1	344,9	566,3
Quebrada Pan de Azúcar	297,5	198,2	551,6	541,1	463	457,1	247,3	192	591,4	443,8	398,3	151,4	549,7	246,9	408,3
Quebrada Yucatán	431,8	272,8	798,3	773,2	594,8	582,1	312,5	263,2	806	610,7	544,5	214,2	758,7	330,3	554,8
Quebrada Obando	545,9	341,3	992,3	959,3	737,6	677,9	353,9	328,3	979,5	764,1	668	266	934	402	681,4
Río La Vieja	1910,2	1056,3	3482,2	3273,2	1735,7	1528,9	839,2	1001,2	2774,2	2364,9	1996,6	947,9	2944,5	1048,7	1895
Quebrada Hato Viejo	99,6	87,5	190,5	200,2	243	224,6	88,6	85,7	238,2	195,9	165,4	66,9	232,2	98,5	182,2

Nota: Las celdas rojas son valores que se salen del rango de aceptación y no son tenidos en cuenta para estimar el tiempo de concentración y los resultados obtenidos aplicando las metodologías descritas se presentan en las columnas. tc 1: Metodología de Kirpich; tc 2: Metodología de Témez; tc 3: Metodología de Williams; tc 4: Metodología de Bransby – Williams; tc 5: Metodología de Giandotti; tc 6: Metodología de Johnstone y Cross; tc 7: Metodología de SCS – Ranser; tc 8: Metodología de Ventura – Heras; tc 9: Metodología de Ven Te Chow; tc 10: Metodología de Cuerpo de Ingenieros

Tabla 13. Características morfométricas de las cuencas regionales.

No. cuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente cuenca (%)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (1/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	173,83	76,15	28,62	8,79 M.a.	0,013	0,68 Baja	0,23 Baja	1,63 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,40 Alargada
2	Río Fraile	1256,15	188,82	81,62	17,33 Accidentado	0,003	0,89 Baja	0,29 Baja	1,50 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,35 Alargada
3	Río Amaime	943,77	183,05	78,07	30,83 F.a.	0,006	1,19 Baja	0,42 Baja	1,68 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,40 Alargada
4	El Cerrito	74,34	76,40	39,58	17,12 Accidentado	0,008	1,36 Baja	0,32 Baja	2,50 Rectangular oblonga	0,08 Alargada
5	Río Zabaletas	182,87	77,98	39,90	15,62 Accidentado	0,008	1,20 Baja	0,29 Baja	1,63 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,20 Alargada

No. cuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente cuenca (%)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (1/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
6	Río Guabas	194,36	97,75	43,42	37,92 Mf.a.	0,025	1,28 Baja	0,42 Baja	1,98 Rectangular oblonga	0,21 Alargada
7	Río Sonso	121,70	54,67	22,80	10,88 M.a.	0,011	1,00 Baja	0,30 Baja	1,40 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,34 Alargada
8	Río Guadalajara	148,14	79,92	32,05	24,68 F.a.	0,038	1,30 Baja	0,48 Baja	1,85 Rectangular oblonga	0,21 Alargada
9	Zanjón Burriga	257,55	104,61	33,06	5,94 Suave	0,006	0,82 Baja	0,19 Baja	1,84 Rectangular oblonga	0,55 Redonda
10	Río Tuluá	799,48	183,56	73,40	40,84 Mf.a.	0,023	1,26 Baja	0,54 Baja	1,83 Rectangular oblonga	0,24 Alargada
11	Río Morales	204,35	79,84	44,00	11,93 M.a.	0,007	1,22 Baja	0,30 Baja	1,57 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,25 Alargada
12	Río Bugalagrande	829,41	220,46	96,40	27,47 F.a.	0,013	1,02 Baja	0,43 Baja	2,16 Rectangular oblonga	0,24 Alargada
13	Río Paila	510,36	114,64	57,30	7,90 M.a.	0,003	1,07 Baja	0,36 Baja	1,43 Oval redonda a oval oblonga	0,60 Redonda

No. cuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente cuenca (%)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (1/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
14	Quebrada Las Cañas	136,37	85,74	34,60	5,31 Suave	0,005	1,13 Baja	0,40 Baja	2,07 Rectangular oblonga	0,26 Alargada
15	Quebrada Pan de Azúcar	78,28	50,74	20,32	2,48 Plano	0,006	1,03 Baja	0,42 Baja	1,62 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,40 Alargada
16	Quebrada Yucatán	129,62	69,47	29,03	5,93 Suave	0,004	1,20 Baja	0,57 Baja	1,72 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,32 Alargada
17	Quebrada Obando	280,54	86,28	38,60	5,45 Suave	0,004	0,75 Baja	0,25 Baja	1,45 Oval redonda a oval oblonga	0,41 Alargada
18	Río La Vieja	2834,72	304,13	148,40	19,29 Accidentado	0,002	1,34 Baja	0,57 Baja	1,61 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,43 Alargada
19	Quebrada Hato Viejo	68,62	50,06	9,78	1,75 Plano	0,022	1,30 Baja	0,83 Baja	1,70 Oval oblonga a rectangular oblonga	1,35 Redonda





#### 5.1.6.3.2. Caracterización subcuencas detalladas

El IDEAM define una cuenca hidrográfica como “el área de drenaje de un curso de agua, río o lago. Partiendo del concepto real de cuenca ambiental es aquella área fisiográfica superficial que drena sus aguas, sedimentos y los materiales disueltos hacia una corriente en un punto y tiempo dado; rodeada por una frontera o divisoria de aguas que separa la superficie, una de otra, por donde fluye la escorrentía superficial y subterránea cuyos desagües corren hacia un punto común”.

Para la delimitación de las subcuencas detalladas se utilizaron los siguientes criterios:

- Garantizar que las subcuencas detalladas sean de menor nivel que la subzona hidrográfica identificada
- Los sitios de cierre o de interés de una subcuenca no siempre coinciden con sitios de desembocadura (río principal, depósito natural de aguas, pantano o directamente el mar), sino hasta el sitio de intervención como lo determinan los mismos términos de referencia ya sea por captación, vertimiento u ocupación de cauce. Los sitios de intervención pueden estar localizados en un drenaje sencillo o en un drenaje doble, siendo para el proyecto específico un drenaje sencillo.
- Los sitios de cierre de interés para las subcuencas La Vieja, Paila, Tuluá, Guadalajara, Amaime, Bolo y Fraile corresponden a la localización de las estaciones hidrométricas operadas por la CVC y el IDEAM al tener registros directos de caudal en estos cuerpos de agua.
- Los sitios de cierre de las subcuencas detalladas garantizan que el trazado de la línea de transmisión quede cubierto por el área de drenaje de las subcuencas delimitadas.

En la Figura 27 se presenta la localización de las subcuencas detalladas y en el Anexo D4 - Hidrología/D.4.3 Características morfométricas, se presenta el shape de las subcuencas.

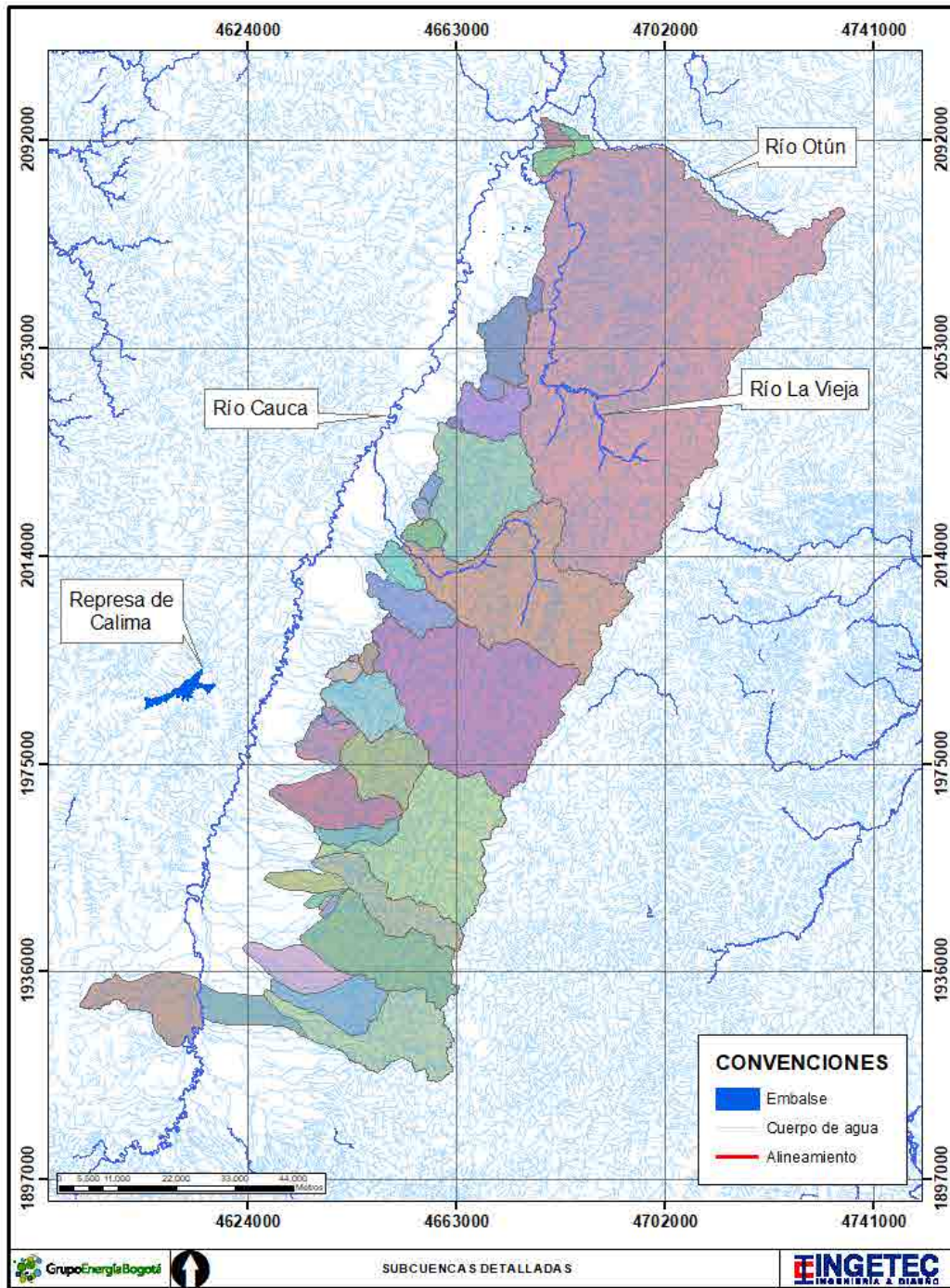


Figura 27. Subcuencas detalladas.

---

En la Tabla 15 se presenta el resultado de las características generales asociadas a los cuerpos de agua que son superpuestos por la línea de transmisión y que hacen parte de las subzonas hidrográficas identificadas.

En el Tabla 14 se presenta el tiempo de concentración estimado para las subcuencas detalladas y los tiempos seleccionados. El tiempo de concentración adoptado se estimó a partir del intervalo de confianza<sup>31</sup> definido por la media aritmética ( $\mu$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ), descartando los valores fuera del rango  $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$  y hallando el promedio con los valores dentro de dicho rango.

---

<sup>31</sup> CASTAÑEDA J. & GIL L. Una mirada a los intervalos de confianza en investigación. 2004.

Tabla 14. Tiempos de concentración estimados en minutos para las subcuencas detalladas.

Nombre	tc 1	tc 2	tc 3	tc 4	tc 5	tc 6	tc 7	tc 8	tc 9	tc 10	$\mu$	$\sigma$	$\mu + \sigma$	$\mu - \sigma$	Tc Adoptado (min)
D. Cauca oeste-Z. Cascal	283,4	220,4	585,5	598,2	377,9	442,9	158,1	213,3	568,1	493,5	394,1	167,3	561,4	226,9	399,5
Directos al Cauca costado este	509,9	243,1	712,0	640,7	1150,5	648,5	403,0	234,9	925,4	544,3	601,2	286,0	887,2	315,2	576,4
Río Fraile	417,2	322,8	923,7	943,6	422,0	569,3	226,2	310,7	783,3	722,6	564,1	263,5	827,7	300,6	506,8
Río Párraga	311,9	229,0	636,7	640,9	401,2	471,4	151,0	221,4	615,2	512,7	419,1	184,2	603,3	234,9	424,3
Quebrada Chontaduro	352,8	224,7	630,1	611,3	562,3	510,5	311,7	217,4	681,4	503,2	460,5	171,1	631,6	289,5	497,4
Río Bolo	249,7	228,4	580,0	618,1	285,4	407,9	171,0	220,9	511,2	511,4	378,4	166,6	545,0	211,8	345,0
Acequia Beringuito	93,1	73,3	189,8	193,8	169,1	215,0	86,8	71,9	225,2	164,1	148,2	60,7	208,9	87,6	162,0
Acequia Morrocoy	59,3	45,5	110,6	112,0	149,2	160,4	56,7	45,0	154,7	101,9	99,5	45,8	145,3	53,8	88,1
Río Palmira	125,4	97,4	265,1	270,0	191,8	260,8	112,8	95,3	288,5	218,1	192,5	78,3	270,8	114,2	221,9
Zanjón Poma	251,7	175,9	494,9	491,4	362,4	410,0	223,7	170,7	514,6	393,9	348,9	134,1	483,0	214,8	328,3
Río Nima	265,3	240,0	658,7	700,1	250,0	424,3	185,1	232,0	537,6	537,4	403,0	193,2	596,2	209,8	355,2
Río Amaime	270,4	253,4	634,8	681,0	301,2	429,6	215,2	244,7	546,3	567,4	414,4	179,1	593,5	235,3	373,3
Río Cerrito	149,4	142,8	376,4	405,1	161,9	292,2	91,7	138,9	333,6	319,6	241,2	115,3	356,5	125,9	219,8
Río Zabaletas	314,5	242,7	667,6	680,8	378,3	473,9	155,7	234,5	619,4	543,3	431,1	192,8	623,9	238,3	428,7
Río Guabas	115,9	129,4	292,0	327,1	151,0	247,8	100,3	126,1	270,1	289,7	204,9	87,9	292,8	117,0	215,2
Río Sonso	122,4	108,1	249,0	262,3	234,9	256,7	72,1	105,6	282,7	242,1	193,6	80,7	274,3	112,9	227,9
Río Guadalajara	120,1	130,2	301,5	335,2	152,2	253,6	99,9	126,8	278,3	291,4	208,9	90,7	299,6	118,2	193,2
Quebrada Chambimbal	64,1	63,9	143,2	155,3	121,4	168,8	49,0	62,8	165,2	143,1	113,7	48,2	161,9	65,5	140,7
Quebrada Los Mates	12,8	16,9	31,0	36,0	37,3	59,4	11,3	16,9	43,4	37,9	30,3	15,6	45,9	14,7	31,3
Quebrada San Pedro	45,8	51,0	109,8	122,5	85,0	135,7	36,7	50,3	125,0	114,3	87,6	38,3	125,9	49,3	94,0

Nombre	tc 1	tc 2	tc 3	tc 4	tc 5	tc 6	tc 7	tc 8	tc 9	tc 10	$\mu$	$\sigma$	$\mu + \sigma$	$\mu - \sigma$	Tc Adoptado (min)
Río Tuluá	293,5	280,5	693,1	747,6	321,5	453,1	252,3	270,5	584,8	627,9	452,5	193,9	646,4	258,5	404,5
Cañada La Mina	9,8	13,5	26,2	30,7	23,3	49,9	9,2	13,6	34,7	30,3	24,1	13,0	37,1	11,1	24,6
Río Morales	180,3	168,8	435,2	466,2	204,4	330,1	139,1	163,9	390,0	378,0	285,6	126,5	412,1	159,1	259,4
Quebrada Sabaletas	139,2	122,9	309,8	326,4	198,9	279,1	101,3	119,9	314,5	275,2	218,7	91,5	310,2	127,2	240,4
Río Bugalagrande	463,9	403,1	1133,1	1193,9	386,2	609,9	397,2	387,0	855,5	902,5	673,2	321,4	994,6	351,8	550,6
Quebrada San Miguel	130,3	107,2	269,5	278,7	217,8	267,4	80,3	104,7	297,8	240,1	199,4	84,3	283,7	115,1	234,0
Quebrada San Rosa	15,5	17,0	32,5	36,0	54,1	67,1	15,5	17,0	50,7	38,0	34,3	18,4	52,8	15,9	31,9
Quebrada El Overo	70,4	60,4	141,5	147,6	152,9	179,3	70,3	59,4	178,5	135,2	119,5	49,0	168,6	70,5	144,3
Quebrada Murillo	74,2	62,0	142,5	147,6	177,9	185,5	74,2	61,0	186,5	138,8	125,0	52,1	177,2	72,9	115,5
Río Paila	533,2	349,9	1002,1	981,1	688,9	667,6	405,4	336,5	960,5	783,5	670,9	259,7	930,6	411,2	668,3
Quebrada Los Ángeles	66,9	55,5	135,0	139,6	140,2	173,4	51,3	54,7	171,0	124,2	111,2	49,1	160,3	62,1	121,2
Quebrada Las Cañas	261,8	189,8	506,8	508,1	400,4	420,7	206,3	184,0	531,8	424,9	363,5	139,7	503,1	223,8	376,9
Quebrada Pan de Azúcar	103,7	82,5	201,7	206,7	210,5	230,5	93,7	80,9	246,2	184,8	164,1	65,9	230,1	98,2	181,5
Quebrada Yucatán	251,9	177,1	460,6	458,0	445,0	410,2	194,7	171,9	515,0	396,6	348,1	133,9	481,9	214,2	403,7
Quebrada Obando	48,8	49,1	103,6	112,5	116,7	141,4	45,1	48,5	131,7	110,0	90,8	38,4	129,2	52,3	110,7
Río La Vieja	1600,7	927,7	2941,3	2797,5	1535,7	1363,1	738,4	880,8	2395,1	2077,0	1725,7	796,3	2522,0	929,4	1794,3
Quebrada del Bosque	93,9	85,1	201,1	213,0	167,8	216,2	89,5	83,4	226,9	190,5	156,7	61,3	218,0	95,4	197,7
Quebrada La Pedregosa	14,8	15,0	29,9	32,4	53,1	65,0	14,8	15,0	48,7	33,6	32,2	18,2	50,5	14,0	25,5
Quebrada Hato Viejo	82,0	74,6	174,7	185,2	153,8	198,0	74,6	73,2	202,7	167,0	138,6	55,6	194,2	83,0	170,2
Quebrada Grande	101,7	84,6	209,4	217,0	184,2	227,7	94,1	82,9	242,4	189,5	163,3	64,8	228,1	98,6	188,2
OC20 - Q. La Honda	141,2	96,7	257,4	253,7	279,9	281,7	74,9	94,5	318,3	216,4	201,5	90,9	292,4	110,6	238,4
OC23 - Q. Pan de Azúcar	143,6	107,8	286,7	289,6	239,3	284,8	97,6	105,3	322,7	241,4	211,9	88,7	300,6	123,2	247,6

Nota: Las celdas rojas son valores que se salen del rango de aceptación y no son tenidos en cuenta para estimar el tiempo de concentración y los resultados obtenidos aplicando las metodologías descritas se presentan en las columnas. tc 1: Metodología de Kirpich; tc 2: Metodología de Témez; tc 3: Metodología de Williams; tc 4: Metodología de Bransby – Williams; tc 5: Metodología de Giandotti; tc 6: Metodología de Johnstone y Cross; tc 7: Metodología de SCS – Ranser; tc 8: Metodología de Ventura – Heras; tc 9: Metodología de Ven Te Chow; tc 10: Metodología de Cuerpo de Ingenieros

Tabla 15. Características morfométricas de las subcuencas detalladas.

No. Subcuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente subcuenca (%)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (1/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	173,83	76,15	28,62	8,79 M.a.	0,01	0,68 Baja	0,23 Baja	1,63 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,40 Alargada
2	Directos al Cauca costado este	89,56	52,67	17,28	0,04 Plano	0,00	0,29 Baja	0,12 Baja	1,57 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,35 Alargada
3	Río Fraile	275,53	108,11	47,27	35,02 F.a.	0,01	1,26 Baja	0,58 Baja	1,84 Rectangular oblonga	0,19 Alargada
4	Río Párraga	124,59	58,10	27,94	14,35 Accidentado	0,01	1,08 Baja	0,23 Baja	1,47 Oval redonda a oval oblonga	0,27 Alargada
5	Quebrada Chontaduro	107,91	49,46	22,67	0,62 Plano	0,00	0,35 Baja	0,03 Baja	1,34 Oval redonda a oval oblonga	0,28 Alargada
6	Río Bolo	306,38	92,76	37,07	33,17	0,03	1,27	0,45	1,49	0,37



No. Subcuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente subcuenca (%)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (1/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
					F.a.		Baja	Baja	Oval redonda a oval oblonga	Alargada
7	Acequia Beringuito	6,94	14,71	6,70	1,70 Plano	0,01	1,64 Baja	0,58 Baja	1,57 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,20 Alargada
8	Acequia Morrococoy	2,94	8,59	3,44	1,53 Plano	0,01	1,90 Moderada	0,68 Baja	1,41 Oval redonda a oval oblonga	0,29 Alargada
9	Río Palmira	10,35	18,94	9,62	1,91 Plano	0,01	1,77 Baja	0,48 Baja	1,66 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,15 Alargada
10	Zanjón Poma	48,14	35,86	18,46	1,04 Plano	0,01	0,98 Baja	0,14 Baja	1,45 Oval redonda a oval oblonga	0,21 Alargada
11	Río Nima	164,97	83,52	39,04	34,44 F.a.	0,03	1,49 Baja	0,63 Baja	1,83 Rectangular oblonga	0,16 Alargada
12	Río Amaime	487,21	124,80	43,92	48,05 Mf.a.	0,03	1,33 Baja	0,54 Baja	1,59 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,40 Alargada
13	Río Cerrito	47,57	42,06	20,96	28,43 F.a.	0,04	1,55 Baja	0,46 Baja	1,72 Oval oblonga a rectangular	0,18 Alargada

No. Subcuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente subcuenca (%)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (1/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
									oblonga	
14	Río Zabaletas	166,24	63,09	32,20	17,18 Accidentado	0,01	1,25 Baja	0,31 Baja	1,38 Oval redonda a oval oblonga	0,29 Alargada
15	Río Guabas	165,32	59,84	22,51	44,44 Mf.a.	0,08	1,26 Baja	0,47 Baja	1,31 Oval redonda a oval oblonga	0,77 Redonda
16	Río Sonso	76,92	38,27	13,08	16,96 Accidentado	0,02	1,05 Baja	0,40 Baja	1,23 Redonda a oval redonda	0,56 Redonda
17	Río Guadalajara	129,65	57,49	21,82	27,71 F.a.	0,07	1,33 Baja	0,53 Baja	1,42 Oval redonda a oval oblonga	0,39 Alargada
18	Quebrada Chambimbal	19,15	19,46	7,58	18,43 Accidentado	0,04	1,13 Baja	0,37 Baja	1,25 Oval redonda a oval oblonga	0,50 Alargada
19	Quebrada Los Mates	2,16	6,29	1,86	31,45 F.a.	0,16	4,06 Alta	5,09 Alta	1,21 Redonda a oval redonda	0,74 Redonda
20	Quebrada San Pedro	14,13	17,14	6,49	25,66 F.a.	0,07	1,17 Baja	0,42 Baja	1,29 Oval redonda a oval oblonga	0,44 Alargada
21	Río Tuluá	768,28	141,39	51,57	42,26 Mf.a.	0,04	1,26 Baja	0,55 Baja	1,44 Oval redonda a oval oblonga	0,48 Alargada

No. Subcuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente subcuenca (%)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (1/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
22	Cañada La Mina	0,63	3,68	1,46	30,30 F.a.	0,21	5,82 Alta	11,15 Alta	1,31 Oval redonda a oval oblonga	0,39 Alargada
23	Río Morales	101,32	51,18	25,54	20,22 F.a.	0,03	1,28 Baja	0,32 Baja	1,43 Oval redonda a oval oblonga	0,30 Alargada
24	Quebrada Sabaletas	46,77	32,54	15,51	6,57 Suave	0,02	1,33 Baja	0,38 Baja	1,34 Oval redonda a oval oblonga	0,39 Alargada
25	Río Bugalagrande	666,46	154,27	73,93	33,61 F.a.	0,02	1,17 Baja	0,50 Baja	1,69 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,37 Alargada
26	Quebrada San Miguel	31,14	24,64	11,79	9,99 M.a.	0,02	1,14 Baja	0,35 Baja	1,24 Redonda a oval redonda	0,56 Redonda
27	Quebrada San Rosa	1,41	5,49	1,47	0,05 Plano	0,06	1,69 Baja	2,13 Alta	1,31 Oval redonda a oval oblonga	1,06 Redonda
28	Quebrada El Overo	10,21	13,46	5,78	2,28 Plano	0,02	0,57 Baja	2,45 Alta	1,19 Redonda a oval redonda	0,89 Redonda
29	Quebrada Murillo	13,47	16,51	5,79	0,86 Plano	0,02	3,66 Alta	4,90 Alta	1,27 Oval redonda a oval oblonga	0,81 Redonda

No. Subcuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente subcuenca (%)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (1/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
30	Río Paila	354,13	92,43	42,52	10,90 M.a.	0,01	1,19 Baja	0,43 Baja	1,39 Oval redonda a oval oblonga	0,61 Redonda
31	Quebrada Los Ángeles	5,35	10,66	4,95	1,47 Plano	0,02	5,40 Alta	8,61 Alta	1,30 Oval redonda a oval oblonga	0,37 Alargada
32	Quebrada Las Cañas	102,95	53,48	21,40	6,96 Suave	0,01	1,19 Baja	0,47	1,49 Oval redonda a oval oblonga	0,68 Redonda
33	Quebrada Pan de Azúcar	18,02	17,33	7,97	5,44 Suave	0,01	1,74 Baja	0,78 Baja	1,15 Redonda a oval redonda	0,66 Redonda
34	Quebrada Yucatán	108,27	52,28	18,77	7,10 M.a.	0,01	1,24 Baja	0,65 Baja	1,42 Oval redonda a oval oblonga	0,58 Redonda
35	Quebrada Obando	15,44	19,14	5,41	27,51 F.a.	0,04	0,82 Baja	0,45 Baja	1,37 Oval redonda a oval oblonga	1,04 Redonda
36	Río La Vieja	2779,29	288,79	132,68	19,65 Accidentado	0,00	1,33 Baja	0,56 Baja	1,54 Oval oblonga a rectangular oblonga	0,49 Alargada
37	Quebrada del Bosque	27,77	23,91	9,81	2,67 Plano	0,03	1,96 Baja	1,37 Baja	1,28 Oval redonda a oval oblonga	0,45 Alargada

No. Subcuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente subcuenca (%)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (l/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de compacidad	Factor de forma
38	Quebrada La Pedregosa	0,63	3,42	1,12	0,66 Plano	0,04	5,30 Alta	11,15 Alta	1,22 Redonda a oval redonda	0,63 Redonda
39	Quebrada Hato Viejo	19,98	20,88	8,27	2,93 Plano	0,03	1,66 Baja	0,95 Baja	1,32 Oval redonda a oval oblonga	0,43 Alargada
40	Quebrada Grande	17,24	21,65	8,72	2,30 Plano	0,02	1,34 Baja	0,64 Baja	1,47 Oval redonda a oval oblonga	0,34 Alargada

M.a.: Medianamente accidentada; F.a.: Fuertemente accidentada; Mf.a.: Muy fuertemente accidentado.

---

De las subcuencas analizadas las características morfométricas predominantes corresponden a subcuencas con pendiente plana, con coeficientes de compacidad clasificados como oval redonda a oval oblonga característico de cuencas no muy irregulares, densidad de drenaje y densidad de corrientes baja reflejando cuencas poco disectadas que no responden rápidamente ante una tormenta.

#### 5.1.6.3.3. Ocupaciones de cauce

En la Tabla 16 se presenta el resultado de las características morfométricas para las subcuencas de drenaje aferentes a los sitios de ocupación de cauce OC20 y OC23 (Figura 28). Las dos subcuencas tienen una caracterización morfométrica similar al presentar la siguiente clasificación. Son subcuencas con forma redonda, por tanto, son propensas a presentar crecidas súbitas cuando se presentan lluvias intensas. La densidad de drenaje y la densidad de corrientes es alta lo que refleja subcuencas altamente disectadas, que responden rápidamente a una tormenta y el tiempo de concentración es de cuatro horas. Las características morfométricas para las subcuencas analizadas se presentan en la Tabla 16.

En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.3 Características morfométricas, se presenta el shape de las subcuencas asociadas a los sitios de ocupación de cauce OC20 y OC23.



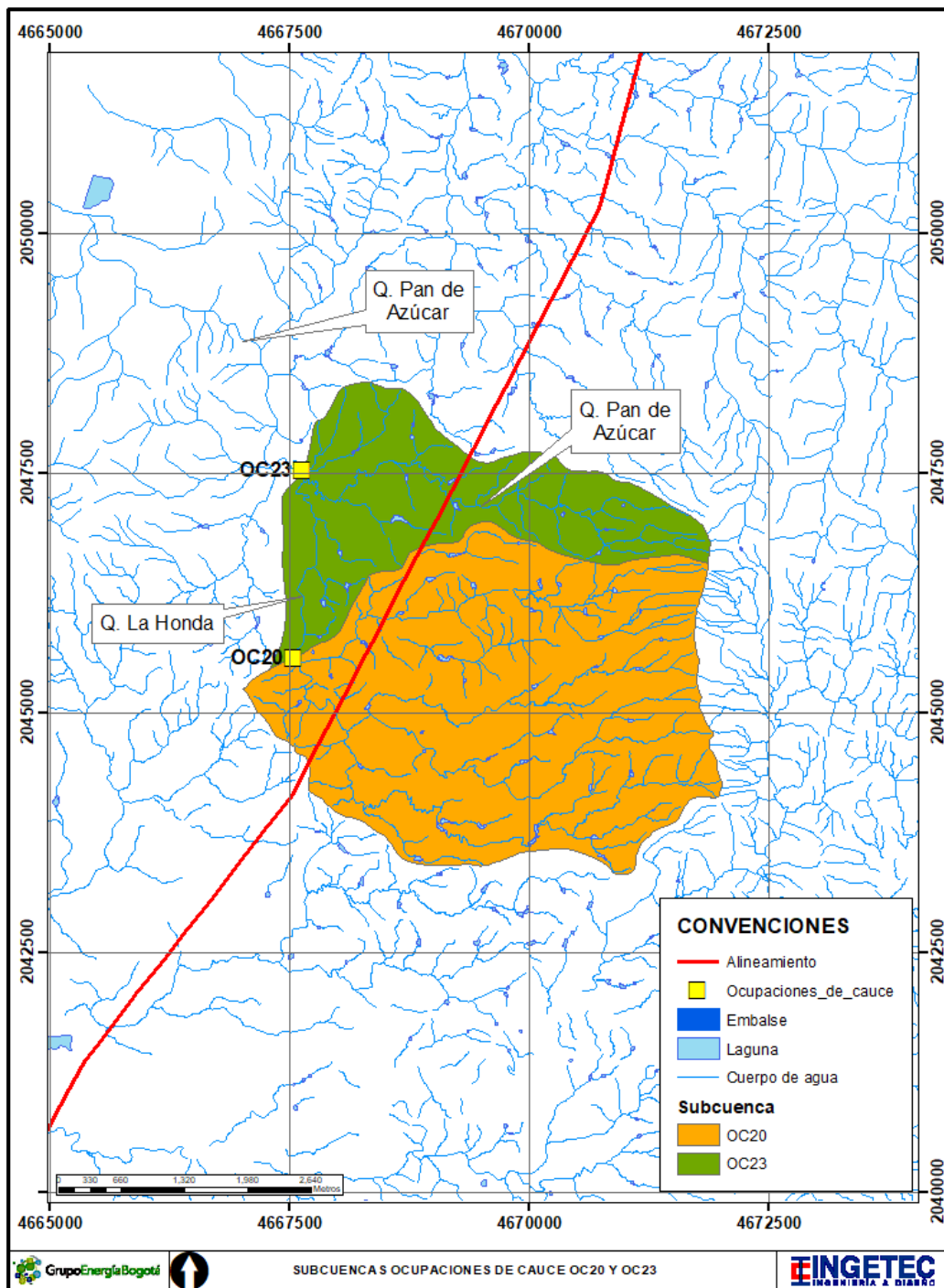


Figura 28. Subcuenca s ocupaciones de cauce.

Tabla 16. Características morfométricas de las ocupaciones de cauce.

Nombre ocupación	Nombre cuerpo de agua	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud cauce (km)	Pendiente cauce (m/m)	Densidad drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Densidad de corrientes (1/km <sup>2</sup> )	Coficiente de compacidad	Factor de forma
OC20	Q. La Honda	12,59	14,73	8,09	0,01	5,28 Alta	9,45 Alta	1,17 Redonda a oval redonda	0,59 Redonda
OC23	Q. Pan de Azúcar	18,00	17,32	10,55	0,01	5,17 Alta	8,72 Alta	1,15 Redonda a oval redonda	0,61 Redonda

#### 5.1.6.4. Patrones y redes de drenaje

Sinuosidad: Es la relación entre la longitud total o de un tramo de cauce principal y la longitud en línea recta de ese mismo cauce o tramo de cauce estudiado. Según Morisawa, el índice de sinuosidad permite clasificar un río o tramo de río en rectilíneo, sinuoso, meandrizante, entrelazado o anastomosado, como se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Clasificación del índice de sinuosidad.

Rango	Descripción
< 1,05	Rectilíneo
1,05 – 1,50	Sinuoso
1,50 – 1,80	Meandrizante
1,80 – 2,00	Entrelazado
> 2	Anastomosado

Fuente: Senciales González. El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. (1998)<sup>32</sup>

#### 5.1.6.4.1. Caracterización cuencas regionales

Teniendo en cuenta la clasificación expuesta anteriormente se determinaron las características para las cuencas regionales hasta el río Cauca, como se presenta en la Tabla 18. Los cuerpos identificados se clasifican entre rectilíneos, sinuosos y meandrizantes.

<sup>32</sup> SENCIALES, José. El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. 1998. p. 171.

Tabla 18. Índice de sinuosidad estimado en las cuencas regionales.

No. cuenca	Nombre	Índice Sinuosidad	
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	1,38	Sinuoso
2	Río Fraile	1,36	Sinuoso
3	Río Amaime	1,60	Meandrizante
4	El Cerrito	1,27	Sinuoso
5	Río Zabaletas	1,33	Sinuoso
6	Río Guabas	0,77	Rectilíneo
7	Río Sonso	1,21	Sinuoso
8	Río Guadalajara	1,21	Sinuoso
9	Zanjón Burriga	1,53	Meandrizante
10	Río Tuluá	1,26	Sinuoso
11	Río Morales	1,55	Meandrizante
12	Río Bugalagrande	1,64	Meandrizante
13	Río Paila	1,97	Entrelazado
14	Quebrada Las Cañas	1,52	Meandrizante
15	Quebrada Pan de Azúcar	1,45	Sinuoso
16	Quebrada Yucatán	1,45	Sinuoso
17	Quebrada Obando	1,48	Sinuoso
18	Río La Vieja	1,82	Entrelazado
19	Quebrada Hato Viejo	1,37	Sinuoso

#### 5.1.6.4.2. Caracterización subcuencas detallada

De acuerdo con esta clasificación, y la definición del índice de sinuosidad, se determinaron las características para los cuerpos de agua superpuestos que hacen parte de las subzonas hidrográficas identificadas como se presenta en la Tabla 19. Los cuerpos identificados se clasifican entre sinuosos y meandrizantes.

Tabla 19. Índice de sinuosidad estimado en las subcuencas detalladas.

No. subcuenca	Nombre	Índice Sinuosidad	
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	1,38	Sinuoso
2	Directos al Cauca costado este	1,08	Sinuoso
3	Río Fraile	1,25	Sinuoso
4	Río Párraga	1,29	Sinuoso
5	Quebrada Chontaduro	1,15	Sinuoso
6	Río Bolo	1,29	Sinuoso
7	Acequia Beringuito	1,14	Sinuoso
8	Acequia Morrocoy	1,09	Sinuoso
9	Río Palmira	1,14	Sinuoso
10	Zanjón Poma	1,22	Sinuoso
11	Río Nima	1,23	Sinuoso
12	Río Amaime	1,26	Sinuoso
13	Río Cerrito	1,31	Sinuoso
14	Río Zabaletas	1,35	Sinuoso
15	Río Guabas	1,54	Meandrizante
16	Río Sonso	1,12	Sinuoso
17	Río Guadalajara	1,20	Sinuoso
18	Quebrada Chambimbal	1,22	Sinuoso
19	Quebrada Los Mates	1,08	Sinuoso
20	Quebrada San Pedro	1,15	Sinuoso
21	Río Tuluá	1,29	Sinuoso
22	Cañada La Mina	1,15	Sinuoso
23	Río Morales	1,38	Sinuoso
24	Quebrada Sabaletas	1,41	Sinuoso
25	Río Bugalagrande	1,74	Meandrizante
26	Quebrada San Miguel	1,58	Meandrizante
27	Quebrada San Rosa	1,28	Sinuoso

No. subcuenca	Nombre	Índice Sinuosidad	
28	Quebrada El Overo	1,71	Meandrizante
29	Quebrada Murillo	1,42	Sinuoso
30	Río Paila	1,76	Meandrizante
31	Quebrada Los Ángeles	1,31	Sinuoso
32	Quebrada Las Cañas	1,74	Meandrizante
33	Quebrada Pan de Azúcar	1,52	Meandrizante
34	Quebrada Yucatán	1,37	Sinuoso
35	Quebrada Obando	1,41	Sinuoso
36	Río La Vieja	1,76	Meandrizante
37	Quebrada del Bosque	1,25	Sinuoso
38	Quebrada La Pedregosa	1,12	Sinuoso
39	Quebrada Hato Viejo	1,21	Sinuoso
40	Quebrada Grande	1,22	Sinuoso

#### 5.1.6.4.3. Ocupaciones de cauce

De acuerdo con esta clasificación, y la definición del índice de sinuosidad, se determinaron las características para las subcuencas de drenaje aferentes a los sitios con ocupación de cauce como se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. Índice de sinuosidad estimado en las ocupaciones de cauce.

Nombre ocupación	Nombre cuerpo de agua	Área (km <sup>2</sup> )	Índice de sinuosidad	Clasificación
OC20	Q. La Honda	12,59	1,75	Meandrizante
OC23	Q. Pan de Azúcar	18,00	1,95	Entrelazado

En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.3 Características morfométricas, se presenta el análisis morfométrico de las cuencas regionales, subcuencas detalladas y ocupaciones de cauce.

### 5.1.6.5. Dinámica fluvial

A continuación se presenta la revisión de la forma en planta en los tramos de los ríos principales en los cruces de la línea de transmisión. El objetivo es evaluar la dinámica fluvial de los cuerpos de agua principales en el área de influencia del proyecto, así como para las corrientes hídricas objeto de intervención con ocupaciones de cauce.

#### 5.1.6.5.1. Dinámica fluvial en cuerpos de agua principales

Como primer paso se identificaron los cruces relevantes de acuerdo a la ubicación de las torres y el tamaño del río. Se encontraron 15 cruces con cuerpos de agua en los que se considera necesaria la revisión. En dicha revisión se usaron imágenes satelitales para evaluar cualitativamente el grado de inestabilidad de los cauces, así como la topografía del terreno para identificar los casos en donde la separación vertical del proyecto con el cauce elimina el riesgo de afectación. Como resultado del filtro anterior se obtuvieron 10 cuerpos de agua para los cuales se revisó la dinámica fluvial, en la Figura 29 se muestran los 15 cruces identificados inicialmente diferenciando entre los descartados y los 10 cruces seleccionados finalmente.

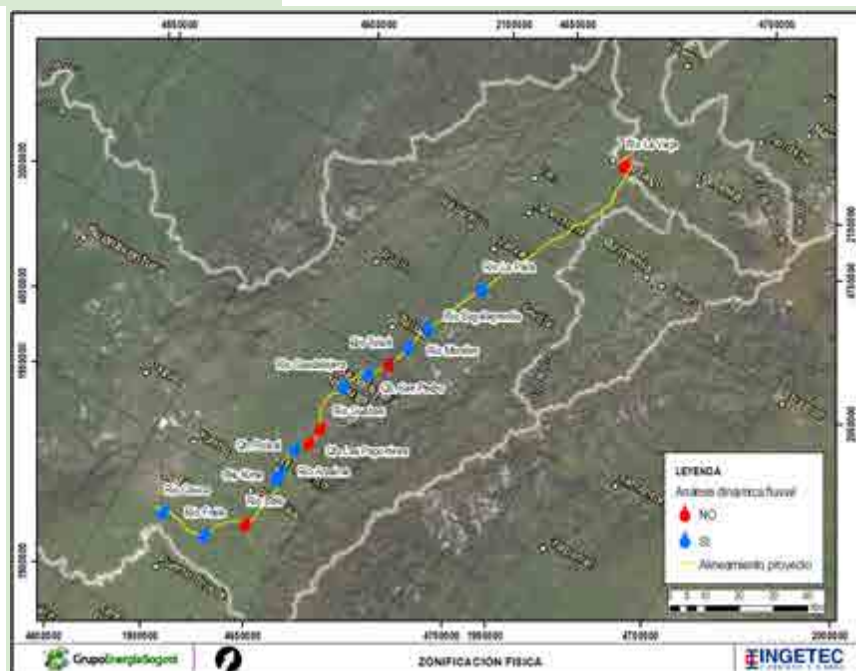


Figura 29. Cuerpos de agua principales identificados sujetos a análisis de dinámica fluvial.



Para realizar la caracterización de la dinámica fluvial de los cuerpos de agua identificados, se utilizó la clasificación mostrada en la Figura 30, que combina los criterios propuestos por Schumm (1981) y Rosgen (1994). Esta permite obtener una valoración cualitativa de la estabilidad del cauce en función de algunos parámetros morfológicos como la pendiente, el transporte de sedimentos y la relación ancho profundidad.

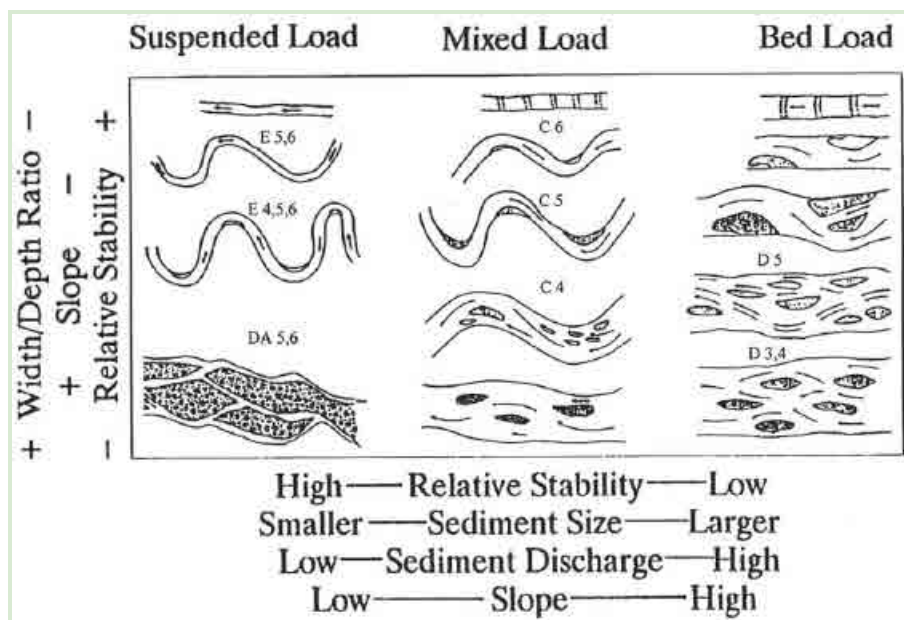


Figura 30. Clasificación de cauces combinando criterios de Schumm (1981) y Rosgen (1994).

Fuente: USACE, 1999.

Adicionalmente, se evaluó la movilidad lateral en las curvas de acuerdo con el nomograma propuesto por Julien (2018), que se muestra en la Figura 31. Este relaciona el esfuerzo cortante relativo, en sentido longitudinal y transversal, con parámetros como la sinuosidad, el transporte de sedimentos y la relación entre el radio de curvatura y el ancho superficial. Por otro lado, para los sitios en donde pueda existir algún nivel de riesgo, se utilizó la gráfica propuesta por Nanson y Hickin (1986) para estimar teóricamente la tasa de migración.

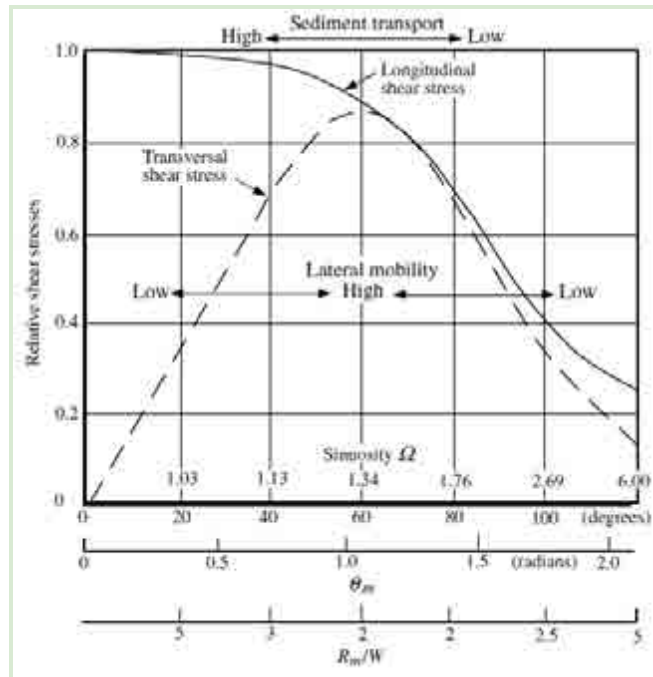


Figura 31. Variación del esfuerzo cortante relativo con la relación  $R/W$ .  
 Fuente: Julien, 2018.

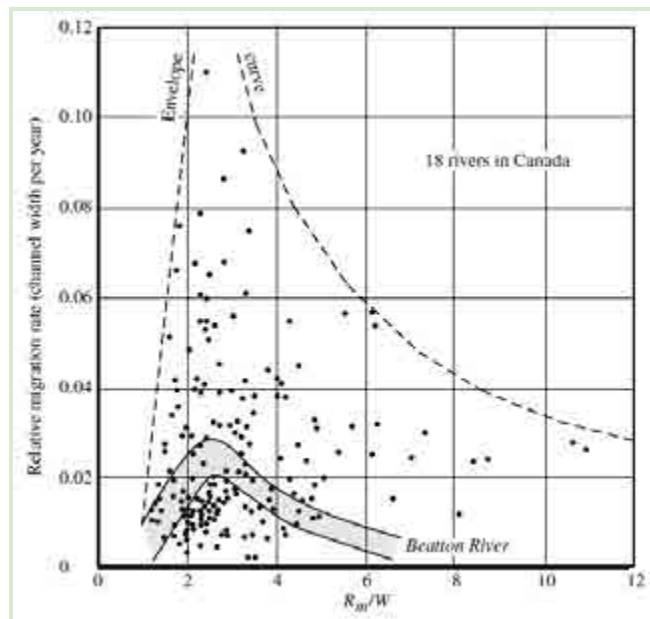






Figura 32. Variación de la tasa de migración lateral en función de la relación  $R/W$ .  
 Fuente: Nanson & Hickin, 1986.







En la Tabla 21 se muestra la caracterización de la dinámica fluvial de los 10 cuerpos de agua, siguiendo los criterios de clasificación expuestos anteriormente. Para cada cuerpo de agua se muestra una imagen satelital del cruce identificando el radio de las curvas más cercanas (círculo verde), el alineamiento del cauce (línea azul) y el alineamiento del proyecto (línea naranja) incluyendo las torres (cruces rojas).

Con las características observables a partir del uso de información secundaria como imágenes satelitales y curvas de nivel procesadas en software SIG, se calcularon los valores del índice de sinuosidad y de la relación entre radio de la curva promedio y el ancho superficial. Utilizando la información descrita se hace una breve descripción de la dinámica fluvial de cada cuerpo de agua.





Tabla 21. Caracterización de la dinámica fluvial de los cuerpos de agua principales identificados sujetos a análisis de dinámica fluvial.

Cauce	Clasificación Schumm (1981) y Rosgen (1994)	Sinuosidad	R/W
 <p style="text-align: center;"><u>Río Cauca</u></p>	 <p>El río Cauca en la zona de cruce puede clasificarse como un río tipo E5 o E6, de acuerdo con la clasificación de Rosgen, cuyo transporte de sedimento se realiza principalmente en suspensión. Es un río de baja pendiente con bancas vegetadas que le confieren una alta estabilidad. Analizando el esfuerzo cortante, se tiene que el río tiene una baja movilidad lateral al analizar el nomograma de Julien en función de la relación R/W.</p>	4,42/3,52=1,26	322/65=4,95


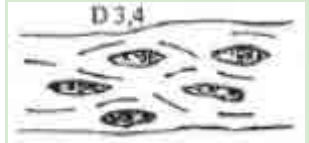


Cauce	Clasificación Schumm (1981) y Rosgen (1994)	Sinuosidad	R/W
 <p style="text-align: center;"><u>Río Fraile</u></p>		<p>2,05/1,14=1,78</p>	<p>22/10=2,20</p>
<p>El río Fraile presenta características similares al río Cauca, aunque con una relación R/W que puede significar mayor tendencia a la movilidad lateral. Sin embargo, no se observan barras de punta ni procesos de sedimentación y al revisar imágenes multitemporales se corrobora que el alineamiento en la zona del cruce tiene alta estabilidad.</p>			
 <p style="text-align: center;"><u>Río Nima</u></p>		<p>1,83/1,15=1,59</p>	<p>24/13=1,85</p>
<p>El Río Nima en la zona de cruce presenta barras de sedimento, que evidencian transporte de mixto de sedimentos, tanto en suspensión como de fondo. De acuerdo con la clasificación de Rosgen es un río C5, que corresponde a cauces meándricos de bajo gradiente con barras de punta y planicies aluviales bien definidas. Estos ríos presentan una alta presencia de procesos erosivos en las bancas como se corrobora con la lectura del diagrama de Julien. Sin embargo, en este tipo de cauces la vegetación tiene un efecto controlador importante; en este caso se observa una vegetación ribereña densa y continua, razón por la cual el río Nima se muestra estable al revisar imágenes satelitales multitemporales.</p>			

Cauce	Clasificación Schumm (1981) y Rosgen (1994)	Sinuosidad	R/W
 <p style="text-align: center;"><u>Río Amaime</u></p>		$1,60/1,09=1,47$	$42/10=4,20$
<p>El río Amaime presenta características similares a las del río Nima, con transporte de sedimento mixto y presencia de barras de sedimento. La diferencia está en que la relación R/W del alineamiento en planta le aporta aún mayor estabilidad, situación que se comprobó al revisar imágenes satelitales multitemporales.</p>			
 <p style="text-align: center;"><u>Quebrada Poleal</u></p>		$1,29/1,03=1,25$	$69/18=3,83$
<p>La quebrada Poleal presenta transporte de fondo principalmente por lo que se observan barras alternadas de sedimento y el cauce puede clasificarse como tipo D5 de acuerdo con Rosgen. El cruce se presenta en una zona recta y aparentemente estable del río y la relación R/W de las curvas más cercanas corresponden a una baja movilidad lateral de acuerdo con el nomograma de Julien. La revisión de imágenes de satélite multitemporales evidenció un alineamiento invariante en el tiempo en la zona del cruce.</p>			
		$2,51/2,38=1,05$	$203/20=10,15$
<p>El río Guadalajara tiene transporte predominantemente de fondo y el cruce se encuentra en un tramo relativamente recto como se evidencia con el índice de sinuosidad y relación R/W. Aguas arriba y aguas abajo del cruce se observa un nivel de trenzamiento, pero el cauce activo se observa estable en el tiempo al estudiar las imágenes satelitales disponibles.</p>			



Cauce	Clasificación Schumm (1981) y Rosgen (1994)	Sinuosidad	R/W
<u>Río Guadalajara</u>			
 <p style="text-align: center;"><u>Quebrada San Pedro</u></p>	 <p style="text-align: center;">D3.4</p>	N/A	N/A
<p>La quebrada San Pedro corresponde a un cauce trenzado en donde el transporte de sedimento se realiza como carga de fondo. Puede clasificarse como tipo D según la metodología de Rosgen. Al ser trenzado, los conceptos de índice de sinuosidad y R/W no aplican y se espera que existan procesos erosivos en las bancas. Sin embargo, en el caso de la quebrada San Pedro la geología controla el alineamiento del cauce, lo que le otorga estabilidad.</p>			
 <p style="text-align: center;"><u>Río Morales</u></p>	 <p style="text-align: center;">C5</p>	1,91/1,22=1,57	21,35/15=1,42
<p>El Río Morales presenta transporte mixto con presencia de barras de sedimento. Los valores de índice de sinuosidad y relación R/W obtenidos dan cuenta de una alta migración lateral teórica. Se observan procesos de erosión activos incluyendo uno importante en una curva. La torre se encuentra a aproximadamente 150 metros de la curva y a 90 metros del proceso erosivo. El proceso en mención tiene origen en el 2016 y ha causado el fallo progresivo del talud que se muestra en la imagen.</p> <p>Partiendo de la gráfica de Nanson y Hickin se obtiene una tasa de migración de 0,3 m/año, por lo que el riesgo para la ubicación de la torre podría clasificarse como bajo y se recomienda realizar un monitoreo periódico para detectar a tiempo un aumento del nivel de riesgo que implique obras de estabilización en el talud y de protección en la curva.</p>			



Cauce	Clasificación Schumm (1981) y Rosgen (1994)	Sinuosidad	R/W
 <p style="text-align: center;"><u>Río Bugalagrande</u></p>		N/A	N/A
<p>El río Bugalagrande corresponde a un cauce trenzado; es decir, predomina el transporte de fondo y la inestabilidad de las márgenes. Las torres antes y después del cruce se ubican en terrazas que delimitan el área en donde divaga el cauce, separadas aproximadamente 400 metros del cauce por ambos lados y, por lo tanto, no existe riesgo para el proyecto.</p>			
		2,63/1,77=1,49	81/35=2,31
 <p style="text-align: center;"><u>Río La Paila</u></p>	<p>En el río la paila se observan barras de sedimento y cambios en el alineamiento en planta al revisar imágenes multitemporales, como lo evidencia la presencia de meandros abandonados y procesos de erosión activos en las bancas. Los valores de índice de sinuosidad y relación R/W se ubican en la zona de mayor migración lateral en el diagrama de Julien, lo que es consistente con lo observado. La torre ubicada al sur se encuentra aproximadamente a 80 metros de una curva con procesos de erosión activos, que de acuerdo con el nomograma de Nanson y Hickin puede tener una tasa de migración de cerca alrededor de 1 metro por año. Lo anterior significa que el riesgo para la torre podría clasificarse como bajo y se recomienda realizar un monitoreo periodico para detectar a tiempo un aumento del nivel de riesgo que implique obras de estabilización en el talud y de protección en la curva.</p>		

En conclusión, de los 10 cuerpos de agua analizados se tienen dos en donde existe riesgo bajo de afectación al proyecto. Estos corresponden a los ríos Morales y La Paila, que son cauces con evidencias de migración lateral y procesos de erosión activos en las márgenes que pueden llegar a afectar taludes cercanos. En ambos casos el riesgo se

considera bajo y se recomienda realizar un monitoreo periódico para detectar cualquier cambio que implique un aumento en el nivel de riesgo y la necesidad de implementar obras de protección.

#### 5.1.6.5.2. Dinámica fluvial en sitios de ocupación de cauce

##### 5.1.6.5.2.1. Caracterización morfológica

La caracterización morfológica parte del análisis de las variables morfológicas dependientes e independientes de los cuerpos de agua en las zonas de ocupación de cauce. Las variables independientes corresponden al caudal y al volumen de sedimentos transportados; mientras que las variables dependientes están representadas por la sección transversal, la forma en planta, la pendiente longitudinal y tamaño representativo del sedimento. Las características hidráulicas de los cuerpos de agua en las zonas de ocupación de cauce se obtuvieron de los resultados de los modelos hidráulicos desarrollados en el informe de ocupaciones de cauce (En el Anexo H1. Ocupaciones de cauce, se relaciona el informe y el modelo hidráulico para cada sitio de ocupación de cauce) y se resumen en la Tabla 22.

Tabla 22. Características hidráulicas de los cuerpos de agua en las zonas de ocupación.

Cuerpo de agua	Zona de ocupación	Caudal Tr 2 (m <sup>3</sup> /s)	Ancho sup. [W] (m)	Prof. [d] (m)	Área (m)	W/d (-)	Pendiente (-)	Velocidad media (m/s)
Q. La Honda	OC20	6,1	9,33	1,06	6,80	8,60	0,01163	1,26
Q. Pan de Azúcar	OC23	8,3	7,24	1,07	9,71	10,95	0,01119	1,37

En la Tabla 22 se muestran los valores estimados de diferentes parámetros hidráulicos para un caudal de periodo de retorno de 2 años que puede asociarse al caudal formativo; es decir, el caudal teórico que puede producir los mismos cambios geométricos en el cauce que el régimen natural de caudales. En la Figura 33 se muestran las dos zonas de ocupación de cauce bajo análisis haciendo uso del registro fotográfico disponible.

Las zonas de ocupación OC20 y OC23, que pertenecen a una misma subcuenca hidrográfica, ocurren en un cauce que corta una planicie de inundación bien definida y cuyos taludes están cubiertos por vegetación rastrera. Las fotografías de la zona dan cuenta de algunos procesos erosivos en las márgenes que pueden estar asociados al

paso continuo de ganado por la zona o falla del talud por efecto del nivel freático y la variación repentina del nivel de agua en la quebrada. También es posible observar que el transporte de sedimento corresponde a material fino como carga de lavado y arenas, luego de eventos de precipitación en la subcuenca.



Figura 33. Cuerpos de agua en las zonas de ocupación de cauce.  
Fuente: GEB. (2018).

Para analizar la estabilidad actual de los cauces se utilizó la clasificación de Rosgen (1994)<sup>33</sup> que es ampliamente aceptada para este tipo de estudios y se basa en el análisis

<sup>33</sup> Rosgen, D. A Classification of Natural Rivers. ELSEVIER Science. (1994).

detallado de 450 ríos alrededor del mundo. La principal utilidad de la clasificación de Rosgen es la habilidad de predecir el comportamiento de una corriente de agua, información necesaria a la hora de realizar evaluaciones de impacto, análisis de riesgo y programas de manejo integral.

Para aplicar la metodología de Rosgen, se miden directa o indirectamente características morfológicas de la corriente objeto de estudio y con estos valores se clasifica la corriente en alguna de las tipologías propuestas (ver Figura 34 y Figura 35). Algunas de las características de interés son la pendiente, la relación ancho superficial y profundidad, la sinuosidad y el grado de atrincheramiento de la sección transversal típica.

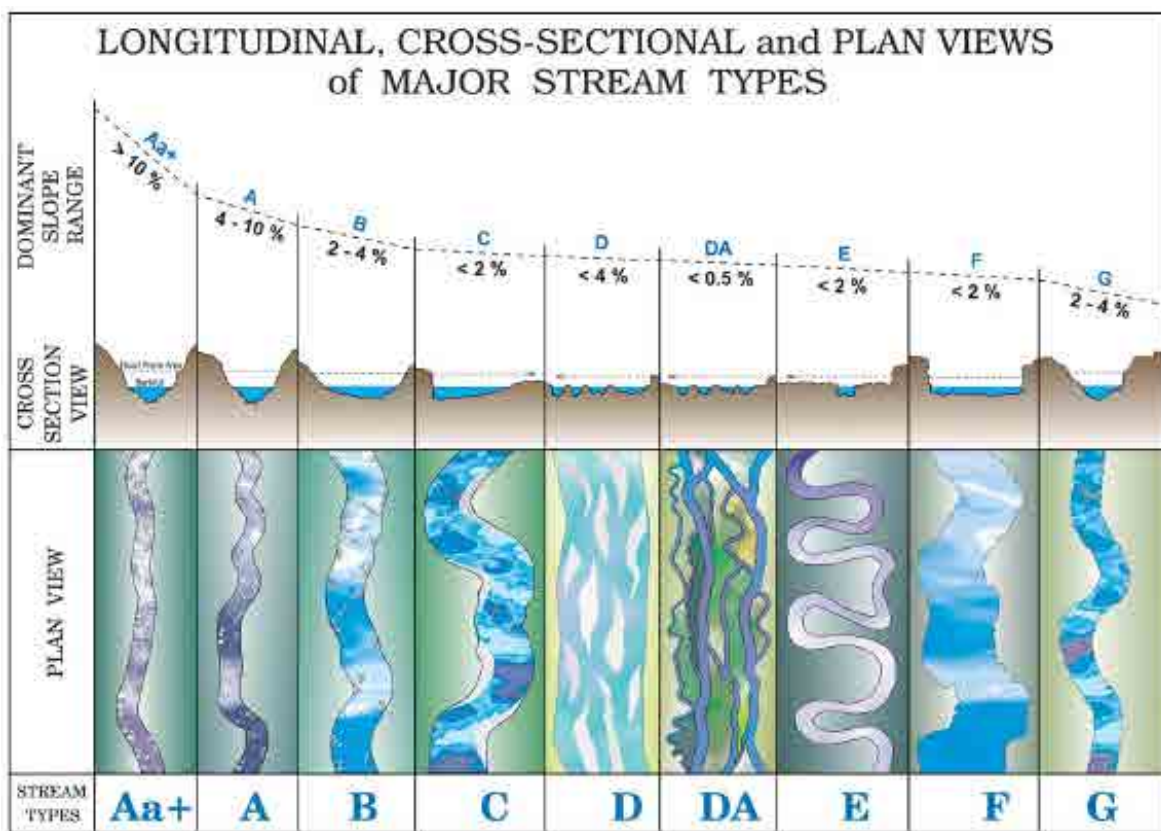


Figura 34. Clasificación de corrientes naturales de acuerdo con Rosgen (1994).



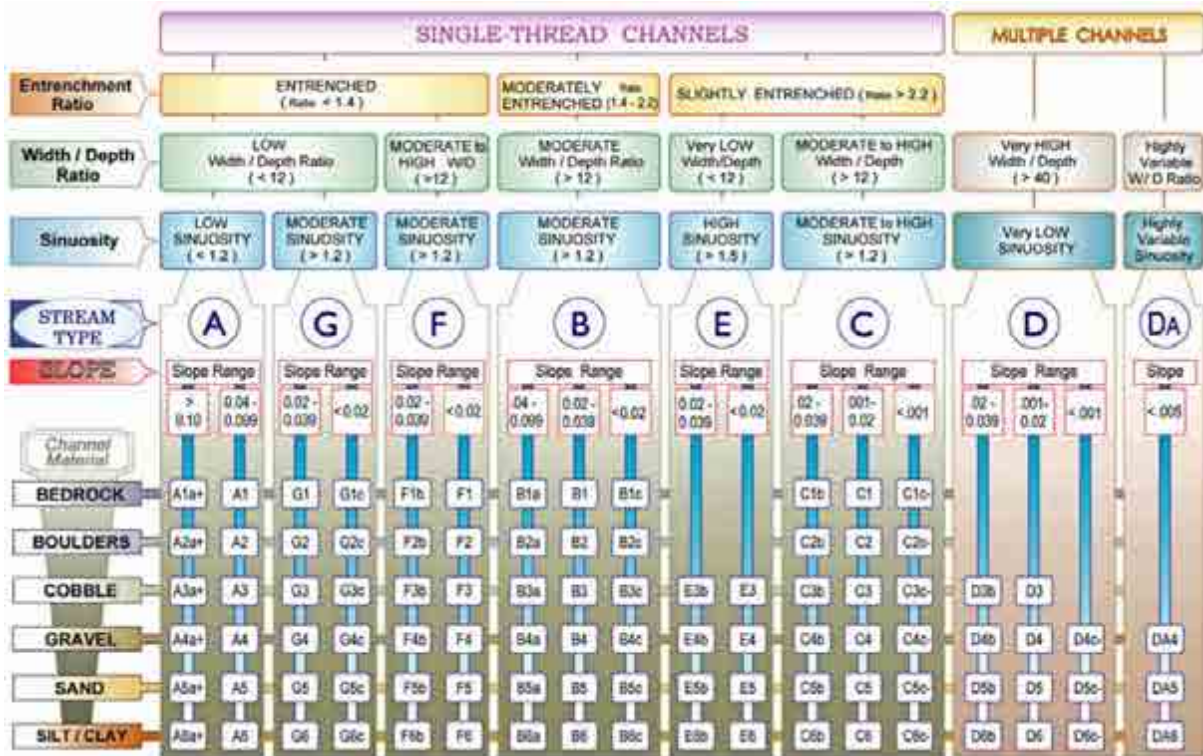


Figura 35. Diagrama de clasificación de corrientes naturales de acuerdo con Rosgen (1994).

Fuente: USDA. Rosgen Stream Classification. (2007)<sup>34</sup>.

El primer paso es determinar el tipo base a partir de la pendiente. En este caso, las quebradas La Honda y Pan de Azúcar, que son el mismo cuerpo de agua, los tipos base más apropiados de acuerdo a la pendiente son el E, el F y el C.

En el siguiente paso se usa la relación ancho sobre profundidad de la sección (W/d) y el índice de sinuosidad para precisar el tipo de cauce entre los identificados en el paso anterior. Para las quebradas La Honda y Pan de Azúcar la relación W/d es menor a 12 y el índice de sinuosidad es mayor a 1,5, por lo que el tipo base termina siendo el E.

Los tipo E son cauces aluviales meandriformes de baja pendiente y con secuencias de pozas y rápidos. Tienen bancas con un alto nivel de vegetación que le proporcionan estabilidad. Estos cauces normalmente se desarrollan en praderas amplias que se

<sup>34</sup> United States Department of Agriculture. Rosgen Stream Classification. Technical Supplement 3E. Washington D.C. (2007).

configuran en su planicie de inundación. Todas estas características se ajustan a lo observado en campo.

Por último, usando el tipo de material en el lecho para establecer el tipo final de río, se llega a que las quebradas La Honda y Pan de Azúcar son tipo E4. De acuerdo con la metodología de clasificación de Rosgen (1994), es posible asignar una valoración cualitativa a cada tipología de cauce en cuanto a su sensibilidad ante perturbaciones de las variables morfológicas independientes, el potencial de recuperación natural luego de una inestabilidad, la capacidad de transporte de sedimentos, el potencial de erosión de las márgenes y el efecto de control que ejerce la vegetación. En la Tabla 23 se resumen las calificaciones de estas variables para la tipología identificada.

Tabla 23. Caracterización morfológica de los cuerpos de agua en las zonas de ocupación de cauce.

Cuerpo de agua	Zona de ocupación	Tipo	Sensibilidad a las perturbaciones	Potencial de recuperación	Transp. de sedimento	Potencial de erosión en márgenes	Efecto de la vegetación
Q. La Honda y Pan de Azúcar	OC20 y OC23	E4	Muy alto	Bueno	Moderado	Alto	Muy alto

#### 5.1.6.5.2.2. Análisis multitemporal (forma en planta)

Se realizó un análisis multitemporal con el objetivo de estudiar la variación en el tiempo del alineamiento de los cuerpos de agua en las zonas de ocupación de cauce. Para obtener imágenes en el mayor periodo de tiempo posible se consultaron diferentes fuentes de información entre las que están: ortofotografías, imágenes de sensores remotos y fotografías aéreas. A continuación se detalla lo encontrado para cada ocupación de cauce pero se hace notar que la dimensión de los cuerpos de agua dificulta la identificación de cambios en la escala normal de las imágenes.

- Análisis multitemporal OC20 y OC23

Las imágenes temporales de las quebradas La Honda y Pan de Azúcar se muestran en la Figura 36 y la Figura 37; en ambos casos el periodo de análisis es 1995 - 2020. Para la quebrada La Honda se tiene una densa franja de vegetación ribereña que no permite



identificar cambios particulares en el alineamiento del cuerpo de agua, pero sí permite concluir que la forma en planta es, en general, estable. En el caso de la quebrada Pan de azúcar si es posible identificar tramos del alineamiento del cauce el cual presenta un alto índice de sinuosidad. No obstante, los meandros que se pueden comparar en las cuatro imágenes permanecen invariantes, lo que significa que la forma en planta del cuerpo de agua es estable en el tiempo.

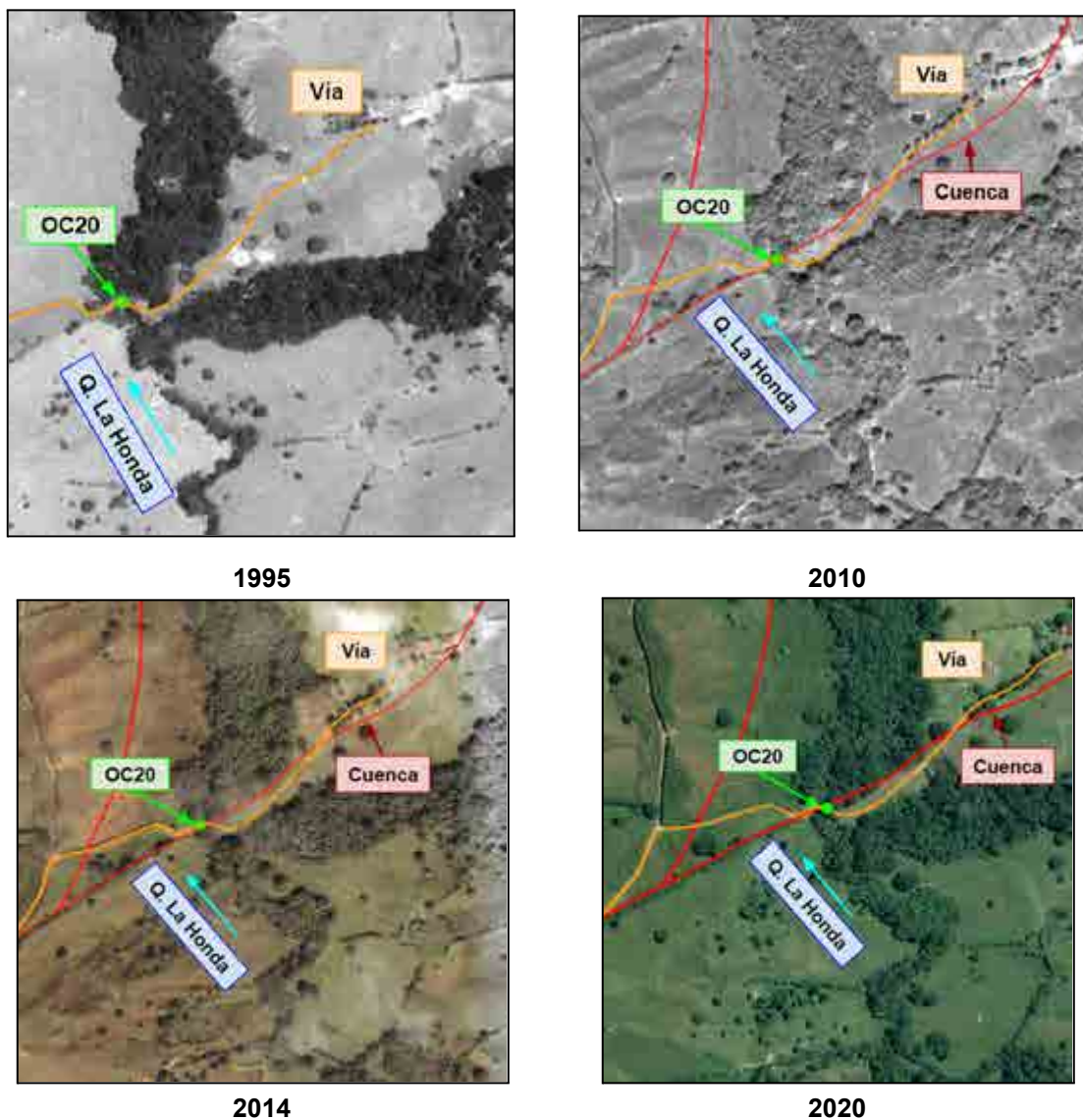


Figura 36. Variación multitemporal del cauce en la zona de ocupación OC20. Quebrada La Honda.

Fuente: Tomado y adaptado del Banco Nacional de Imágenes, 2021; Google Earth. (2021).

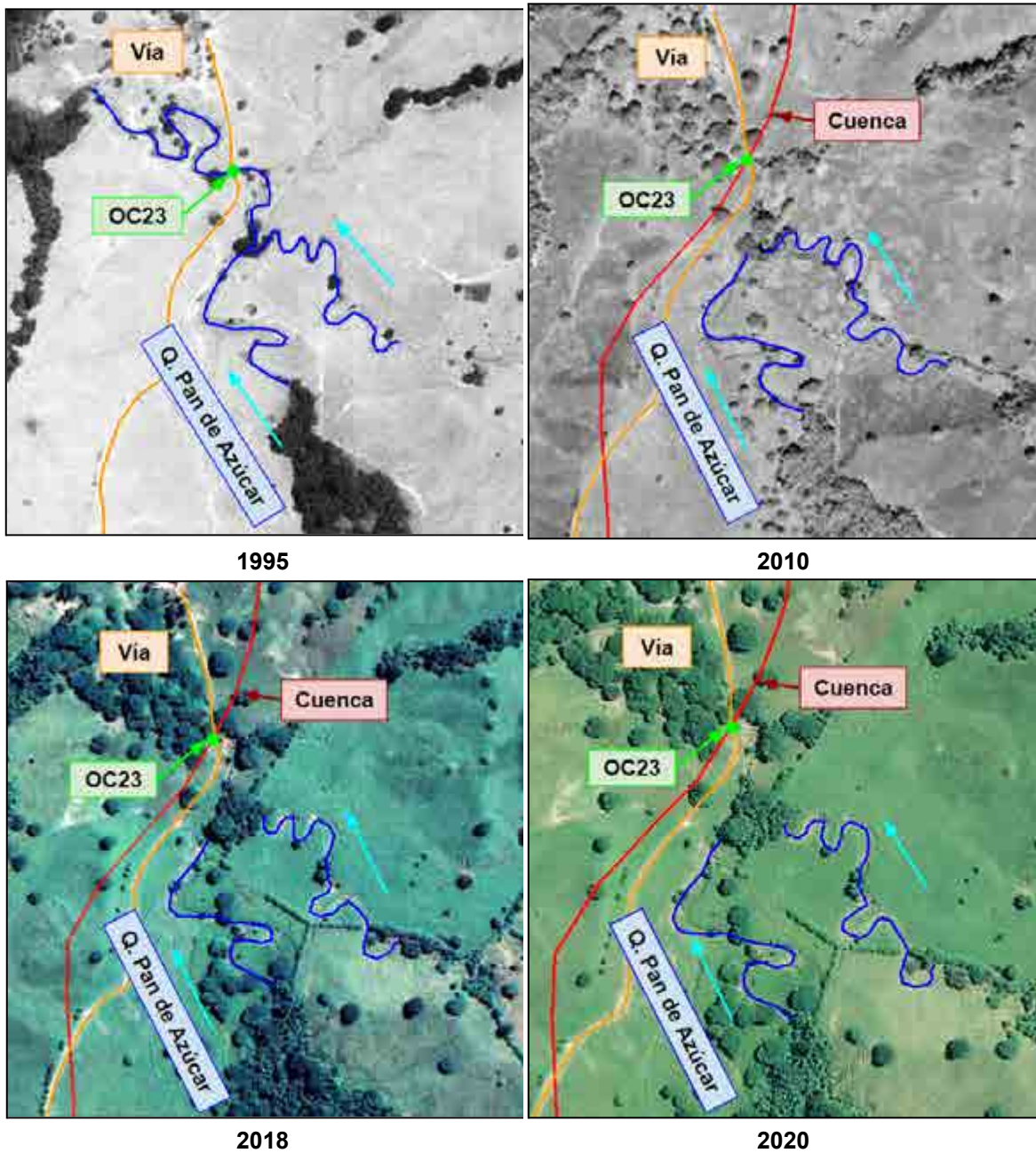


Figura 37. Variación multitemporal del cauce en la zona de ocupación OC23. Quebrada Pan de Azúcar.

Fuente: Tomado y adaptado. Banco Nacional de Imágenes. (2021); Google Earth. (2021).

Con el análisis realizado se evidenció que, en general, la dinámica fluvial de los cuerpos de agua en las zonas de ocupación de cauce es baja. Se trata de quebradas estables que en el caso de las zonas OC20 y OC23 el cauce se encuentra bien definido en la planicie de inundación sin variaciones apreciables en el tiempo.

Por otro lado, la caracterización morfológica de los cuerpos de agua arrojó que estos son sensibles a los cambios en las variables morfológicas independientes, caudal y volumen de sedimentos transportados, que pueden generar cambios en las variables dependientes como respuesta del cauce para ajustarse a las nuevas condiciones de equilibrio.

#### 5.1.6.6. Análisis de inundación

Las inundaciones son flujos de aguas que sobrepasan las orillas naturales o artificiales de una corriente, y ocupan una porción del terreno que, en condiciones normales, permanece por encima del nivel de los cuerpos de agua que lo rodean. Son procesos naturales recurrentes que hacen parte de la dinámica de evolución de un río.

Las causas de las inundaciones están relacionadas con factores climáticos debido a excesiva precipitación, alta intensidad y/o duración<sup>35</sup>.

En el análisis de inundación para la línea de transmisión se consideró la susceptibilidad al evento a partir de las características geomorfológicas existentes en la zona de servidumbre y la información generada por el IDEAM para el evento extremo de la niña presentado en los años 1988, 2000 y 2011.

##### 5.1.6.6.1. Susceptibilidad a inundaciones

Los eventos de inundación ocurren en época de invierno y afectan especialmente las zonas de bajas topográficas y planicies. A partir de los análisis realizados a los caudales máximos y medios anuales, en la zona de estudio el periodo de caudales por encima del promedio ocurre de abril a junio y de noviembre a diciembre, siendo el mes de noviembre el que presenta mayor caudal.

Para determinar la susceptibilidad a inundaciones en la zona de servidumbre de la línea de transmisión, se consideró la metodología desarrollada por el IGAC y CORANTIOQUIA

---

<sup>35</sup> IDEAM. Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua. Bogotá. 2013. p. 216

en el año 2014<sup>36</sup>; la metodología establece factores condicionantes o criterios que posteriormente son evaluados definiendo su importancia dentro del proceso y su ponderación. Las variables consideradas dentro de las temáticas geomorfología y suelos utilizadas en el presente análisis, se relacionan en la Figura 38 junto con las ponderaciones asignadas.

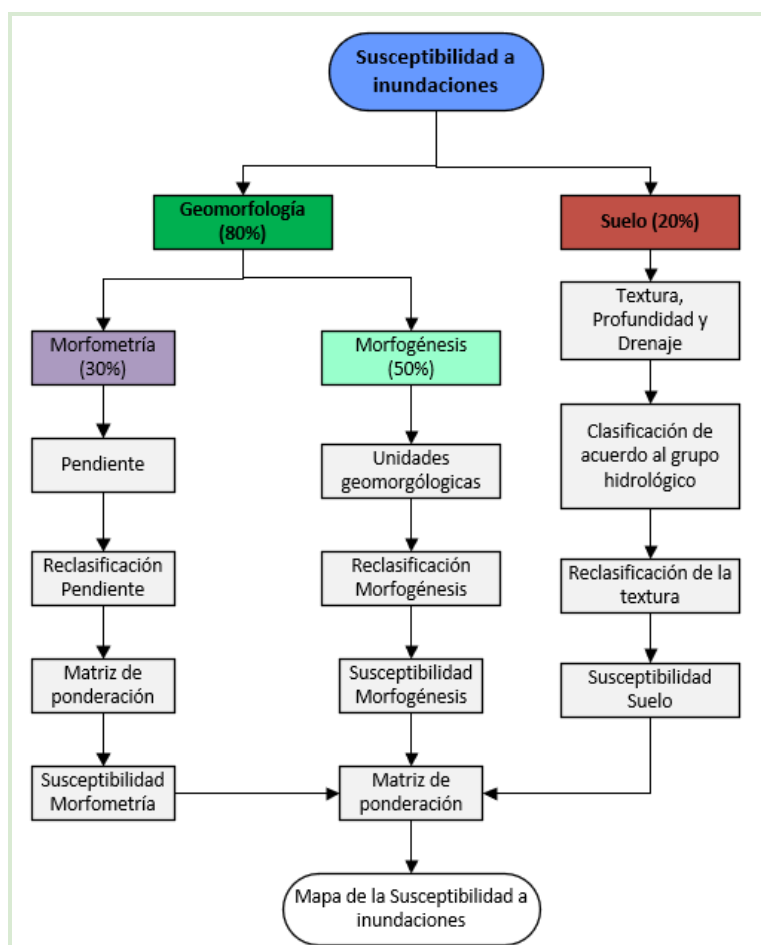


Figura 38. Metodología susceptibilidad a inundaciones.

Fuente: Adaptado de IGAC & Corantioquia. Memoria explicativa mapa susceptibilidad del terreno a inundaciones. (2014).

Para establecer la susceptibilidad a la inundación de las variables mencionadas en la Figura 38, se clasificó el grado de susceptibilidad como se presenta en la Tabla 24.

<sup>36</sup> CORANTIOQUIA-IGAC. Memoria explicativa mapa susceptibilidad del terreno a inundaciones. Antioquia. 2014.



Tabla 24. Categorización del grado de susceptibilidad a inundaciones.

Grado de Susceptibilidad	Calificación de la Susceptibilidad
Muy Baja	1
Baja	2
Media	3
Alta	4
Muy Alta	5

#### 5.1.6.6.1.1. Geomorfología

La geomorfología tiene como una de sus funciones identificar geoformas, las que están compuestas por materiales y estructuras que le son características frente al comportamiento ante los fenómenos de inundación. Dentro de este criterio, se fijaron la morfometría (Pendiente); y, la morfogénesis (Unidades geomorfológicas)<sup>37</sup>. En el Capítulo 5.1 Medio Abiótico - 5.1.1 a 5.1.4 Geos V1 numeral 5.1.4. Geomorfología, se detalla la caracterización geomorfológica.

- Pendiente

Se trata de la pendiente de la ladera definida como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje<sup>38</sup>. La pendiente está directamente relacionada con las inundaciones, ya que a menor grado de pendiente mayor es la susceptibilidad a presentarse inundación.

La pendiente es una variable cuantitativa continua que se deriva del DEM y para este caso se empleó la pendiente medida en porcentaje. Para la categorización de las pendientes, se implementó el software ArcGIS (Spatial Analyst Tools > Surface > Slope) en donde se definieron las pendientes en formato Raster a partir del DEM. La clasificación del rango de pendientes se presenta en la Tabla 25.

<sup>37</sup> CORANTIOQUIA-IGAC. Memoria explicativa mapa susceptibilidad del terreno a inundaciones. Antioquia. 2014. p. 20.

<sup>38</sup> IDEAM. Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. Bogotá. 2012. p. 8.

Tabla 25. Clasificación de la pendiente.

Tipo de superficie	Rango de Valores	Calificación de la susceptibilidad	
Plana	0% - 3%	5	Muy Alta
Ligeramente Ondulado	3% - 7%	4	Alta
Moderadamente Ondulado	7% - 12%	3	Media
Fuertemente Ondulado	12% - 25%	2	Baja
Ligeramente Escarpado	25% - 50%	2	Baja
Moderadamente Escarpado	50% - 75%	1	Muy Baja
Fuertemente Escarpado	> 75%	1	Muy Baja

En la Figura 39, se presenta la reclasificación de la pendiente, en donde se observa que los tramos de la parte sur se categorizan en una susceptibilidad alta o muy alta.







- **Morfogénesis**

La morfogénesis explica el origen de una geoforma y para su obtención se utiliza el mapa geomorfológico. Los sistemas morfogénicos explican el origen de la gran variedad de geoformas existentes en el territorio; cada sistema morfogénico refleja la reunión de variables litológicas, topográficas, bioclimáticas, cobertura vegetal y uso, y cada unidad tiene una dinámica y evolución particulares<sup>39</sup>.

Para establecer el grado de susceptibilidad a inundaciones de las unidades geomorfológicas identificadas, se tuvo en cuenta la localización espacial, la elevación, la pendiente, la clasificación por ambiente (Denudacional, fluvial, estructural, volcánico y antropogénico), la identificación de geoformas con mayor tendencia a inundaciones, entre otros aspectos. A partir de las consideraciones anteriores algunas unidades geomorfológicas pueden tener diferente calificación a la susceptibilidad teniendo en cuenta la posición espacial de acuerdo a la red de drenaje y su elevación sobre el nivel del mar (Tabla 26).

Tabla 26. Susceptibilidad a inundaciones por criterios de las unidades geomorfológicas.

Unidad geomorfológica	Calificación de la susceptibilidad	
Abanico aluvial	3	Media
Abanico fluvio-torrencial	3	Media
Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados	4	Alta
Barra longitudinal	5	Muy Alta
Barra puntual	5	Muy Alta
Cauce fluvial	5	Muy Alta
Colina remanente disectada	2	Baja
Colina residual disectada	2	Baja
Embalse	5	Muy Alta
Escarpe de erosión menor	2	Baja
Escarpe de flujo lahárico aterrazado	3	Media
Escarpe de línea de falla	2	Baja
Escarpe de terraza de acumulación	3	Media

<sup>39</sup> IDEAM. Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. Bogotá. 2012. p. 15.



Unidad geomorfológica	Calificación de la susceptibilidad	
Espolón	2	Baja
Flujo lahárico aterrazado	3	Media
Glacis de erosión	2	Baja
Glacis de acumulación	2	Baja
Ladera contrapendiente	2	Baja
Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	2	Baja
Ladera denudada	2	Baja
Ladera denudada	3	Media
Ladera denudada	1	Muy Baja
Ladera erosiva	2	Baja
Ladera estructural de sierra anticlinal	1	Muy Baja
Ladera estructural de sierra sinclinal	2	Baja
Ladera ondulada	2	Baja
Ladera ondulada	3	Media
Laguna	5	Muy Alta
Loma denudada	2	Baja
Loma denudada	3	Media
Lomeríos disectados	2	Baja
Lomeríos disectados	3	Media
Lomeríos disectados	1	Muy Baja
Lomeríos poco disectados	2	Baja
Lomeríos poco disectados	3	Media
Lomo denudado bajo de longitud larga	1	Muy Baja
Lomo denudado bajo de longitud media	1	Muy Baja
Montículo y ondulaciones denudacionales	2	Baja
Montículo y ondulaciones denudacionales	3	Media
Montículo y ondulaciones denudacionales	1	Muy Baja
Plancha	2	Baja
Planicie aluvial confinada	3	Media



Unidad geomorfológica	Calificación de la susceptibilidad	
Planicie y delta lacustrino	5	Muy Alta
Plano o llanura de inundación	4	Alta
Rellenos sanitarios	4	Alta
Sierra anticlinal	2	Baja
Sierra de barras estructurales	2	Baja
Sierra denudada	2	Baja
Sierra denudada	3	Media
Sierra residual	2	Baja
Sierra sinclinal	2	Baja
Sierra sinclinal	3	Media
Sierra y lomo de presión	2	Baja
Terraza de acumulación	4	Alta
Terraza de acumulación	5	Muy Alta
Terraza de acumulación sub-reciente	3	Media

En la Figura 40, se muestra la reclasificación de morfogénesis, en donde se observa que los tramos de la parte sur se categorizan en una susceptibilidad alta o muy alta.

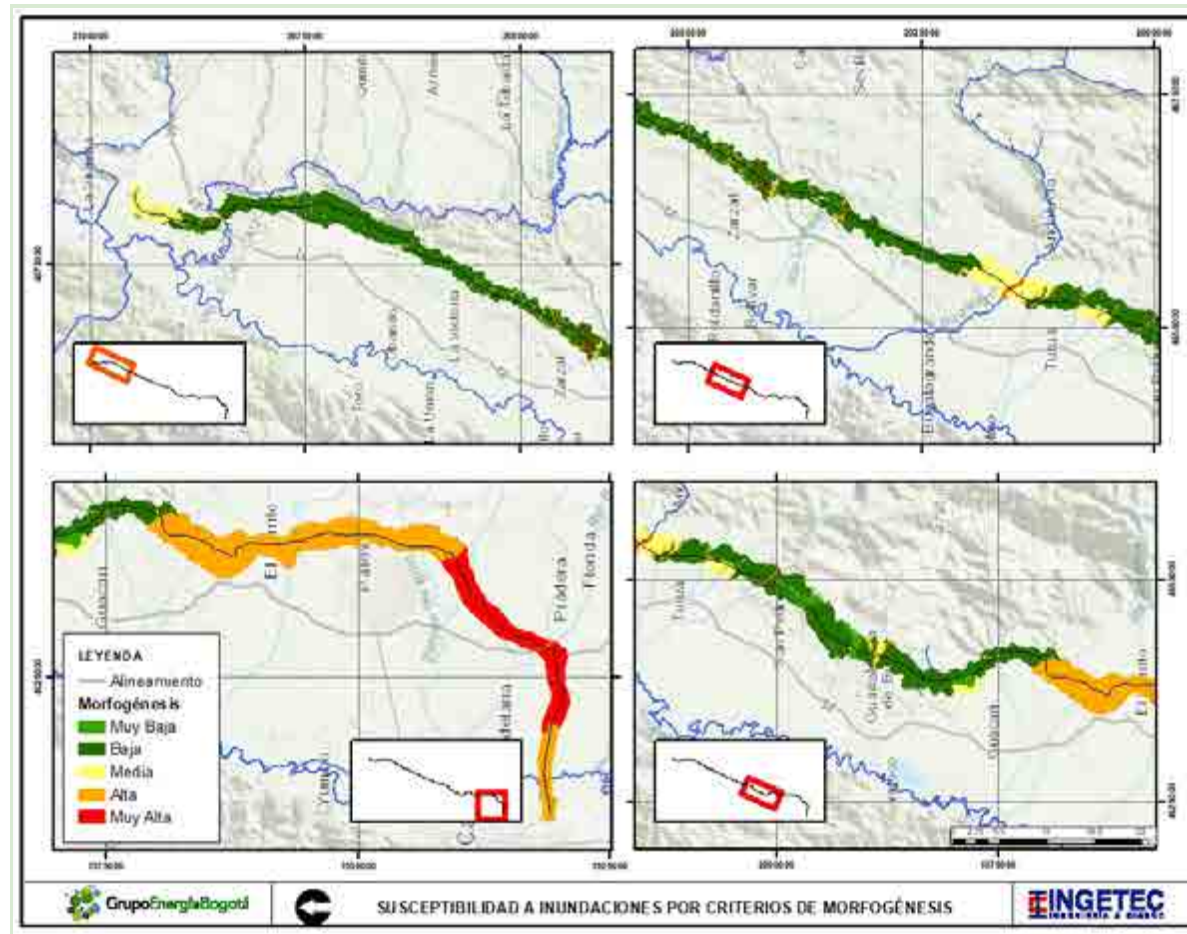


Figura 40. Susceptibilidad a la inundación por Morfogénesis.

#### 5.1.6.6.1.2. Suelo

El suelo, es la capa más superficial de la corteza terrestre, que resulta de la interacción de los factores y los procesos formadores de suelos.

Para determinar el grado de susceptibilidad de los suelos ante inundaciones, se realizó el análisis y evaluación de su condición mediante las características textura, drenaje y profundidad. Estas características se analizaron de la información base del IGAC tomando como referencia los mapas de suelo de los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca, las cuales se evalúan de acuerdo al criterio del experto.

La valoración cuantitativa de la variables se realiza por medio de una ponderación lineal de los tres criterios seleccionados, y cada criterio es evaluado de forma independiente teniendo en cuenta las clasificaciones recomendadas por el SGC y la USDA. Desde la Tabla 27 hasta la Tabla 29 se presenta la calificación de acuerdo con las variables analizadas.

Tabla 27. Clasificación de textura de suelos.

Clase textural	Calificación de la susceptibilidad	
Suelos gravosos, arenosos y franco areno-gravosos (Gr, A, FAGrP). Textura gruesa.	1	Muy Baja
Suelos franco-arenosos (AF), franco areno gravosos (FAGr), francoarcillo-areno gravosos (FARAGr), franco areno-gravosos (FARGr) y franco gravosos (FGr). Textura moderadamente gruesa.	2	Baja
Suelos areno-arcilloso (ArA), areno-gravosos (ArGr), franco arcilloso (FA) y franco arcillo-limoso con contenido de gravas (FARLGr). Textura media.	3	Media
Francos (F), franco orgánico (F-Org), franco arcilloso (FAR), franco arenoso-arcilloso (FARA), franco arcillo limoso (FARL), franco limoso (FL) y franco limoso orgánico (FLOrg). Textura moderadamente fina.	4	Alta
Zonas urbanas	4	Alta
Suelos arcillosos (Ar) y arcillo limoso (ArL). Textura fina.	5	Muy Alta
Cuerpos de agua	5	Muy Alta

A= Arena; L= Limo; Ar= Arcilla; F= Franco; Gr= Grava; P= Piedra; Org= Orgánico.

Fuente: Modificado y adaptado de SGC, 2012 y la Guía de clasificación de suelos USDA.



Tabla 28. Clasificación del drenaje natural del suelo.

Clase	Características	Calificación de la susceptibilidad	
Excesivo	No retienen agua después de las lluvias.	1	Muy Baja
Moderado excesivo	No retienen agua para las plantas después de las lluvias. El nivel freático nunca sube por encima de 2 metros.	1	Muy Baja
Bueno (Bien)	Suelos óptimos para el abastecimiento de agua y aire a los cultivos. Nivel freático siempre por debajo de 80 cm.	2	Baja
Moderado	El agua es removida lentamente hasta el nivel freático (40-80 cm. en época de lluvias). Requiere drenaje para cultivos permanentes.	3	Media
Imperfecto	Suelos con capas impermeables que impiden percolación en época de lluvias.	4	Alta
Pobre	El agua es removida lentamente y los perfiles están mojados en la época de lluvias. Se requiere drenaje.	4	Alta
Muy pobre	Agua freática cerca o sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	5	Muy Alta
Pantanosos	Agua freática sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	5	Muy Alta

Fuente: Tomado de Guía metodológica de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa. SGC. (2012).

Tabla 29. Clasificación de profundidad.

Profundidad (cm)	Categoría	Calificación de la susceptibilidad	
0-25	Muy baja o muy superficial	5	Muy Alta
25-50	Baja o superficial	4	Alta
50-100	Media o moderadamente profunda	3	Media
100-150	Alta o profunda	2	Baja
mayor a 150	Muy alta o muy profunda	1	Muy Baja

Fuente: Tomado de Guía metodológica de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa. SGC. (2012).

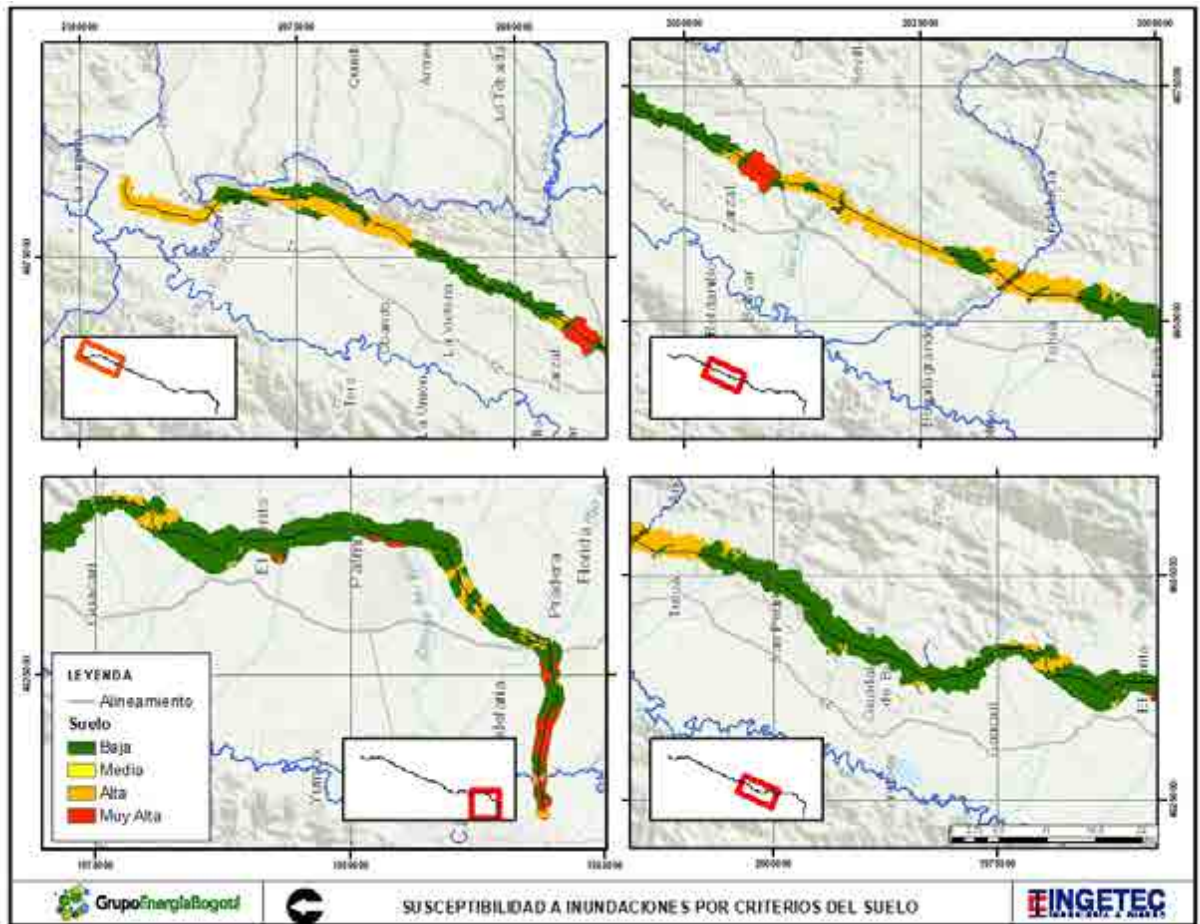


Figura 41. Susceptibilidad a la inundación por tipo de suelo.

### 5.1.6.6.1.3. Susceptibilidad final a la inundación

A partir de la calificación presentadas en las Tabla 25, y Tabla 26 y las ponderaciones asignadas en la Figura 38, se generó el mapa de susceptibilidad a inundaciones para la línea de transmisión (Figura 42).

Los cuerpos de agua que se encuentran bajo una sensibilidad media de inundación son el río Guabas, Guadalajara, Tuluá, La Vieja y la quebrada San Pedro; los ríos Nima, Amaime, La Paila, Morales se encuentran en una sensibilidad entre media y alta; el río Cauca, Fraile y Bolo se encuentran en una sensibilidad alta y el río Bugalagrande entre alta y muy alta.

En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.9 Susceptibilidad inundaciones se presentan los resultados de las ponderaciones realizadas y el resultado de la metodología implementada.

A partir de los resultados obtenidos en la Figura 42, se estimaron las áreas clasificadas según el nivel de susceptibilidad por inundación dentro del área de influencia abiótica, encontrándose que el 49,45% del área se encuentra en zonas que presentan baja susceptibilidad a la inundación, el 20,26% presenta una susceptibilidad alta mientras que el 19,60% una susceptibilidad media.

Tabla 30. Susceptibilidad a la inundación en el área de influencia abiótica.

Rango de susceptibilidad	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy baja	92,18	7,34
Baja	621,17	49,45
Media	246,28	19,60
Alta	254,56	20,26
Muy alta	42,05	3,35

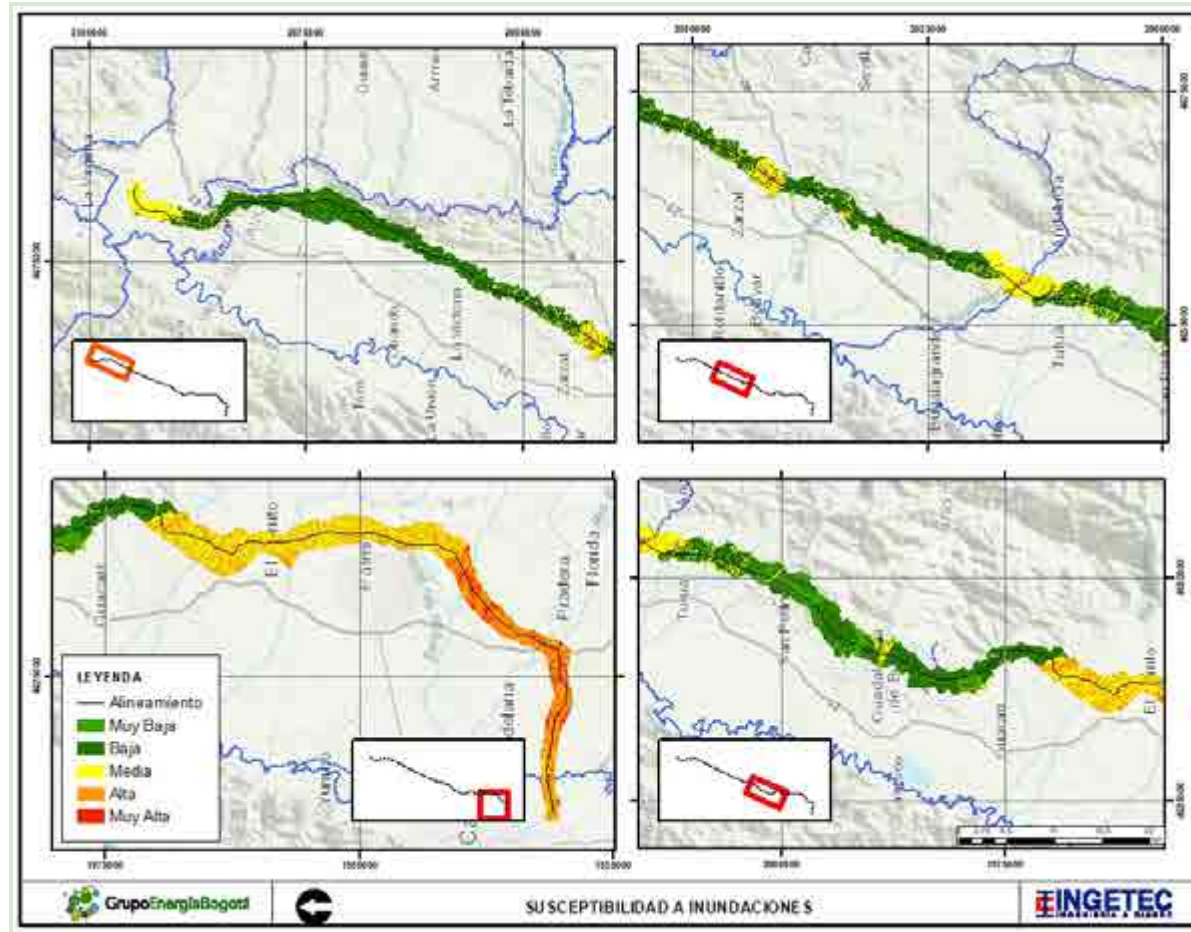


Figura 42. Mapa de susceptibilidad a inundaciones.



En los sitios de ocupación de cauce OC20 y OC23, la susceptibilidad ante eventos de inundación se clasifica entre media y alta (Figura 43).

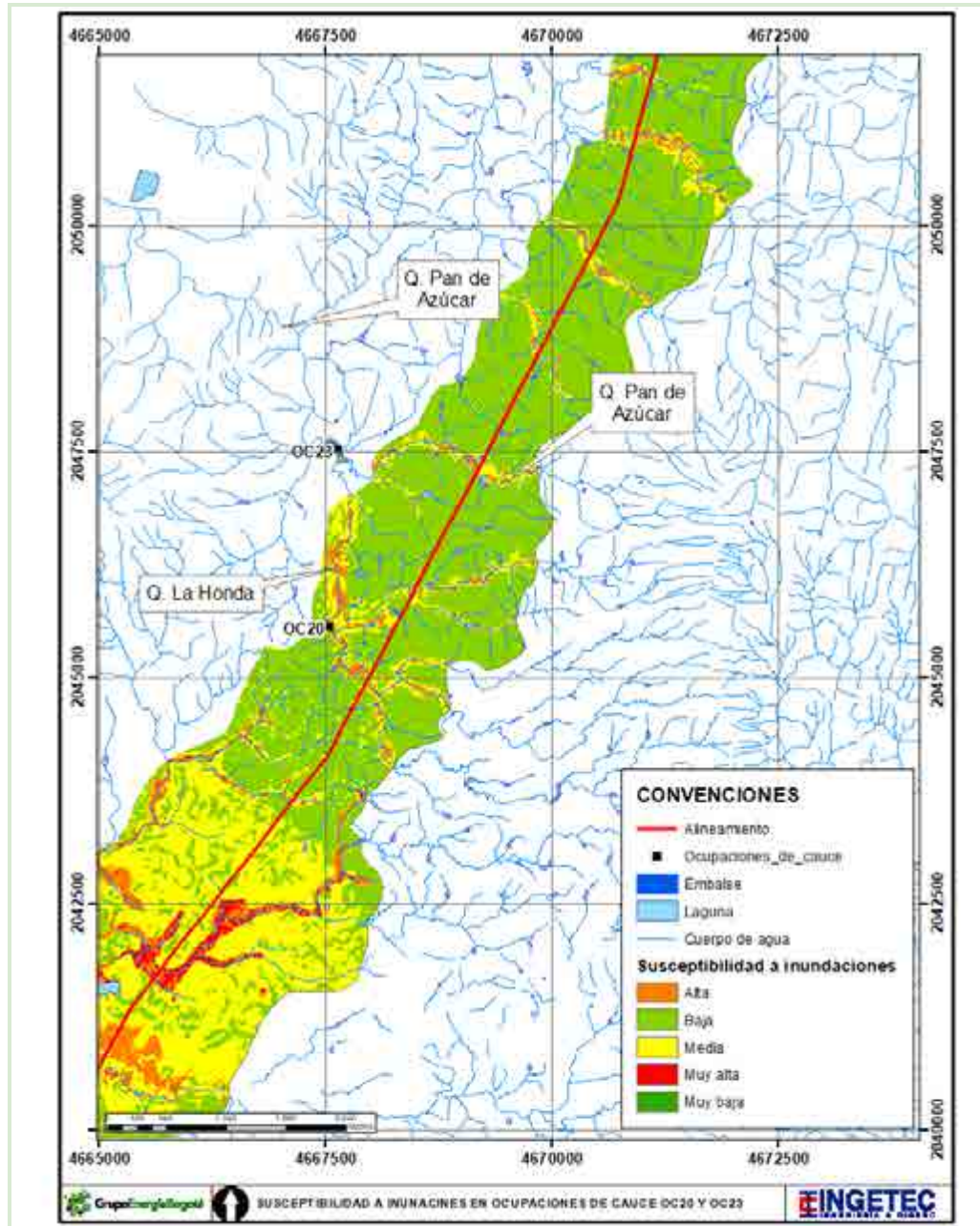


Figura 43. Susceptibilidad a inundaciones en los sitios de ocupación de cauce.

Se consultó la información asociada a los análisis de susceptibilidad a inundaciones en los POMCAs de los ríos Cerrito, Guabas, La Paila, Tuluá, San Pedro, La Vieja, Guadalajara, Amaime, y Jamundí<sup>40</sup>. Sin embargo, no se encontraron mapas que reflejen este análisis, a excepción del POMCA del río Jamundí en donde la susceptibilidad a inundaciones tiene un grado muy alto de susceptibilidad y fue determinada de acuerdo al cruce de los mapas geológicos y de pendientes (Figura 44).

Para el tramo de la línea de transmisión entre el Pórtico Alférez y la torre TVA466 (Tramo cubierto por el POMCA del Río Jamundí<sup>41</sup>) se detectaron similitudes entre el mapa de susceptibilidad de inundaciones del POMCA; el cual presenta una calificación a la susceptibilidad de inundación como muy alta, y los resultados obtenidos con la metodología implementada; en donde la calificación de la susceptibilidad a inundaciones está entre alta y muy alta (Figura 37 y Figura 41).

---

<sup>40</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Jamundí, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2010.

<sup>41</sup> Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Jamundí, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2010.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Amaime. Santiago de Cali. 2013.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Cerrito. Santiago de Cali. 2013.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Tuluá, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2011.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali. 2018.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guabas. Santiago de Cali. 2009.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guadalajara. Santiago de Cali. 2011.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la quebrada San Pedro. Santiago de Cali. 2008.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río La Paila. Santiago de Cali. 2009.



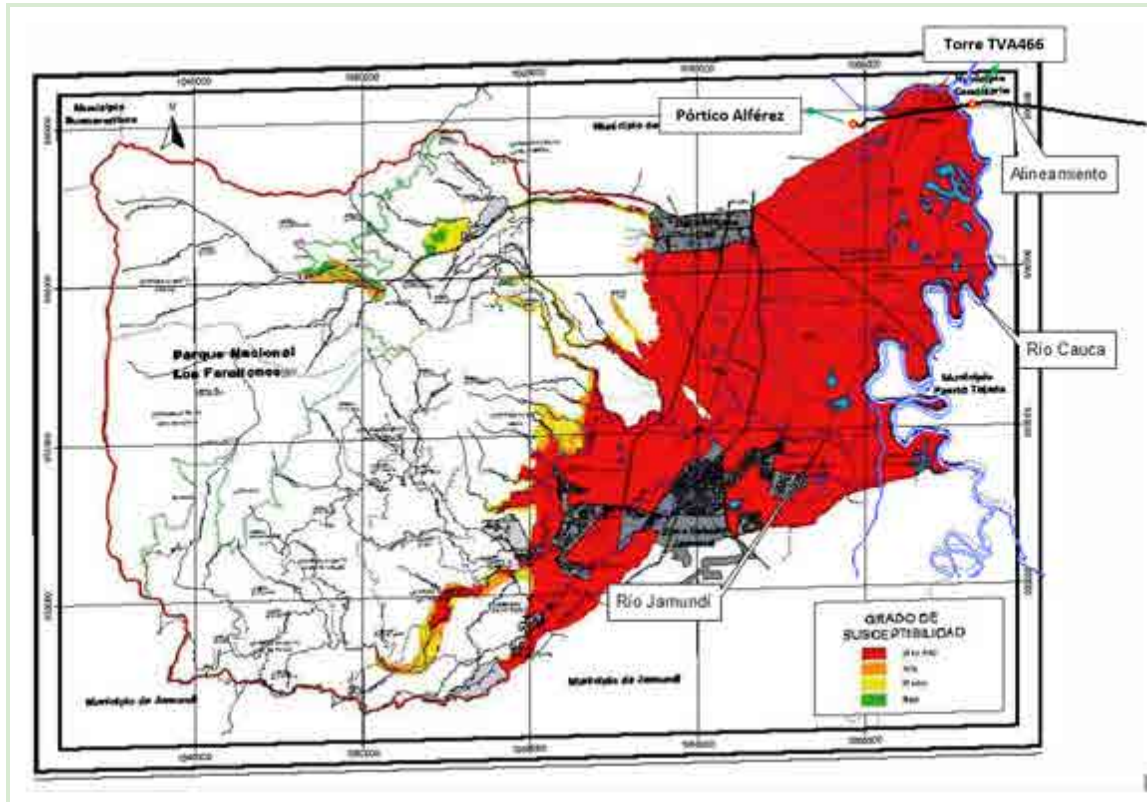


Figura 44. Mapa de susceptibilidad por fenómenos de inundación del Río Jamundí.

Fuente: CVC. POMCA Río Jamundí. (2009).

#### 5.1.6.6.2. Fenómeno ENSO en su fase niña

El Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC, cuenta con información espacializada en formato shape de las áreas afectadas en el territorio nacional por las inundaciones presentadas y atribuidas al fenómeno ENSO en su fase niña. Esta información se encuentra disponible en la zona de análisis para los años 1988, 2000 y 2011 y fue elaborada por el IDEAM. En la Figura 45 se presenta esta información para todo el trazado de la línea.

En las áreas del proyecto afectadas por las inundaciones relacionadas anteriormente, se observa que por las inundaciones de los tres años se presentaron zonas de inundación en la línea de transmisión para el río Cauca, río Bugalagrande, río Agua

---

Clara, Acequia Beringuito, Zanjón Naranjal y río La Vieja. Sin embargo, según la información disponible en el año 1988 la inundación abarcó cinco de las torres proyectadas de la línea en cercanías al río Cauca (TVA464, TVA468, TVA469, TVA470 y TVA71), como se presenta en la Figura 46 y en cercanías al río Agua Clara la inundación de ese mismo año abarcó las torres TVA373VA, TVA372VA, TVA369VA y TVA368VA (Figura 47). La inundación del año 2011 abarcó las torres proyectadas TVA374VA y TVA373VA (Figura 47).

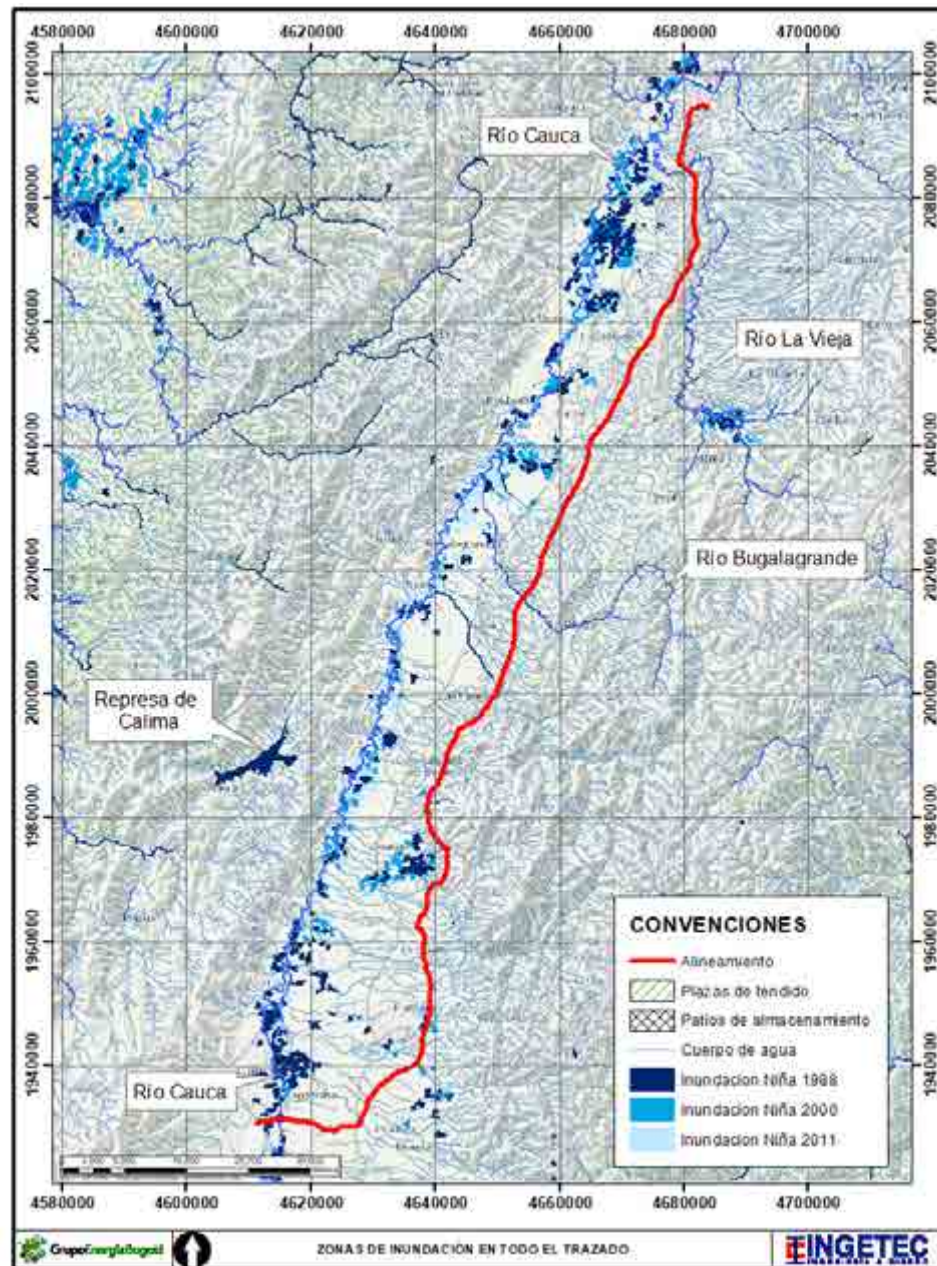


Figura 45. Zonas de inundación.

Fuente: Tomado y adaptado. Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC<sup>42</sup>.  
Escala 1:100 000

<sup>42</sup> IDEAM. Subdirección de hidrología, Centro Nacional de Modelación. Áreas afectadas por inundación 1988, Áreas afectadas por inundación 2000, Áreas afectadas por inundación 2011. 2016

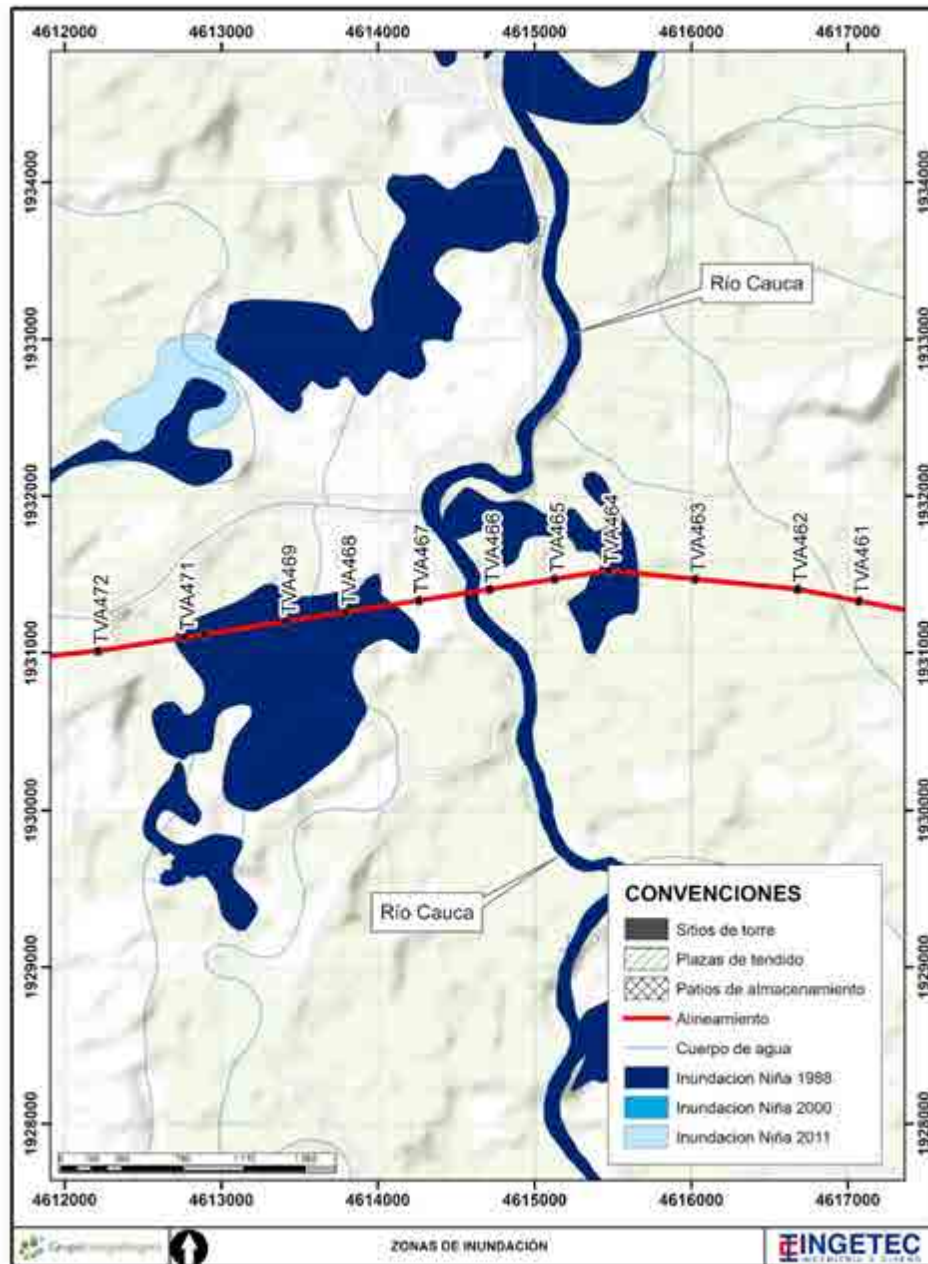


Figura 46. Zonas de inundación en el río Cauca.

Fuente: Tomado y adaptado. Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC<sup>43</sup>.  
Escala 1:100 000.

<sup>43</sup> IDEAM. Subdirección de hidrología, Centro Nacional de Modelación. Áreas afectadas por inundación 1988, Áreas afectadas por inundación 2000, Áreas afectadas por inundación 2011. 2016



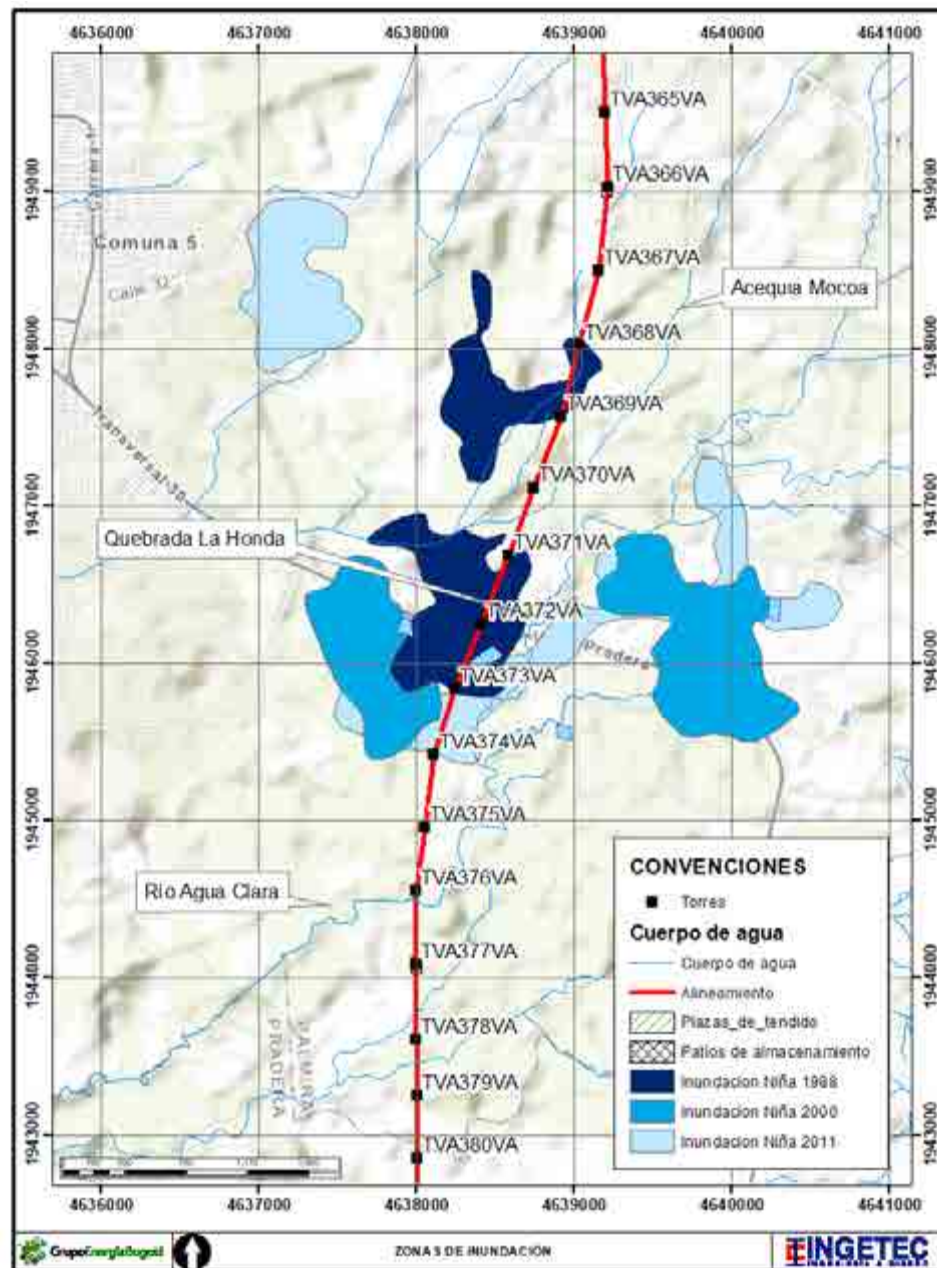


Figura 47. Zonas de inundación en el río Agua Clara.

Fuente: Tomado y adaptado. Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC<sup>44</sup>. Escala 1:100 000.

<sup>44</sup> IDEAM. Subdirección de hidrología, Centro Nacional de Modelación. Áreas afectadas por inundación 1988, Áreas afectadas por inundación 2000, Áreas afectadas por inundación 2011. 2016

### 5.1.6.6.3. Áreas de inundación en los sitios de ocupación de cauce

Por medio de los modelos hidráulicos construidos para los sitios de ocupación de cauce (Anexo H1. Ocupaciones de cauce), se generaron manchas de inundación para diferentes periodos de retorno (5, 10, 25 y 50 años) para la condición actual.

En la Figura 48 y la Figura 49 se muestran las manchas de inundación para los sitios de ocupación OC20 y OC23, respectivamente. Se observa que para el máximo periodo de retorno evaluado, 50 años, no existe desbordamiento o inundaciones hacia la planicie lo cual evidencia cierto grado de incisión del canal.

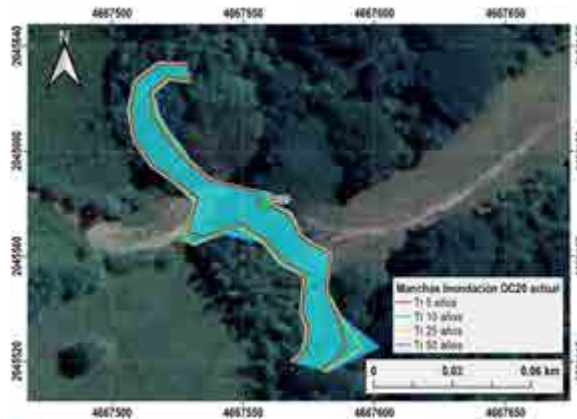


Figura 48. Áreas de inundación en la zona de ocupación OC20 en la condición actual.



Figura 49. Áreas de inundación en la zona de ocupación OC23 en la condición actual.



#### 5.1.6.7. Recopilación de información

Con el fin de realizar la caracterización hidrológica de la zona de estudio y establecer los caudales medios, mínimos y máximos de los cuerpos de agua que son superpuestos por la línea de transmisión, se recopilaron los registros de las estaciones pertenecientes al IDEAM y la CVC (entidades que operan estaciones en esta zona del país) para el área de estudio definida (Anexo D4 Hidrología/D.4.1. Registro estaciones).

Se tomó como área de estudio, el área cubierta por las 40 subcuencas detalladas que hacen parte de las doce subzonas hidrográficas identificadas y que son superpuestas por el proyecto. La selección de esta área de análisis permite realizar una caracterización de la zona, considerando la longitud de la línea de transmisión eléctrica que se tiene proyectada.

##### 5.1.6.7.1. Identificación de estaciones hidrométricas

En el área de estudio se identificaron diez estaciones hidrométricas que permitieron realizar la caracterización de los cuerpos de agua definidos para la caracterización hidrológica.

Las diez estaciones hidrométricas se localizan en los tributarios de la margen derecha del río Cauca, seis estaciones operadas por el IDEAM y cuatro estaciones operadas por la CVC.

Dado que la línea de transmisión eléctrica en el municipio de Cali se cruza con el río Cauca, se utilizaron los registros de la estación Juanchito localizada sobre el río Cauca en el municipio Candelaria y los registros de la estación La Virginia, también localizada sobre el río Cauca en el municipio La Virginia para caracterizar el comportamiento de este cuerpo de agua desde la subestación de Alférez (Cali) hasta la subestación La Virginia (Pereira).

En la Tabla 31 se presentan las características de las estaciones hidrométricas utilizadas en el análisis. La estación limnigráfica Cartago y La Virginia se localizan en el departamento de Risaralda, mientras que las demás estaciones se localizan en el departamento del Valle del Cauca.

Tabla 31. Estaciones utilizadas en el análisis hidrológico.

Código	Nombre	Tipo	Corriente	Entidad	Coordenadas origen Único	
					Este	Norte
2612800403	Amaime	LM	Amaime	CVC	4636614	1957503
2612720401	Bolo Arriba	LM	Bolo	CVC	4633644	1942381
26077060	Buchitolo	LM	Fraile	IDEAM	4627839	1931492
26127040	Cartago	LG	La Vieja	IDEAM	4678483	2084385
26127010	El Alambrado	LG	La Vieja	IDEAM	4680977	2045945
2614400403	El Placer	LG	Bugalagrande	CVC	4656264	2011398
26097040	El Vergel	LG	Guadalajara	IDEAM	4637557	1988353
2610000401	Juanchito(*)	LG	Cauca	CVC	4615229	1939615
2614500402	La Sorpresa	LM	Paila	CVC	4660069	2037203
26177030	La Virginia(*)	LG	Cauca	IDEAM	4680383	2099301
26077110	Los Minchos	LG	Bolo	IDEAM	4647388	1936467
26107130	Mateguadua	LG	Tuluá	IDEAM	4649417	2002359

LG: Limnigráfica

LM: Limnimétrica

(\*) La estación Juanchito y La Virginia, solo se utilizaron para caracterizar los caudales medios mensuales del río Cauca.

Fuente: Tomada y adaptada. DEAM y CVC.

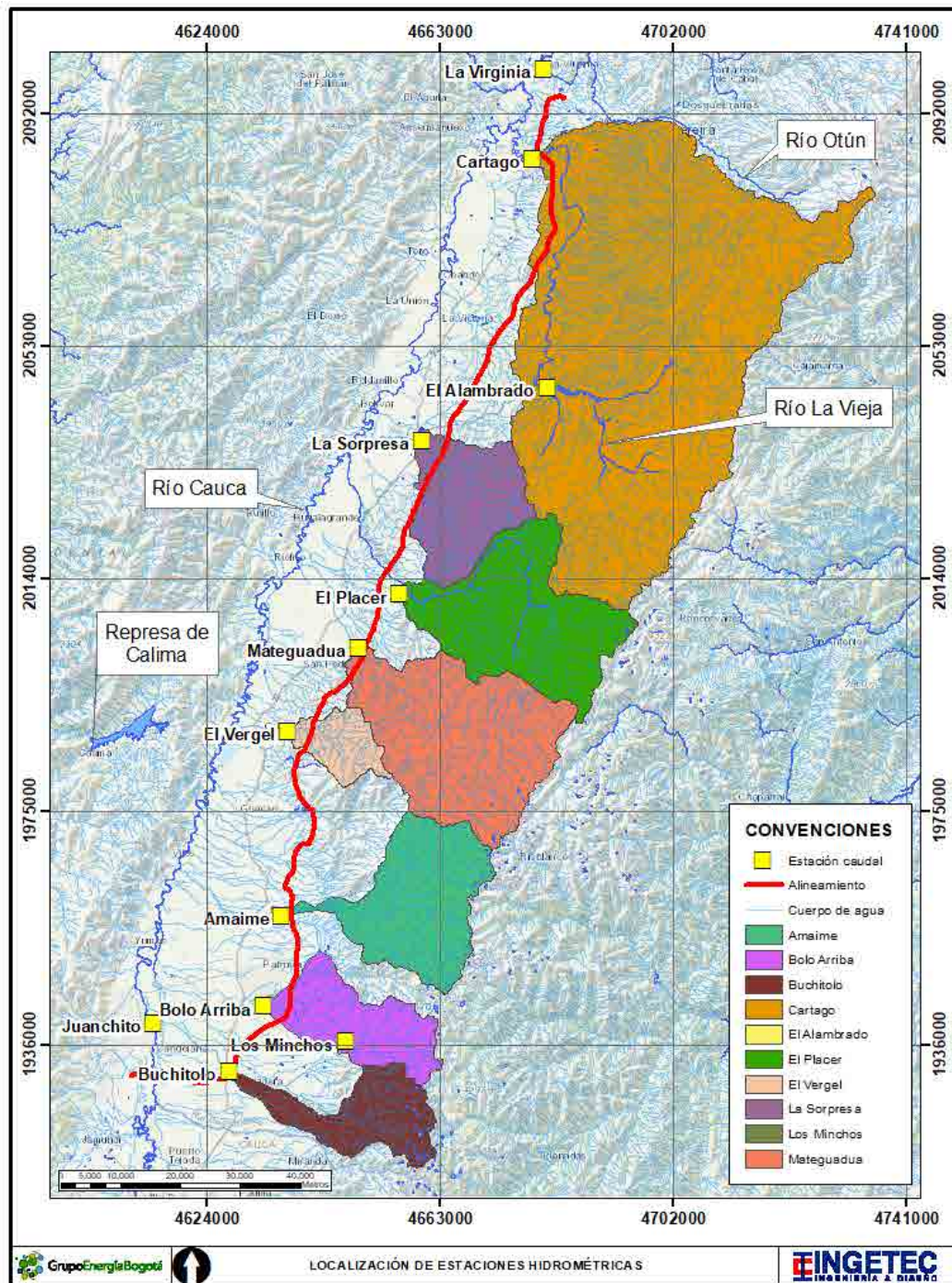


Figura 50. Localización de estaciones hidrométricas.

---

#### 5.1.6.7.2. Identificación de estaciones con registros de precipitación y temperatura

En el área de estudio, se identificaron 39 estaciones climatológicas, de las cuales 12 estaciones se utilizaron para la caracterización de la temperatura y 31 estaciones para la caracterización de la precipitación.

De las estaciones con registros de precipitación 25 estaciones son operadas por el IDEAM y 6 son operadas por la CVC, mientras que todas las estaciones que se utilizaron en el parámetro de temperatura pertenecen al IDEAM. En la Tabla 32 se presentan las características de las estaciones que se utilizaron en el análisis.

Las estaciones cubren un rango de elevación desde 909 msnm hasta 3664 msnm para las estaciones de precipitación y 962 msnm hasta 3014 msnm para las estaciones de temperatura y se encuentran distribuidas espacialmente como se muestra en la Figura 51 y en la Figura 52.

Tabla 32. Estaciones utilizadas en el análisis de precipitación y temperatura.

Código	Nombre	Departamento	Municipio	Tipo	Fecha Instalación	Altitud	Este	Norte
26120150	Alcalá	Valle del Cauca	Alcalá	PM	15/03/1972	1232	4690982	2075358
26075040	Apto. A. Bonilla	Valle del Cauca	Palmira	SP	15/07/1971	964	4623796	1949495
26135040	Apto. Matecana	Risaralda	Pereira	SP	15/09/1947	1352	4696491	2090755
26105140	Barragán	Valle del Cauca	Tuluá	CO	15/09/1972	3014	4679418	2004221
2612800103	Bella Vista	Valle del Cauca	Palmira	PM	31/08/1969	3600	4667193	1959723
2612720103	Bolo Blanco	Valle del Cauca	Pradera	PM	01/02/1971	3664	4659709	1937617
2623300101	Buenos Aires	Valle del Cauca	Yotoco	PM	01/06/1971	1555	4619113	1985721
26060200	Cajones	Cauca	Miranda	PM	15/08/1973	2399	4651022	1915065
26115040	Centro Admo. La Unión	Valle del Cauca	La Unión	CP	15/02/1967	909	4660291	2059413
26120130	Corozal	Valle del Cauca	Zarzal	PM	15/08/1971	1147	4676529	2045136
26125130	Cumbarco	Valle del Cauca	Sevilla	CO	15/10/1973	1718	4685662	2021014
26090460	El Paraiso	Valle del Cauca	El Cerrito	PM	15/03/1970	1277	4644626	1961930
26100690	El Placer	Valle del Cauca	Buga	PM	15/01/1971	2124	4655741	1987255
26130200	El Recuerdo	Risaralda	Marsella	PM	15/09/1970	1566	4696064	2106969
26070760	Florida	Valle del Cauca	Florida	PM	15/05/1953	1039	4640121	1926317

Código	Nombre	Departamento	Municipio	Tipo	Fecha Instalación	Altitud	Este	Norte
26090630	Guacarí	Valle del Cauca	Guacarí	PM	15/01/1972	974	4629975	1975310
2612200104	Hda. El Espejo	Valle del Cauca	Pto. Tejada	PM	01/03/1971	970	4622586	1922985
26100070	Hda. Lucerna	Valle del Cauca	Bugalagrande	PM	15/11/1974	944	4650693	2025436
2612710103	Ing. La Quinta	Valle del Cauca	Candelaria	PM	01/09/1969	980	4628247	1936260
26135100	La Bohemia	Risaralda	Pereira	CO	15/09/1963	962	4680947	2097697
26090060	Las Juntas	Valle del Cauca	Ginebra	PM	15/03/1975	1823	4648474	1975583
26105230	Mateguadua	Valle del Cauca	Tuluá	CO	15/09/1983	1102	4648249	2003814
54030020	Naranjal	Valle del Cauca	Bolívar	PM	15/03/1975	1166	4627857	2040264
26100300	Obando	Valle del Cauca	Obando	PM	15/08/1967	946	4671013	2065718
26075010	Palmira ICA	Valle del Cauca	Palmira	AM	15/01/1930	990	4631767	1946897
26150150	Papayal	Caldas	Villamaría	PM	15/09/1970	2248	4724008	2105670
54030010	Patumac	Valle del Cauca	Versalles	PM	15/03/1966	1868	4644820	2064085
26120170	Pijao	Quindío	Pijao	PM	15/11/1974	1657	4699723	2037302
26100350	Pto. Frazadas	Valle del Cauca	Tuluá	PM	15/02/1971	1640	4667570	2006621
53100040	Queremal	Valle del Cauca	Dagua	PM	15/01/1969	1485	4587947	1948476
22075030	Riomanso	Tolima	Rovira	CO	15/12/1973	2043	4731954	2023262
26120160	Salento	Quindío	Salento	PM	15/11/1974	1985	4715064	2070820



Código	Nombre	Departamento	Municipio	Tipo	Fecha Instalación	Altitud	Este	Norte
22065040	San Antonio Quinta	Tolima	San Antonio	CP	15/12/1971	1418	4723802	1990124
54025010	San José Palmar	Chocó	San José de Palmar	CO	15/09/1973	1073	4641579	2100095
26105150	San Marcos	Valle del Cauca	Bugalagrande	CO	15/09/1971	990	4663392	2027057
2622600101	Santa Inés	Valle del Cauca	Yumbo	PG	01/06/1971	1669	4605942	1959377
21255110	Santa Isabel	Tolima	Santa Isabel	CO	15/08/1975	2800	4763614	2077899
26080070	Vijes	Valle del Cauca	Vijes	PM	15/04/1946	951	4619073	1967426
26110120	Villa Nueva	Valle del Cauca	El Aguila	PM	15/09/1970	1316	4663129	2108072

Fuente: Tomada y adaptada. DEAM y CVC.

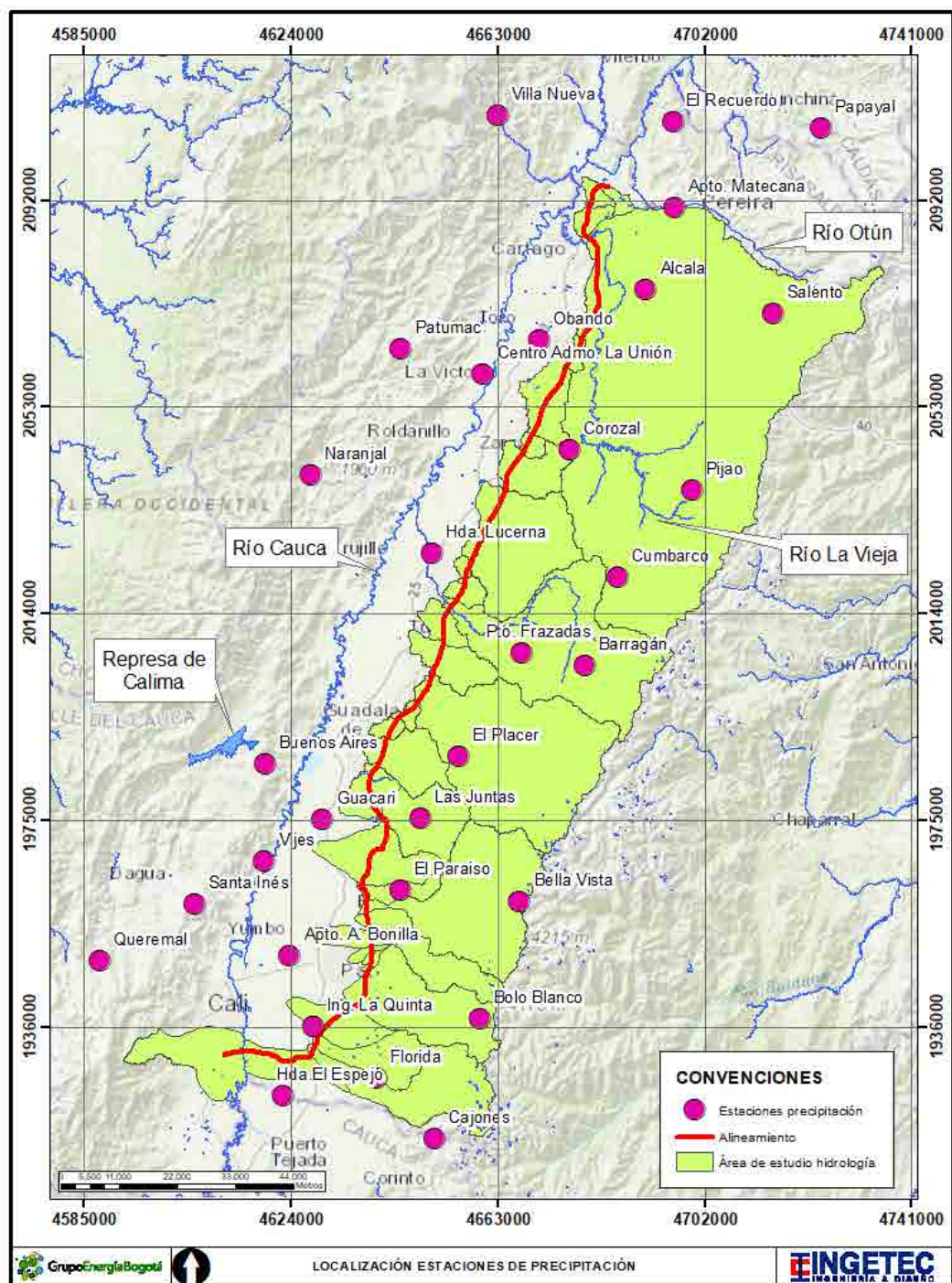


Figura 51. Localización de estaciones de precipitación.



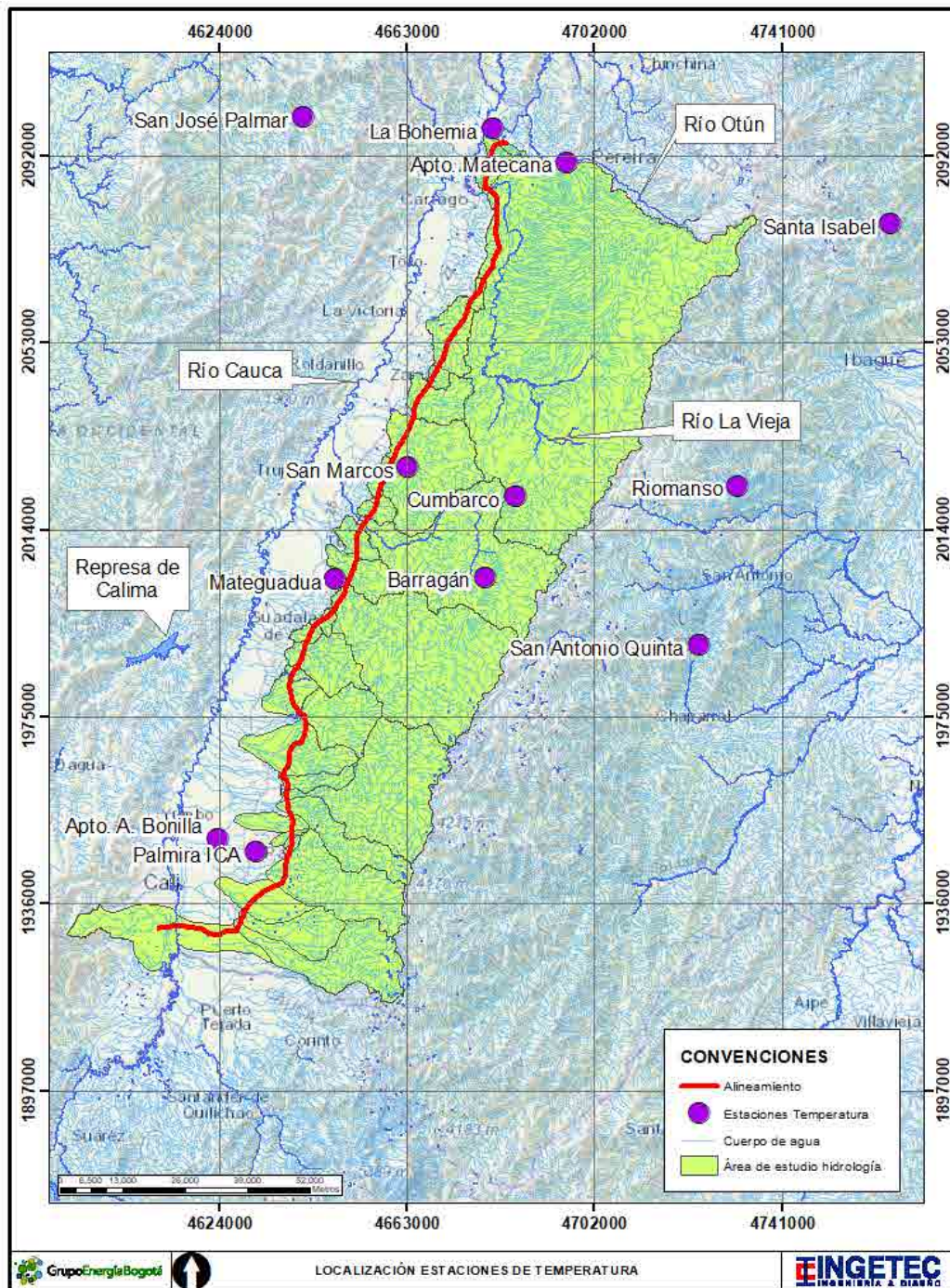


Figura 52. Localización de estaciones de temperatura.

### 5.1.6.8. Análisis de información

#### 5.1.6.8.1. Selección del periodo común de registros

Una vez identificadas las estaciones hidrológicas en el área de estudio, se realizó la selección del periodo común de registro para la caracterización de los parámetros de caudal, precipitación y temperatura. Para esta selección, se consideró que cuanto más largo sea el registro más pequeño será el error de muestreo en el registro, por lo tanto, los periodos comunes se seleccionaron buscando un periodo de tiempo mayor al solicitado por los términos de referencia (10 años). En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.1 Registro estaciones, se relaciona la información recopilada.

##### 5.1.6.8.1.1. Registros de caudal

Como se observa en la Tabla 33, los registros de caudal presentan dos periodos comunes de registro predominantes, el periodo 1975 - 2019 y el periodo 1992 - 2019. Para cada periodo, se estimó el porcentaje de vacíos de cada estación encontrándose que a excepción de las estaciones Amaime, Bolo Arriba, El Placer y Los Minchos en el periodo 1975 - 2019 las series presentan menos vacíos de información, por lo tanto se seleccionó este periodo para la caracterización de los caudales. En la Figura 53 se presenta la información disponible en el periodo histórico de registro de cada estación.

Tabla 33. Periodo de registro de estaciones hidrométricas.

Nombre	Fecha inicial	Fecha final	Vacíos Periodo 1975 - 2019 (%)	Vacíos Periodo 1992 - 2019 (%)	Este	Norte
Amaime	08/03/1984	31/12/2019	23,76	4,29	4636614	1957503
Bolo Arriba	01/01/1975	31/12/2019	6,63	3,27	4633644	1942381
Buchitolo	01/01/1975	21/12/2009	22,98	36,93	4627839	1931492
Cartago	01/01/1975	31/12/2019	3,63	5,56	4678483	2084385
El Alambrado	01/01/1975	31/12/2019	14,55	23,08	4680977	2045945
El Placer	01/07/1976	31/12/2019	9,78	7,85	4656264	2011398

Nombre	Fecha inicial	Fecha final	Vacios Periodo 1975 - 2019 (%)	Vacios Periodo 1992 - 2019 (%)	Este	Norte
El Vergel	01/01/1975	31/10/2018	15,18	24,40	4637557	1988353
La Sorpresa	01/01/1975	31/12/2019	3,27	3,61	4660069	2037203
Los Minchos	01/07/1992	31/12/2019	46,87	14,61	4647388	1936467
Mateguadua	01/01/1975	31/03/2017	17,20	27,64	4649417	2002359

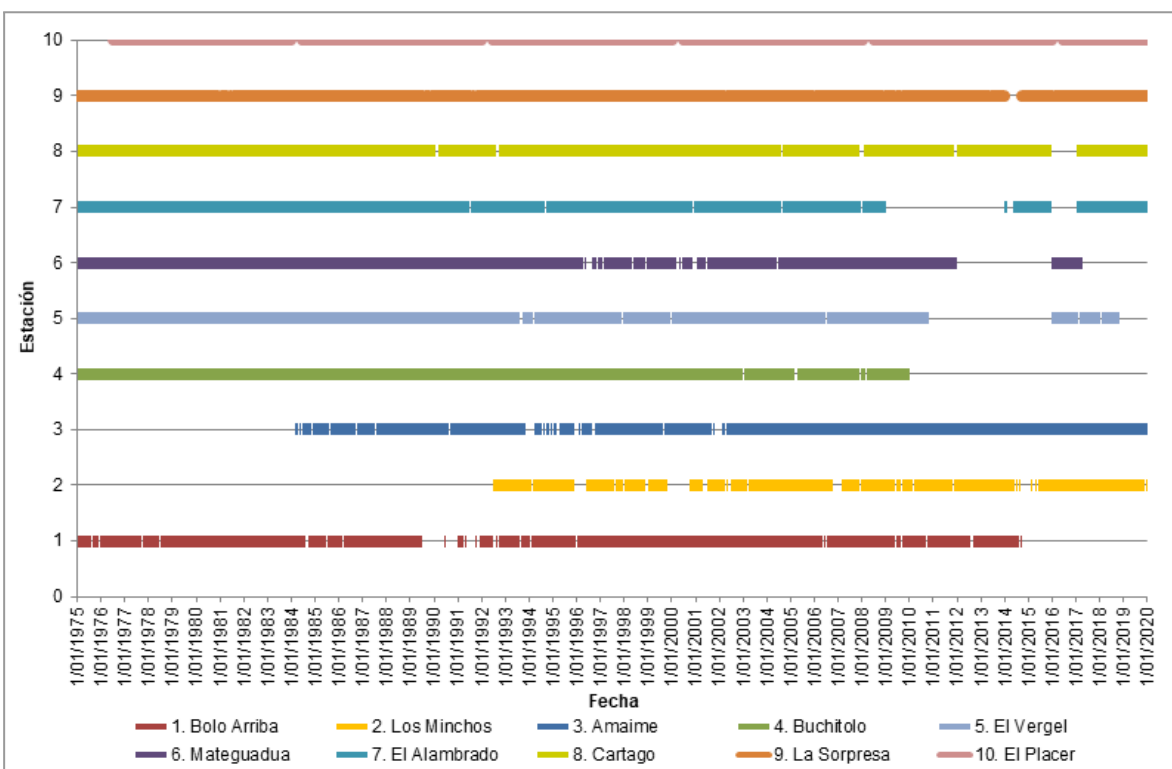


Figura 53. Periodo de registro en estaciones hidrométricas analizadas.

#### 5.1.6.8.1.2. Registros de precipitación

Recopilada la información de las estaciones climatológicas con registros de precipitación se identificó que el periodo común de registros es desde el año 1975 hasta el año 2019. En la

Tabla 34 se relaciona el porcentaje de vacíos en las estaciones para el periodo común seleccionado. (Figura 54).

Tabla 34. Periodo de registro de estaciones climatológicas con registros de precipitación.

Estación	Fecha inicial	Fecha final	Vacíos Periodo 1975 - 2019 (%)	Este	Norte
Alcalá	01/01/1975	30/12/2019	2,72	4690982	2075358
Apto. A. Bonilla	01/01/1975	19/12/2019	3,18	4623796	1949495
Apto. Matecana	01/01/1975	31/12/2019	1,36	4696491	2090755
Barragán	01/01/1975	31/12/2019	3,75	4679418	2004221
Bella Vista	01/01/1975	31/12/2019	1,31	4667193	1959723
Bolo Blanco	01/01/1975	31/12/2019	5,84	4659709	1937617
Buenos Aires	01/01/1975	31/12/2019	1,32	4619113	1985721
Cajones	02/07/1975	31/12/2019	4,09	4651022	1915065
Cent. Admo. La Unión	01/01/1975	31/05/2019	8,06	4660291	2059413
Corozal	01/01/1975	30/12/2019	5,52	4676529	2045136
Cumbarco	01/01/1975	30/12/2019	4,90	4685662	2021014
El Paraiso	01/01/1975	31/12/2019	2,43	4644626	1961930
El Placer	01/01/1975	31/08/2019	6,05	4655741	1987255
El Recuerdo	01/01/1975	31/12/2019	8,74	4696064	2106969
Florida	01/01/1975	31/12/2019	1,08	4640121	1926317
Guacarí	01/01/1975	30/12/2019	2,51	4629975	1975310
Hda. El Espejo	01/01/1975	17/12/2019	0,98	4622586	1922985
Hda. Lucerna	2/10/1976	31/12/2019	5,62	4650693	2025436
Ing. La Quinta	01/01/1975	08/09/2019	2,00	4628247	1936260
Las Juntas	28/03/1975	30/12/2019	4,48	4648474	1975583
Naranjal	2/10/1976	31/12/2019	2,91	4627857	2040264
Obando	01/01/1975	31/12/2019	1,39	4671013	2065718
Papayal	01/01/1975	31/12/2019	2,88	4724008	2105670
Patumac	01/01/1975	31/12/2019	1,27	4644820	2064085
Pijao	01/01/1975	31/12/2019	6,68	4699723	2037302



Estación	Fecha inicial	Fecha final	Vacíos Periodo 1975 - 2019 (%)	Este	Norte
Puerto Frazadas	01/01/1975	31/12/2019	2,30	4667570	2006621
Queremal	13/09/1975	31/12/2019	8,01	4587947	
Salento	01/01/1975	31/12/2019	9,67	4715064	2070820
Santa Inés	01/01/1975	13/06/2015	11,27	4605942	1959377
Vijes	01/01/1975	31/12/2019	3,66	4619073	1967426
Villa Nueva	01/01/1975	30/09/2019	4,98	4663129	2108072

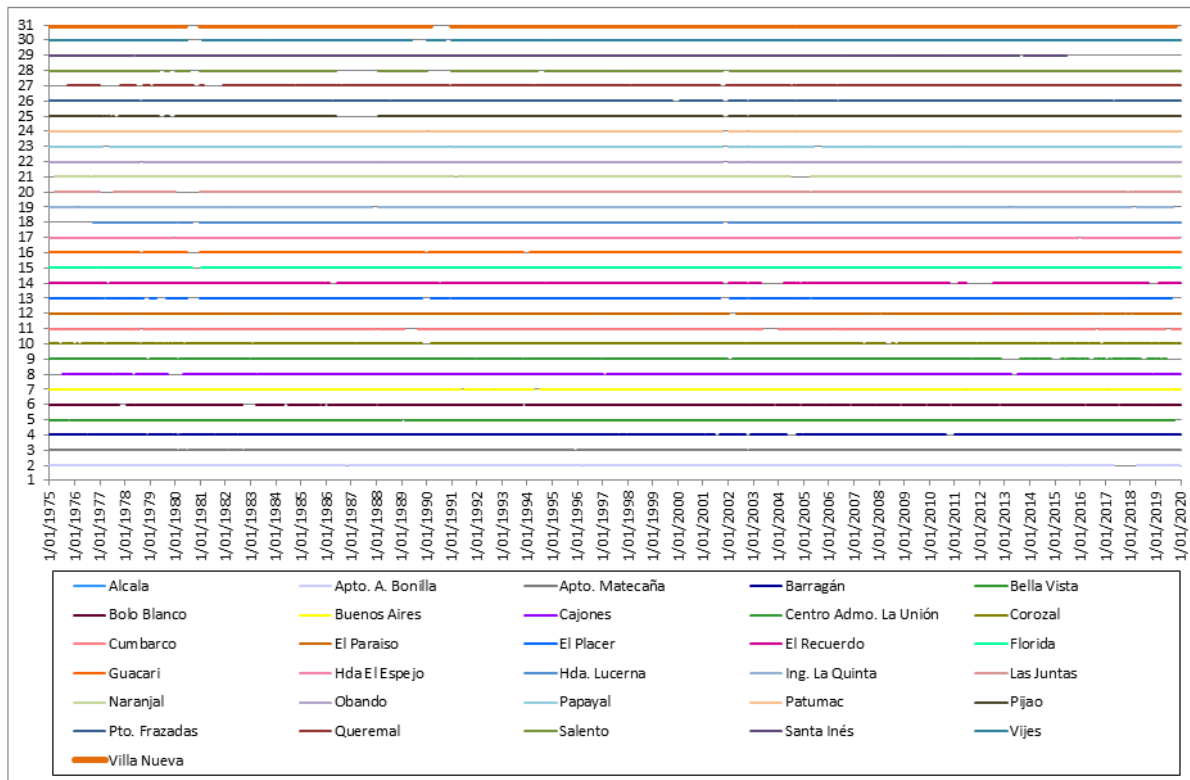


Figura 54. Periodo de registro en estaciones analizadas con registros de precipitación.

#### 5.1.6.8.1.3. Registros de precipitación y caudal

A partir de la información de la Tabla 33 y de la Tabla 34 se concluye que el periodo común de registro entre el parámetro de precipitación y de caudal es desde enero de 1975 a diciembre de 2019.

#### 5.1.6.8.1.4. Registros de temperatura

Recopilada la información de las estaciones climatológicas con registros de temperatura media, mínima y máxima se identificaron dos periodos comunes de registro predominantes, el periodo 1983 - 2019 y el periodo 1996 - 2019.

Para cada periodo, se estimó el porcentaje de vacíos de cada estación (Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37) encontrándose que en el periodo 1983 - 2019 las estaciones Palmira ICA, Riomanso, San Antonio Quinta y Santa Isabel, presentan ocho años consecutivos con vacíos de información y en este periodo de tiempo los porcentajes de vacíos de las estaciones son superiores (a excepción de la estación San Antonio Quinta) a los que se presentan en el periodo 1996-2019. Por lo tanto, se seleccionó el periodo 1996 - 2019 como periodo común para la caracterización de la temperatura. Desde la Figura 55 hasta la Figura 57 se representa el periodo de información disponible en cada parámetro.

Tabla 35. Periodo de registro de estaciones climatológicas con registros de temperatura media.

Estación	Fecha inicial	Fecha final	Vacíos Periodo 1983 - 2019 (%)	Vacíos Periodo 1996 - 2019 (%)	Este	Norte
Apto. A. Bonilla	01/01/1983	19/12/2019	28,80	16,39	4623796	1949495
Apto. Matecana	01/02/1983	31/01/2020	10,35	8,65	4696491	2090755
Barragán	01/01/1982	31/07/2020	5,82	3,63	4679418	2004221
Cumbarco	1/1/1982	31/07/2020	4,32	2,42	4685662	2021014
La Bohemia	01/02/1982	31/07/2020	10,66	3,69	4680947	2097697
Mateguadua	01/10/1983	30/04/2020	7,41	6,69	4648249	2003814
Palmira ICA	01/01/1983	05/08/2020	24,58	4,53	4631767	1946897

Estación	Fecha inicial	Fecha final	Vacíos Periodo 1983 - 2019 (%)	Vacíos Periodo 1996 - 2019 (%)	Este	Norte
Riomanso	01/01/1983	30/04/2020	28,50	5,26	4731954	2023262
San Antonio Quinta	01/01/1983	04/08/2020	15,47	16,56	4723802	1990124
San José Palmar	01/01/1983	31/07/2020	24,19	2,11	4641579	2100095
San Marcos	01/01/1983	17/07/2020	15,58	7,46	4663392	2027057
Santa Isabel	01/01/1983	31/07/2019	29,61	9,78	4763614	2077899

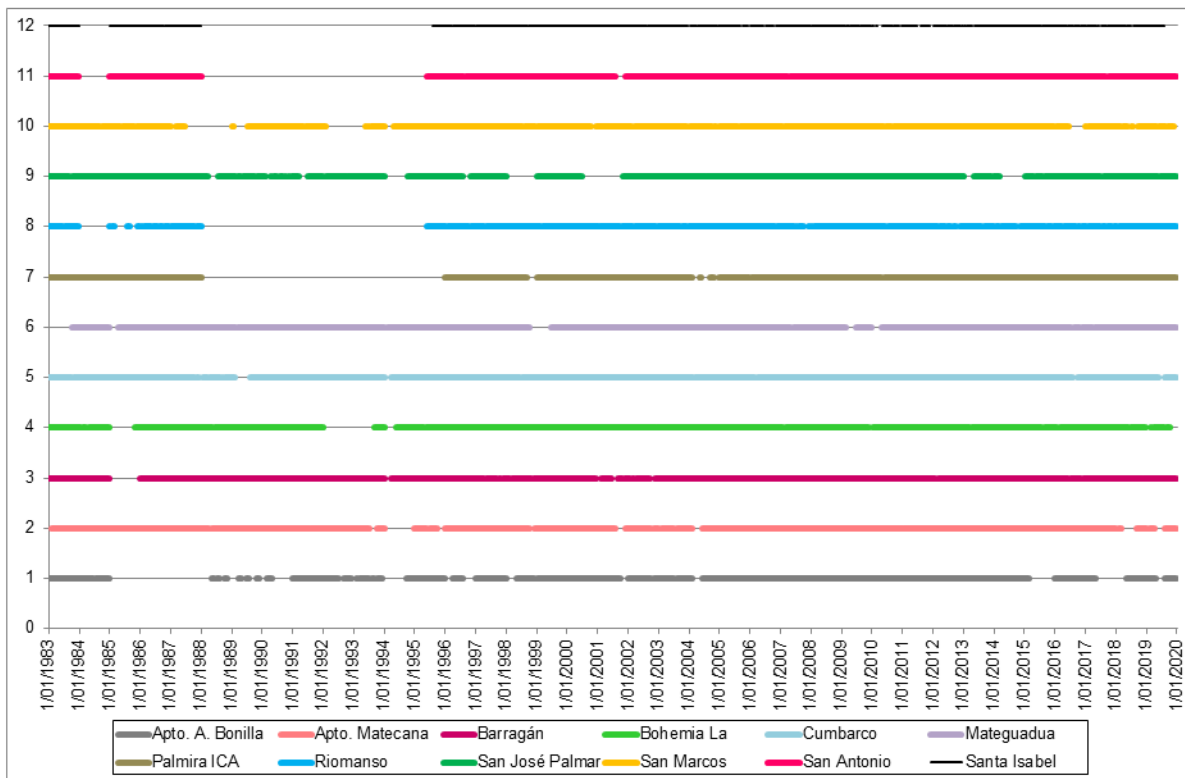


Figura 55. Periodo de registro en estaciones analizadas con registros de temperatura media. Periodo 1983 - 2019.

Tabla 36. Periodo de registro de estaciones climatológicas con registros de temperatura máxima.

Estación	Fecha inicial	Fecha final	Vacios Periodo 1983 - 2019 (%)	Vacios Periodo 1996 - 2019 (%)	Este	Norte
Apto. Matecana	01/02/1983	31/01/2020	10,51	8,72	4696491	2090755
Barragán	01/01/1982	31/12/2019	11,05	6,69	4679418	2004221
Cumbarco	1/4/1980	31/12/2019	8,18	6,32	4685662	2021014
La Bohemia	01/06/1980	06/10/2019	13,54	6,80	4680947	2097697
Mateguadua	01/10/1983	30/12/2019	10,23	10,23	4648249	2003814
Palmira ICA	01/01/1983	31/12/2019	30,40	4,95	4631767	1946897
Riomanso	01/01/1983	31/12/2019	36,59	11,62	4731954	2023262
San Antonio Quinta	01/01/1983	31/12/2019	17,75	18,05	4723802	1990124
San José Palmar	01/01/1983	30/12/2019	27,41	4,31	4641579	2100095
San Marcos	01/01/1983	30/11/2019	23,69	16,92	4663392	2027057
Santa Isabel	02/01/1983	26/07/2019	40,74	20,84	4763614	2077899

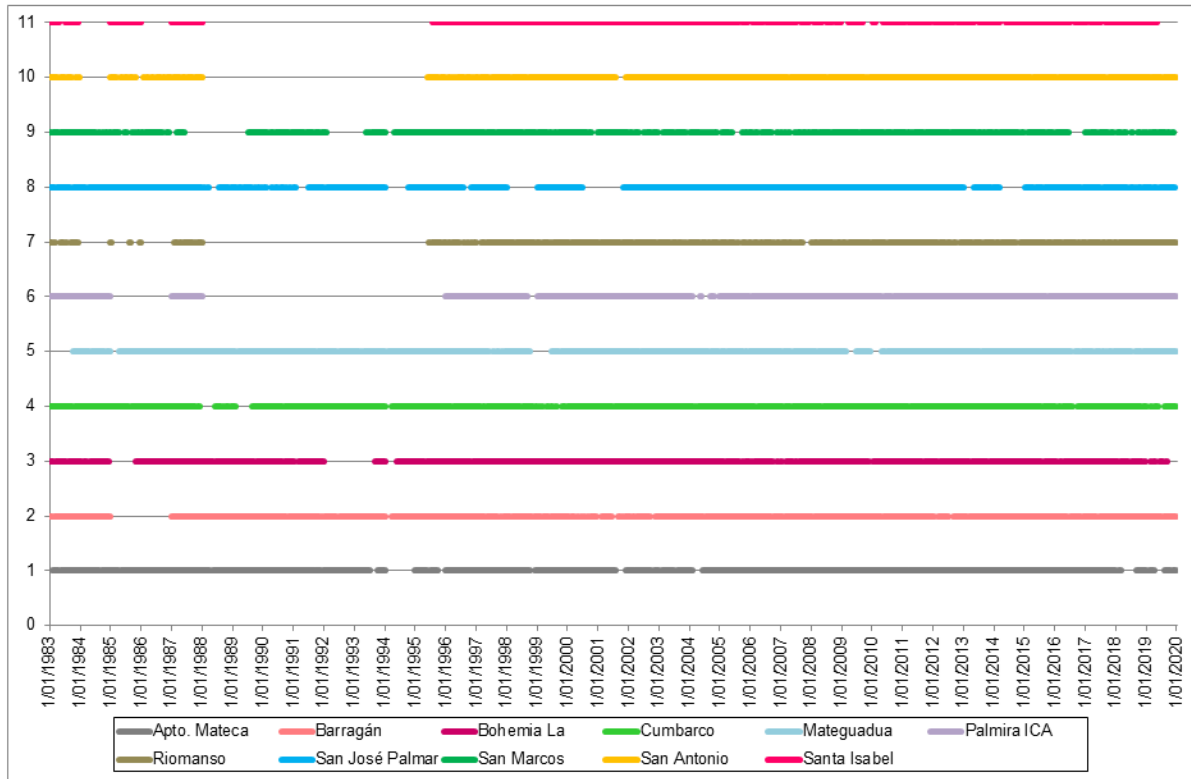


Figura 56. Periodo de registro en estaciones analizadas con registros de temperatura máxima. Periodo 1983 - 2019.

Tabla 37. Periodo de registro de estaciones climatológicas con registros de temperatura mínima.

Estación	Fecha inicial	Fecha final	Vacíos Periodo 1983 - 2019 (%)	Vacíos Periodo 1996 - 2019 (%)	Este	Norte
Apto. Matecana	01/02/1983	31/01/2020	10,51	8,72	4696491	2090755
Barragán	01/01/1982	31/12/2019	11,05	6,69	4679418	2004221
Cumarco	1/1/1982	31/12/2019	8,18	6,32	4685662	2021014
La Bohemia	01/02/1982	06/10/2019	13,54	6,80	4680947	2097697
Mateguadua	01/10/1983	30/12/2019	10,23	10,23	4648249	2003814
Palmira ICA	01/01/1983	31/12/2019	30,40	4,95	4631767	1946897
Riomanso	01/01/1983	31/12/2019	36,59	11,62	4731954	2023262

Estación	Fecha inicial	Fecha final	Vacíos Periodo 1983 - 2019 (%)	Vacíos Periodo 1996 - 2019 (%)	Este	Norte
San Antonio Quinta	01/01/1983	31/12/2019	19,74	18,05	4723802	1990124
San José Palmar	01/01/1983	30/12/2019	27,41	4,31	4641579	2100095
San Marcos	01/01/1983	30/11/2019	26,08	16,92	4663392	2027057
Santa Isabel	02/01/1983	26/07/2019	40,74	20,84	4763614	2077899

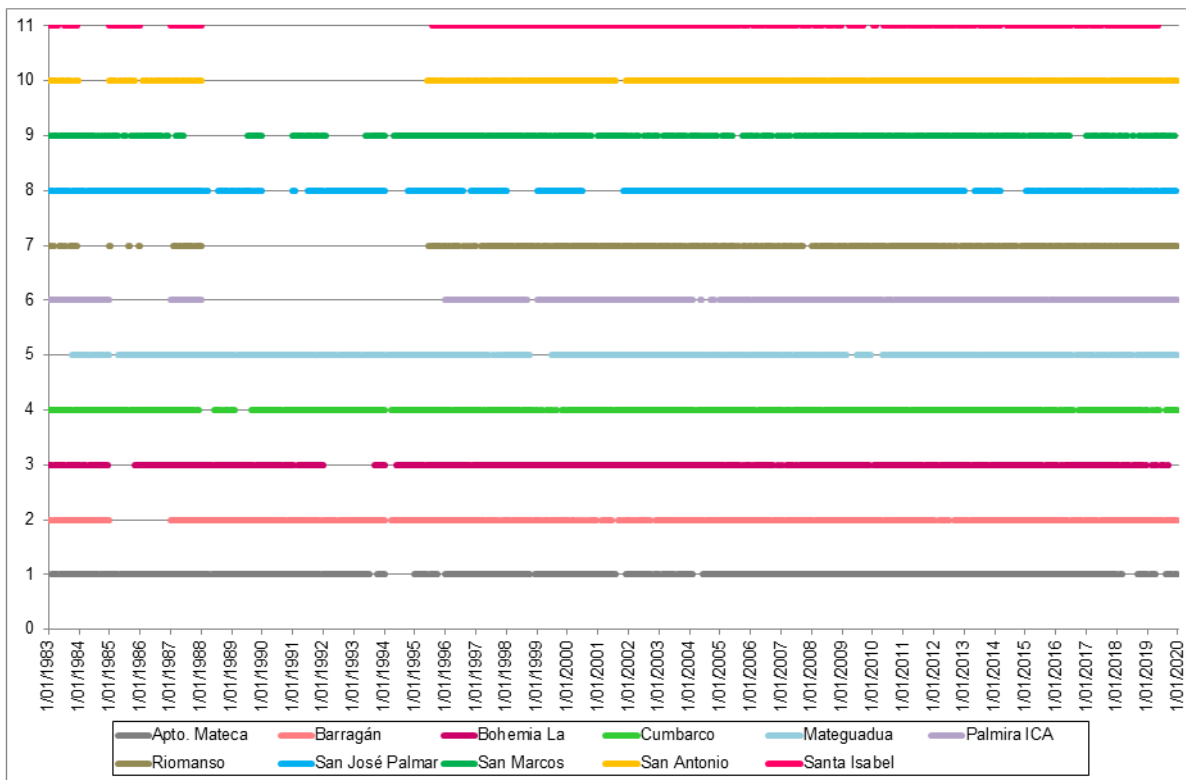


Figura 57. Periodo de registro en estaciones analizadas con registros de temperatura mínima. Periodo 1983 - 2019.



---

#### 5.1.6.8.2. Análisis de consistencia y homogeneidad

Este análisis tiene por finalidad depurar las series de precipitación, temperatura media y caudal registradas en las estaciones identificadas, a fin de hacerlas consistentes y homogéneas. Esto permite determinar la calidad de la información básica, detectar posibles valores que por diversas causas pudieran considerarse como anómalos, reducir la incertidumbre en los resultados por efecto de errores en los datos, y aumentar la confiabilidad en los resultados obtenidos. El análisis se realizó mediante pruebas gráficas y estadísticas.

Las inconsistencias detectadas, pueden estar asociadas a la aleatoriedad de la variable y normalmente se recurre al criterio del especialista sustentado en el análisis y la aplicación de diferentes pruebas estadísticas para determinar si efectivamente los datos presentan inconsistencias.

Las pruebas gráficas son útiles para la sintetización del comportamiento de las series históricas. El análisis efectuado se realizó mediante la detección gráfica de la homogeneidad de los registros a partir de las curvas de doble masa. Además, se aplicó el test no paramétrico de Walsh para la detección de puntos anómalos.

Se llevaron a cabo cuatro análisis para los registros de precipitación, temperatura media y caudal, los cuales se describen a continuación:

##### 5.1.6.8.2.1. Gráficas de series de tiempo

Se representaron los datos ordenados cronológicamente en las ordenadas y el tiempo en las abscisas, con el fin de observar el comportamiento de la serie de datos, cambios, intermitencias, entre otros.

##### 5.1.6.8.2.2. Curva de doble masa

El método de la curva de doble masa se basa en la hipótesis de proporcionalidad en la variación temporal de la acumulación de la variable en consideración. Por lo tanto, la variable acumulada en tiempos consecutivos en la estación de interés, contra la acumulación de los datos en otra u otras estaciones de referencia, en periodos contemporáneos de las series, debe representarse aproximadamente como una línea recta en un gráfico cartesiano (cada variable acumulada en uno de los ejes).

Un cambio en la pendiente en la curva de doble masa significa que hay un cambio en las magnitudes de la variable registrada en una de las estaciones, que no es detectado en otra estación. Estas anomalías pueden obedecer a cambios naturales y ser coherentes con la realidad u obedecer a cambios en los instrumentos o métodos de medición y no ser coherentes con la realidad.

#### 5.1.6.8.2.3. Diagrama de cajas y bigotes - Boxplot

Se construyeron diagramas de cajas y bigotes con el fin de determinar la tendencia de los datos para cada mes y posibles datos anómalos. Este método gráfico establece como umbral el segundo y tercer cuartil más o menos 1,50 veces la distancia intercuartílica (Q3-Q1), valores que determinan las patillas del diagrama. Los datos por fuera de este rango pueden entenderse como valores extremos que se alejan de la tendencia general de los registros. La posible anomalía de los valores extremos fue luego evaluada mediante la prueba no paramétrica de Walsh.

#### 5.1.6.8.2.4. Correlación con indicadores de fenómenos macroclimáticos ONI, SOI y SST3-4

El efecto del fenómeno ENSO sobre el territorio nacional se ve reflejado en la magnitud y temporalidad del ciclo hidrológico. Se analizaron los efectos de dicho fenómeno sobre los registros de caudal y precipitación mediante metodología de correlación cruzada con los índices ONI (Índice Oceánico del Niño), SOI (Índice de Oscilación del Sur) y SST 3-4 (Temperatura de la superficie del mar El Niño Zona 3-4).

Índice Oceánico del Niño - ONI : Este índice es calculado como la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la temperatura de la superficie del mar en la Región Niño 3-4. De acuerdo con este índice, en condiciones El Niño (La Niña), el ONI debe ser igual ó superior (igual o inferior) a medio grado Celsius de anomalía<sup>45</sup>.

Índice de Oscilación del Sur - IOS: es calculado como las diferencias normalizadas entre la presión atmosférica medida en Tahití (Polinesia Francesa, representa el sector central del Pacífico tropical) y Darwin (norte de Australia, representa el sector occidental) y es un indicador de las fluctuaciones de la masa atmosférica entre los sectores centro-oriental y occidental del pacífico. Diferentes científicos han desarrollado metodologías para el cálculo

---

<sup>45</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Bogotá, 2007 p. 16.

del IOS; el obtenido por el Climate Analysis Center de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de los Estados Unidos, es el más utilizado por la comunidad que hace seguimiento e investigaciones sobre el ENOS<sup>46</sup>.

Temperatura de la superficie del mar El Niño Zona 3-4: Se han establecido cuatro regiones muy bien definidas, región Occidental (Región Niño 4), región Central (Región Niño 3), región Centro-occidental (Región Niño 3-4) y la región Oriental (Región Niño 1+2). (Figura 58).

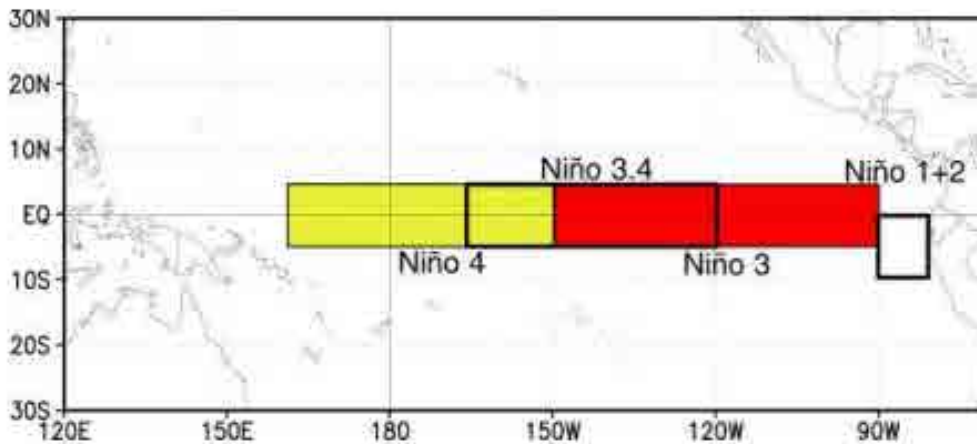


Figura 58. Regiones El Niño, definidas por la comunidad científica internacional con fines de seguimiento y vigilancia de los fenómenos del Ciclo ENOS.

Fuente: IDEAM. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. (2007).

En cada una de estas regiones se mide la temperatura de la superficie del mar en grados Celsius y se determinan sus anomalías, evaluadas como la diferencia entre un valor mensual cualquiera y su promedio climatológico o valor normal. Los índices más utilizados en la vigilancia de los fenómenos El Niño y La Niña son los de las regiones Niño 3 y Niño 3-4, en consideración a que en el sector central del Pacífico tropical se observan los mayores contrastes de la termodinámica oceánica<sup>47</sup>.

<sup>46</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Bogotá, 2007 p. 16.

<sup>47</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Bogotá, 2007 p. 13 y 14.

#### 5.1.6.8.2.5. Valores anómalos - Test de Walsh.

Dentro del análisis exploratorio se pueden encontrar datos considerados como extremos anómalos, los cuales son definidos como outliers. Para determinar si estos datos son efectivamente consecuencia de errores en el proceso de medición, registros y/o manipulación de la información, estos pueden ser evaluados mediante el test de Walsh. Ésta consiste en una prueba no paramétrica desarrollada por Walsh para detectar datos anómalos (outliers) en un conjunto de datos. Este test requiere de una muestra con  $n > 220$  para obtener un nivel de significancia del  $\alpha = 0,05$ ,  $n > 60$  para un nivel de significancia  $\alpha = 0,10$ . Las series se analizaron para una significancia de 0,05 dado que el número de datos supera el  $n$  por el test (La estación Los Minchos presenta el menor número de datos con 8733 caudales diarios registrados).

Para la serie  $X_1, X_2, \dots, X_n$  que representa el conjunto de datos ordenados  $n$  ascendentemente, se identifican los números  $r$  de posibles outliers. Ecuación 6.

$$c = \text{ceiling}(\sqrt{2n}), k = r + c, b^2 = \frac{1}{\alpha}, \alpha = \frac{1+b\sqrt{(c-b^2)/(c-1)}}{c-b^2-1}$$

Ecuación 6. Ceiling.

Fuente: EPA. Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners. (2006) <sup>48</sup>.

Donde ceiling representa el número entero superior más próximo.

1. Los  $r$  valores más pequeños son outliers con nivel de significancia  $\alpha$  siempre y cuando se cumpla la Ecuación 7.

$$X_r - (1 + \alpha)X_{r+1} + \alpha X_k < 0$$

Ecuación 7. Valores bajos.

Fuente: EPA. Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners. (2006).

2. Los  $r$  valores más grandes son outliers con nivel de significancia  $\alpha$  siempre y cuando se cumpla la Ecuación 8.

$$X_{n+1-r} - (1 + \alpha)X_{n-r} + \alpha X_{n+1-k} > 0$$

Ecuación 8. Valores altos

Fuente: EPA. Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners. (2006).

<sup>48</sup> Environmental Protection Agency. Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners. Washington DC. 2006.

Datos detectados como anómalos en la aplicación de cada una de las técnicas utilizadas fueron definidos como posiblemente erróneos y fueron contrastados con los registros históricos de años clasificados como Niño y Niña de acuerdo con el índice ONI (Oceanic Niño Index).

#### 5.1.6.8.2.6. Pruebas de normalidad y tendencia

Realizado el análisis gráfico de las series y la identificación de datos anómalos (outliers) se implementaron pruebas estadísticas de tipo paramétrico (Los datos se asemejan a una distribución normal) o no paramétrico (no requieren de ningún supuesto de normalidad o de otra distribución conocida) con el fin de determinar la homogeneidad y consistencia de los registros de precipitación, temperatura y caudal.

Para establecer si los datos de las series siguen una distribución teórica como la distribución normal, se utilizaron las pruebas de normalidad de Anderson Darling, Lilliefors y Shapiro Francia con el objetivo de definir el conjunto de pruebas paramétricas o no paramétricas a utilizar.

Las pruebas utilizadas de tipo paramétrico o no paramétrico, permitieron comprobar el carácter estacionario de las series (comprobar que no existe tendencia en la serie, es decir que no hay correlación entre el orden en que se tomaron las observaciones y el incremento o decremento en magnitud de los datos de la serie) y la homogeneidad de los registros (Detectar cambios en la varianza y en la media son pasos fundamentales para determinar si la serie presenta homogeneidad o no; el hecho de que no lo sea significa que los parámetros estadísticos varían, ya sea debido a causas naturales o antropogénicas)<sup>49</sup>.

Para evaluar la homogeneidad y el carácter estacionario de las series se utilizaron las siguientes pruebas:

- Pruebas para series paramétricas

Tendencia: Pearson

Estabilidad en la varianza: Test F

Estabilidad en la media: Test t

---

<sup>49</sup>Castro, Lina M.; Carvajal Escobar, Yesid. Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. 2010. p. 9 y 10.

- Pruebas para series no-paramétricas

Tendencia: Spearman y Kendall

Estabilidad en la varianza: Siegel Turkey

Estabilidad en la media: Mann-Whitney y Kruskal-Wallis

Con ayuda del software RStudio, las pruebas estadísticas de normalidad, homogeneidad y tendencia, fueron realizadas para un nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$ , donde la hipótesis nula ( $H_0$ ) que se probó dependiendo del parámetro a validar fue:

$H_0$ : La serie de datos sigue una distribución normal

$H_0$ : No hay tendencia

$H_0$ : Las varianzas son iguales

$H_0$ : Las medias son iguales.

Mientras que la hipótesis alterna ( $H_a$ ) dependiendo del parámetro a validar fue:

$H_a$ : La serie de datos no sigue una distribución normal

$H_a$ : Si hay tendencia

$H_a$ : Las varianzas no son iguales

$H_a$ : Las medias no son iguales.

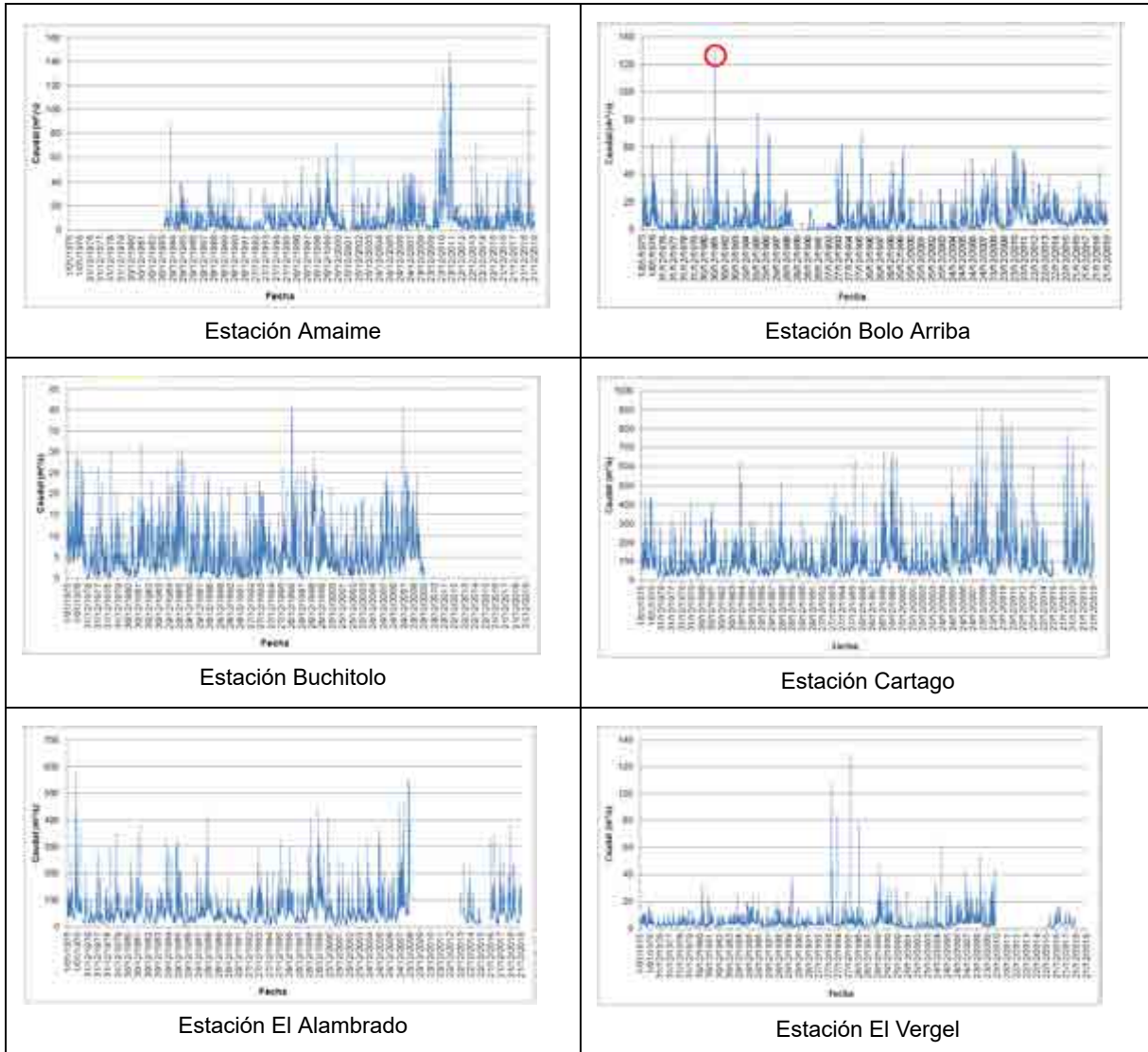
Se rechazó la hipótesis nula si el p-value asociado al resultado observado es menor que el nivel de significación establecido (0,05). El p-value muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado que hemos hallado si se supone que la hipótesis nula es cierta. Las pruebas utilizadas se describen en el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información).

#### 5.1.6.8.2.7. Resultados registros de caudal

- Gráficas de series de tiempo

En las gráficas de series temporales se observan datos anómalos para la estación Bolo Arriba, El Placer y Mateguadua. Con el fin de identificar si estos datos eran realmente atípicos se realizó el test de Walsh.





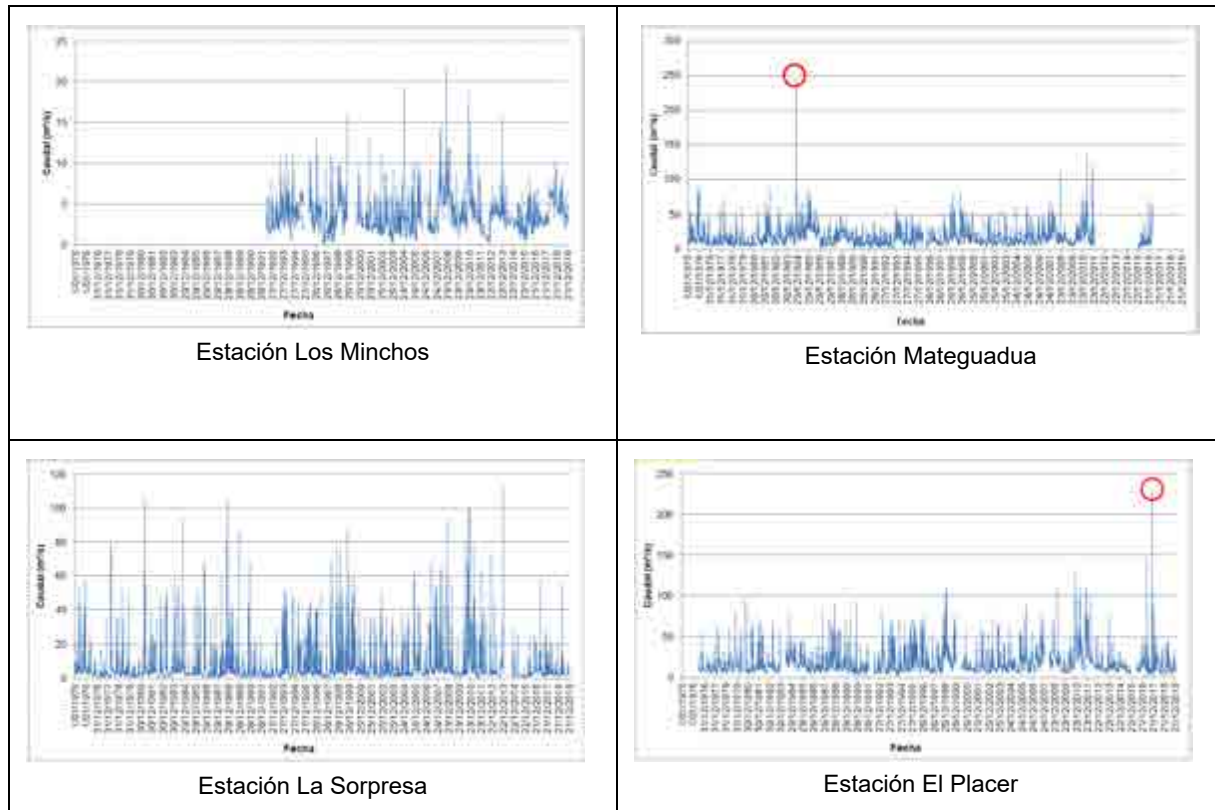
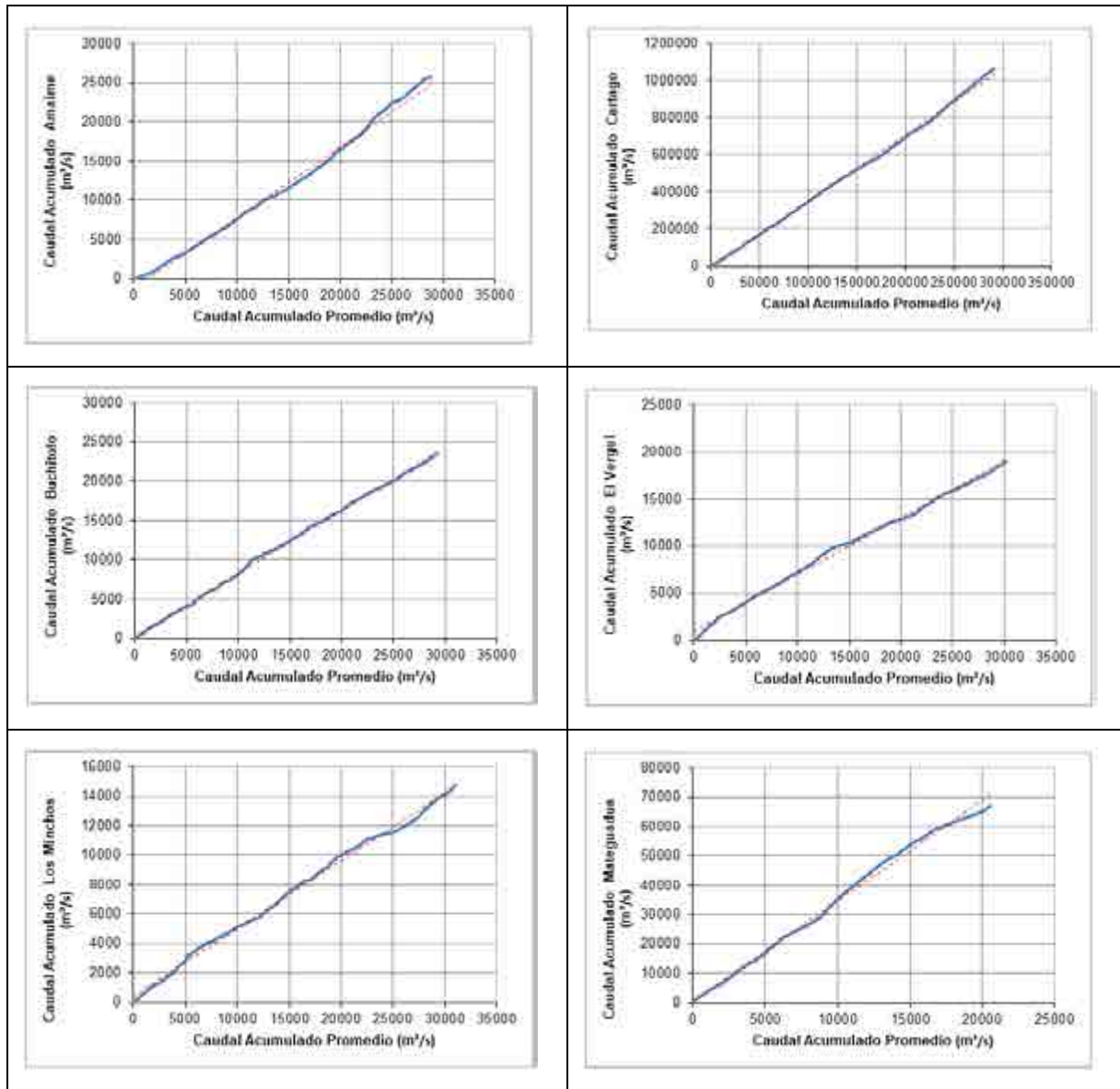


Figura 59. Registros de caudal.

- Curva de doble masa

Como resultado del análisis y a partir de las curvas presentadas en la Figura 60, se concluyó que en general las estaciones poseen registros consistentes. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información, se presenta el análisis realizado.



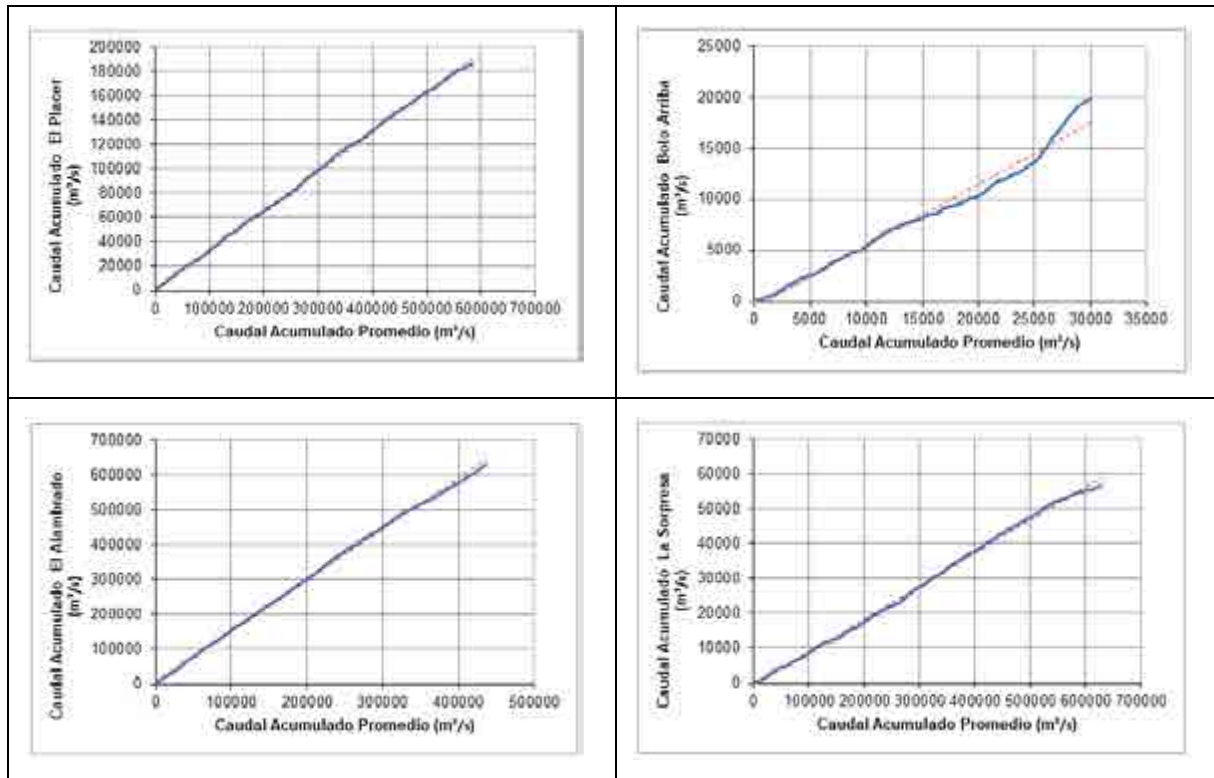


Figura 60. Curva de doble masa registros de caudal.

- Diagrama de cajas y bigotes - Boxplot

Para el periodo de información 1975 – 2019 se determinaron los caudales medios a nivel mensual y a nivel multianual para las diez estaciones analizadas. En el río Amaime se registra un caudal promedio de 7,18 m<sup>3</sup>/s con un régimen bimodal, en donde los periodos húmedos se consideran en los meses de abril – junio y noviembre – diciembre como se observa en la Figura 61. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información, se presenta el diagrama de cajas y bigotes para las diez estaciones analizadas.

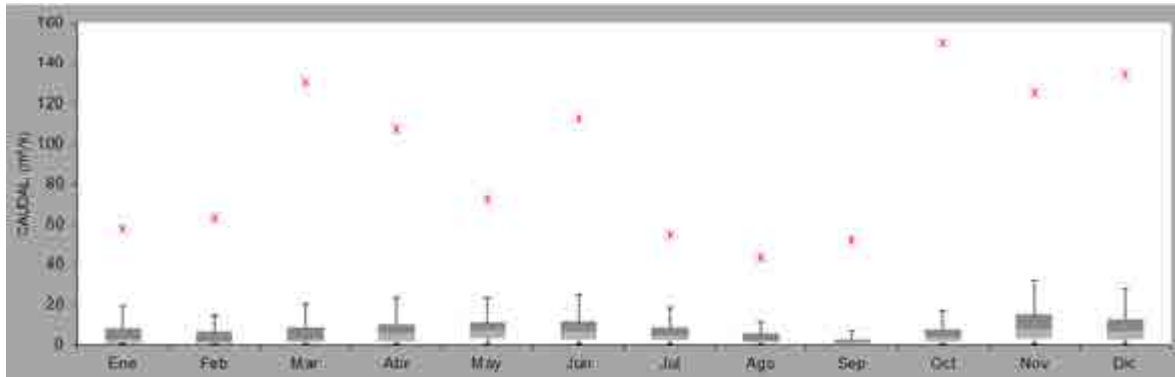


Figura 61. Boxplot régimen mensual río Amaime - Estación Amaime.

En la Tabla 38 se presenta la tendencia de los datos para cada mes y los posibles datos anómalos identificados con el método de boxplot.

Tabla 38. Medidas estadísticas de la serie diaria de caudales en m<sup>3</sup>/s. Estación Amaime - Periodo 1975 - 2019.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	0,02	0,01	0,05	0,10	0,11	0,04	0,01	0,02	0,00	0,07	0,14	0,05
Q1	0,63	0,48	0,90	1,79	3,28	2,76	2,00	0,89	0,45	1,44	3,04	2,73
Mediana	2,53	1,56	2,56	5,39	6,74	6,42	4,36	2,00	1,32	3,62	7,34	6,33
Q3	8,10	6,07	8,57	10,16	11,05	11,40	8,37	5,00	2,84	7,60	14,62	12,68
Max	57,40	62,98	130,25	107,18	72,44	112,56	54,50	43,49	51,85	149,71	125,00	134,72
IQR	7,47	5,59	7,67	8,37	7,78	8,64	6,37	4,12	2,40	6,16	11,59	9,95

- Correlación con indicadores de fenómenos macroclimáticos ONI, SOI y SST3-4

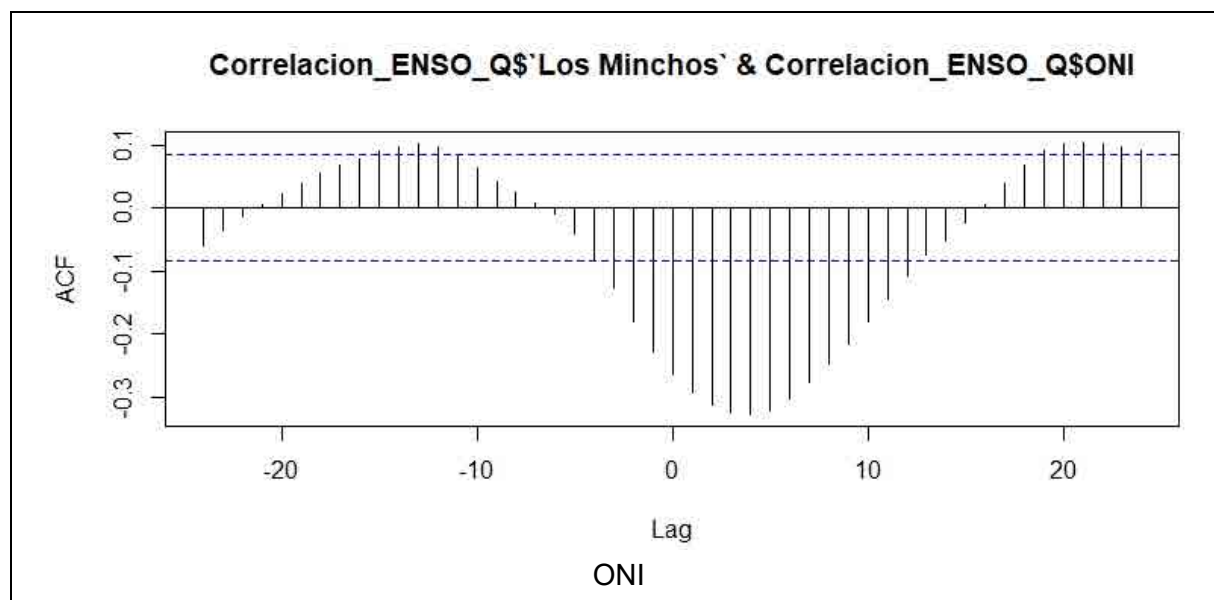
Con ayuda del software RStudio se identificó que la estructura de correlación de la variable de caudal (Para las diez estaciones analizadas) y los índices representativos del fenómeno ENSO presentan coeficientes de correlación de Pearson por encima del intervalo de significancia.

La Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental establece que “La obtención de correlaciones estadísticamente significativas por fuera de los límites y mostrados usualmente en las

gráficas de correlogramas como líneas punteadas, es un indicativo de la influencia por ejemplo del ENSO en la hidrología de la corriente<sup>50</sup>. Lo anterior indica que existe influencia del fenómeno ENSO en las series hidrológicas utilizadas en los análisis hidrológicos.

En cuanto a la interpretación de los resultados de los correlogramas la Metodología menciona: “Rezagos negativos indican que el fenómeno antecede a la hidrología y lo contrario para rezagos positivos. Correlaciones positivas indican efectos directos entre el fenómeno y la hidrología (los dos disminuyen o aumentan), mientras que correlaciones negativas indicarían efectos inversos (uno disminuye el otro aumenta)”<sup>51</sup>.

En la Figura 62 se presentan los correlogramas de la estación Los Minchos, los coeficientes de correlación indican un comportamiento inversamente proporcional a los índices ONI y SST 3-4 y directamente proporcional con el fenómeno SOI. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información se presentan los análisis de correlación para las series de caudal de las estaciones analizadas, las cuales presentan el mismo comportamiento que el descrito para la estación Los Minchos.



<sup>50</sup>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental. Bogotá. 2013. p.24.

<sup>51</sup>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental. Bogotá. 2013. p. 23 y 24.



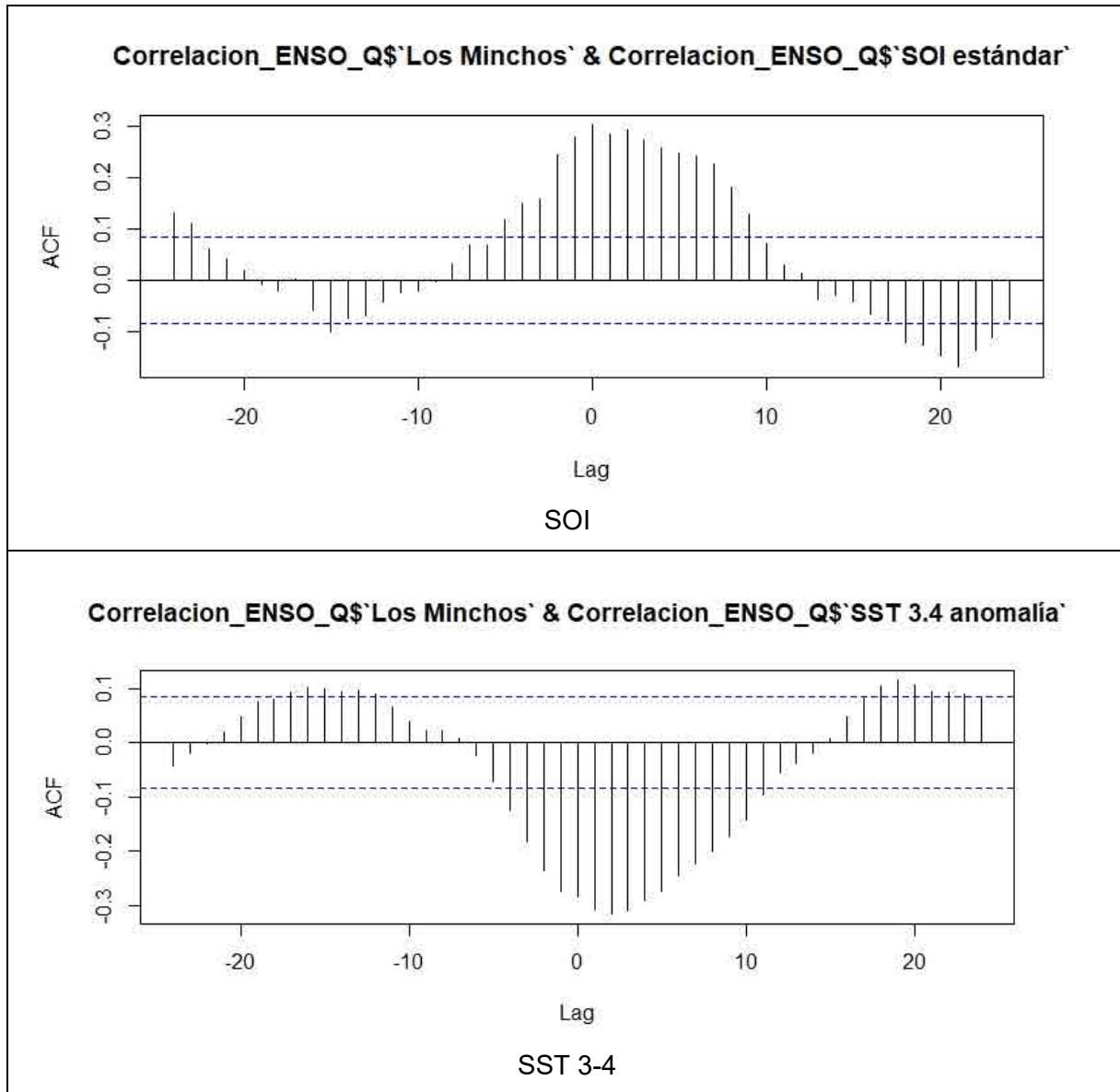


Figura 62. Correlogramas entre índices ONI, SOI, SST3.4 y caudales estación Los Minchos.

- Valores anómalos - Test de Walsh.

Se aplicó el test no paramétrico de Walsh para determinar si los valores extremos corresponden a un dato anómalo y se identificó el valor extremo (o los valores extremos) en cada serie.

En la Tabla 39 se presentan los outliers identificados en las estaciones con registros de caudal. Se detectaron datos anómalos en nueve de las diez estaciones analizadas. En la estación Mateguadua y El Placer se removieron los datos 245 m<sup>3</sup>/s y 231,5 m<sup>3</sup>/s respectivamente al haber sido identificados gráficamente y en el test de Walsh (Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información).

Tabla 39. Identificación de outliers en estaciones con registros de caudal.

Estación	Outlier por test de Walsh	Fecha	Año	Fase ENSO <sup>52</sup>	Se elimina el dato?
Amaime	134,7	6/12/2011	2011	Niña fuerte y niña moderada	NO
	149,7	18/10/2011	2011	Niña fuerte y niña moderada	NO
Bolo Arriba	127,9	04/01/1982	1982	Neutro	NO
	83,4	05/01/1982	1982	Neutro	NO
	85,6	25/02/1986	1986	Niño moderado	NO
Buchitolo	No se detectaron datos anómalos				
Cartago	9,0	12/07/1992	1992	Niño fuerte	NO
	10,4	15/07/1992	1992	Niño fuerte	NO
	10,4	16/07/1992	1992	Niño fuerte	NO
	887,1	29/11/2008	2008	Niña fuerte y Niña débil	NO
	880,2	17/11/2010	2010	Niño moderado y niña fuerte	NO
El Alambrado	580,0	9/11/1975	1975	Niña débil y niña fuerte	NO
	556,3	15/11/2008	2008	Niña fuerte y Niña débil	NO
	541,3	29/11/2008	2008	Niña fuerte y Niña débil	NO
El Vergel	85,1	05/04/1994	1994	Niño moderado	NO
	108,5	12/04/1994	1994	Niño moderado	NO

<sup>52</sup> Golden Gate Weather Services (s.f.). El Niño and La Niña Years and Intensities Based on Oceanic Niño Index (ONI). Jan Null, CCM. Recuperado de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. 2020

Estación	Outlier por test de Walsh	Fecha	Año	Fase ENSO <sup>52</sup>	Se elimina el dato?
	85,7	25/11/1994	1994	Niño moderado	NO
	130,2	16/03/1996	1996	Niña moderada	NO
	0,46	19/02/2002	2002	Niño moderado	NO
	0,44	20/02/2002	2002	Niño moderado	NO
Los Minchos	19,42	21/01/2005	2005	Niño débil y niña débil	NO
	22,03	26/11/2008	2008	Niña fuerte y Niña débil	NO
	17,27	27/11/2008	2008	Niña fuerte y Niña débil	NO
	18,74	4/12/2010	2010	Niño moderado y niña fuerte	NO
	18,32	15/12/2010	2010	Niño moderado y niña fuerte	NO
Mateguadua	108,0	28/10/1984	1984	Niña débil	NO
	245,0	30/10/1984	1984	Niña débil	SI
	140,0	31/10/1984	1984	Niña débil	NO
	112,0	26/11/2008	2008	Niña fuerte y Niña débil	NO
	134,4	16/04/2011	2011	Niña fuerte y niña moderada	NO
	90,83	17/04/2011	2011	Niña fuerte y niña moderada	NO
	123,6	18/10/2011	2011	Niña fuerte y niña moderada	NO
El Placer	146,56	12/05/2017	2017	Niña débil	NO
	159,75	15/11/2017	2017	Niña débil	NO
	231,52	20/11/2017	2017	Niña débil	SI
La Sorpresa	0,04	02/01/1991	1991	Niño fuerte	NO
	0,12	11/11/1997	1997	Niño muy fuerte	NO
	104,8	17/11/1988	1988	Niño moderado y Niña fuerte	NO
	106,43	14/05/1981	1981	Neutro	NO
	112,54	23/12/2013	2013	Neutro	NO

- Pruebas de normalidad y tendencia

A los registros diarios de caudal se les realizaron las pruebas de normalidad y los resultados se presentan en la Tabla 40.

Tabla 40. Resumen de pruebas de normalidad estaciones hidrométricas.

Estación	Test	Anderson-Darling	Lilliefors	Shapiro-Francia
Amaime	p.value	3,70E-24	0,00E+00	2,74E-49
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
Bolo Arriba	p.value	3,70E-24	0,00E+00	7,01E-46
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
Buchitolo	p.value	3,70E-24	2,62E-89	2,22E-36
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
Cartago	p.value	3,70E-24	6,29E-17	1,39E-45
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
El Alambrado	p.value	3,70E-24	9,33E-88	4,61E-40
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
El Placer	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,09E-46
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
El Vergel	p.value	3,70E-24	1,59E-227	3,16E-53
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
La Sorpresa	p.value	3,70E-24	0,00E+00	4,12E-53
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
Los Minchos	p.value	3,70E-24	0,00E+00	7,02E-46
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
Mateguadua	p.value	3,70E-24	3,07E-108	9,17E-45
	Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza

Aplicadas las pruebas de Anderson Darling, Lilliefors y Shapiro Francia para un nivel de significancia del 5%. Se encontró que todas las estaciones analizadas se comportan bajo una distribución de probabilidad no paramétrica, es decir que no siguen una distribución normal.

A partir de los resultados anteriores se utilizaron las pruebas no-paramétricas; pruebas de estabilidad en la media (Mann-Whitney y Kruskal-Wallis), estabilidad en la varianza (Siegel Turkey) y tendencia (Spearman y Kendall).

Los resultados de las pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario de los registros de caudal se resumen en la Tabla 41.

Tabla 41. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones hidrométricas.

Pruebas		Tendencia		Varianza	Media	
Estación	Test	Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall-Wallis
Amaime	p.value	0,882	0,883	0,309	0,118	0,544
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Bolo Arriba	p.value	0,197	0,198	0,268	0,207	0,653
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Buchitolo	p.value	0,4	0,406	0,316	0,105	0,711
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Cartago	p.value	0,282	0,281	0,444	0,221	0,666
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Alambrado	p.value	0,892	0,887	0,79	3,92E-01	0,175
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Placer	p.value	0,681	0,683	0,568	0,629	0,875
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Vergel	p.value	0,581	0,586	0,347	0,854	0,173
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
La Sorpresa	p.value	0,101	0,102	0,533	0,614	0,652
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales

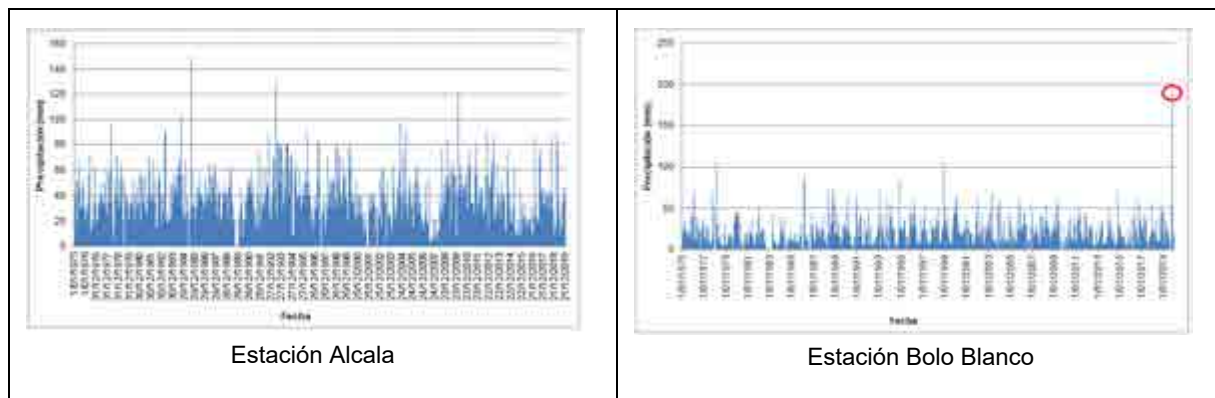
Pruebas		Tendencia		Varianza	Media	
Estación	Test	Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall-Wallis
Los Minchos	p.value	0,197	0,198	0,268	0,207	0,653
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Mateguadua	p.value	0,572	0,569	0,986	0,843	0,708
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales

En la Tabla 41 se observa que los registros de las estaciones evaluadas presentan una buena calidad en los datos, al cumplir con las hipótesis de no tendencia e igualdad en la media y la varianza en un 100%. A partir de los resultados anteriores, se utilizaron los registros de las estaciones analizadas para la caracterización del caudal en el área de estudio.

#### 5.1.6.8.2.8. Resultados registros de precipitación

- Gráficas de series de tiempo

En la Figura 63 se presentan las gráficas de series temporales de ocho estaciones con registros de precipitación, donde se observan datos anómalos para la estación Bolo Arriba Blanco y Naranjal de 193 mm y 151 mm respectivamente. Con el fin de identificar si estos datos eran realmente atípicos se realizó el test de Walsh. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información, se presentan las gráficas de series de tiempo para las 31 estaciones.





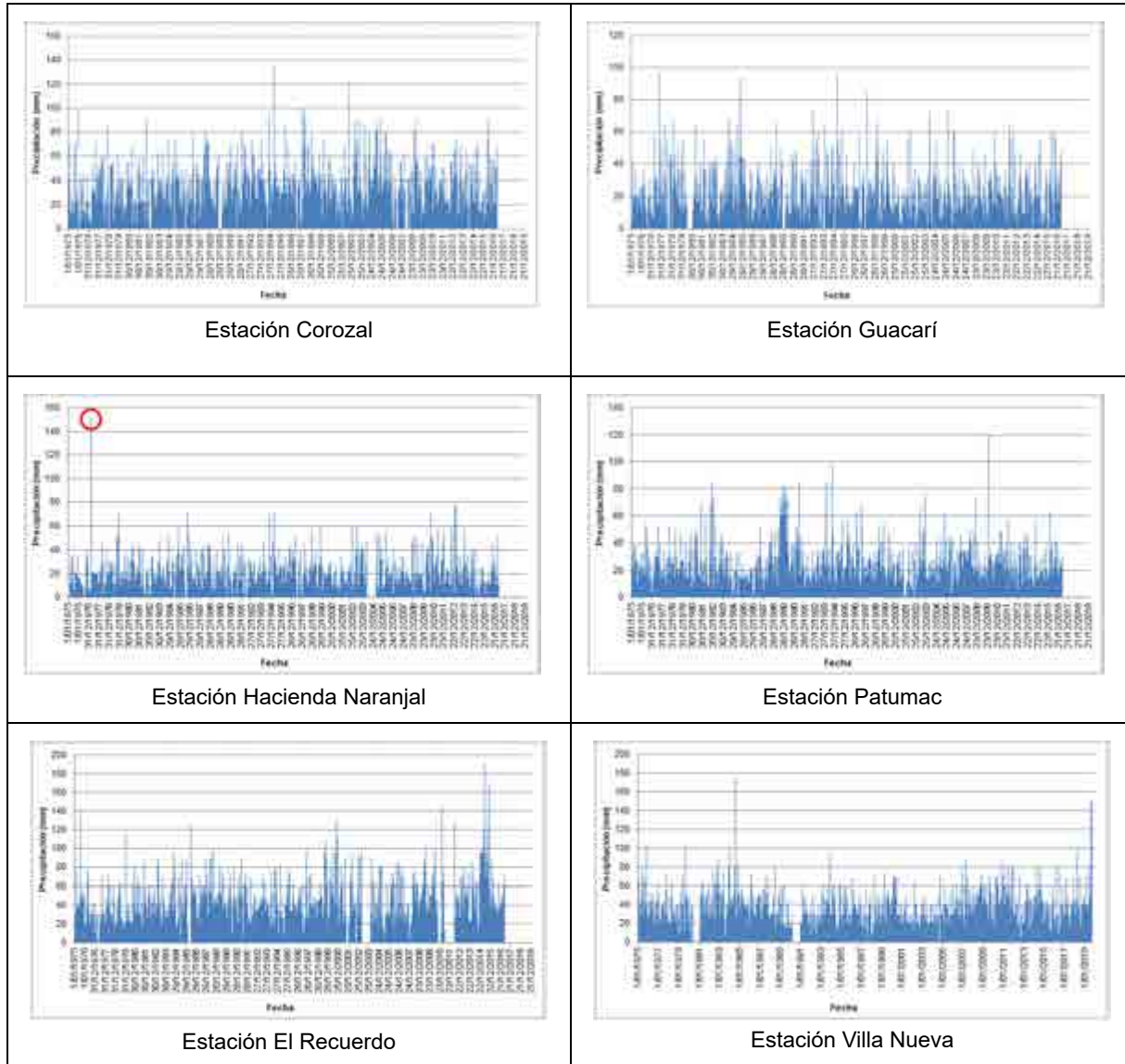


Figura 63. Registros de precipitación.

- Curva de doble masa

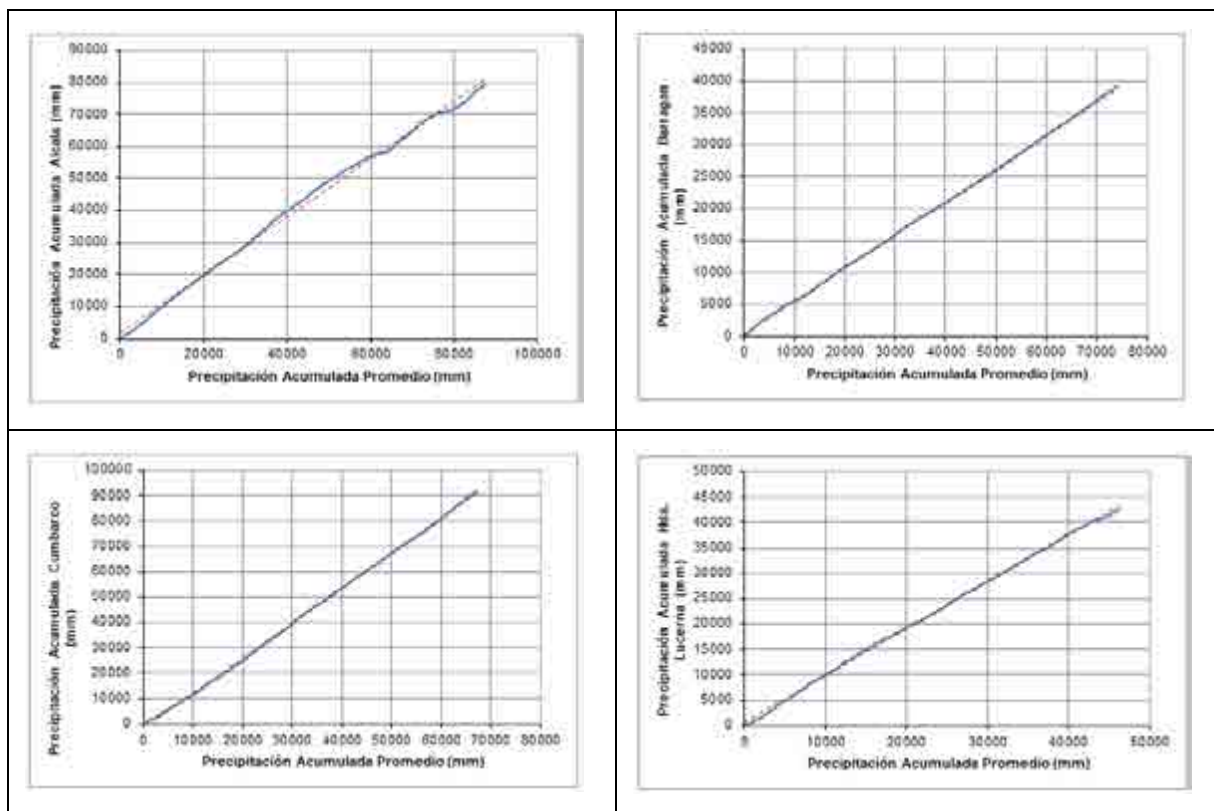
Para el análisis de los registros de precipitación se utilizaron las estaciones que se relacionan en la Tabla 42 considerando la cercanía y la elevación de instalación entre la estación de interés y las estaciones utilizadas como referencia.

Tabla 42. Estación de interés y estaciones de referencia.

Estación de interés	Estaciones de referencia		
Alcalá	Apto. Matecaña	Obando	El Recuerdo
Apto. A. Bonilla	Ing. La Quinta	Vijes	Guacarí
Apto. Matecana	Alcalá	El Recuerdo	Villa Nueva
Barragán	Puerto Frazadas	El Placer	Cumbarco
Bella Vista	Bolo Blanco	Barragan	Cajones
Bolo Blanco	Cajones	El Paraiso	Florida
Buenos Aires	Santa Ines	Guacarí	Las Juntas
Cajones	Bolo Blanco	Hda. El Espejo	Florida
Cent. Admo. La Unión	Obando	Corozal	Hda. Lucerna
Corozal	Obando	Hda. Lucerna	Naranjal
Cumbarco	Pijao	Puerto. Frazadas	Barragan
Florida	Ing. La Quinta	Hda. El Espejo	Apto. A. Bonilla
Guacarí	Vijes	Apto. A. Bonilla	El Paraiso
Ing. La Quinta	Apto. A. Bonilla	Florida	Hda. El Espejo
Las Juntas	El Placer	El Paraiso	Guacarí
Hda. Lucerna	Corozal	Naranjal	Cent. Admo. La Unión
Hda. El Espejo	Ing. La Quinta	Florida	Apto. A. Bonilla
Naranjal	Hda. Lucerna	Corozal	Patumac
Obando	Cent. Admo. La Unión	Corozal	Alcalá
Papayal	El Recuerdo	Salento	Apto. A. Bonilla
El Paraiso	Guacarí	Apto. A. Bonilla	Ing. La Quinta
Patumac	Naranjal	Obando	Cent. Admo. La Unión
Pijao	Cumbarco	Salento	Corozal
El Placer	Las Juntas	Puerto Frazadas	Barragan
Puerto Frazadas	Cumbarco	El Placer	Barragan
Queremal	Santa Ines	Apto. A. Bonilla	Ing. La Quinta
El Recuerdo	Villa Nueva	Apto. Matecaña	Alcalá
Salento	Pijao	Papayal	Alcalá
Santa Inés	Queremal	Buenos Aires	Ing. La Quinta

Estación de interes	Estaciones de referencia		
Vijes	Guacarí	Apto. A. Bonilla	Ing. La Quinta
Villa Nueva	El Recuerdo	Apto. Matecaña	Alcalá

En la Figura 64 se presenta el resultado del ejercicio de doble masa de ocho estaciones con registros de precipitación. Como resultado del análisis y a partir de las curvas presentadas, se concluyó que en general las estaciones poseen registros consistentes. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información, se presenta el análisis realizado para las 31 estaciones.



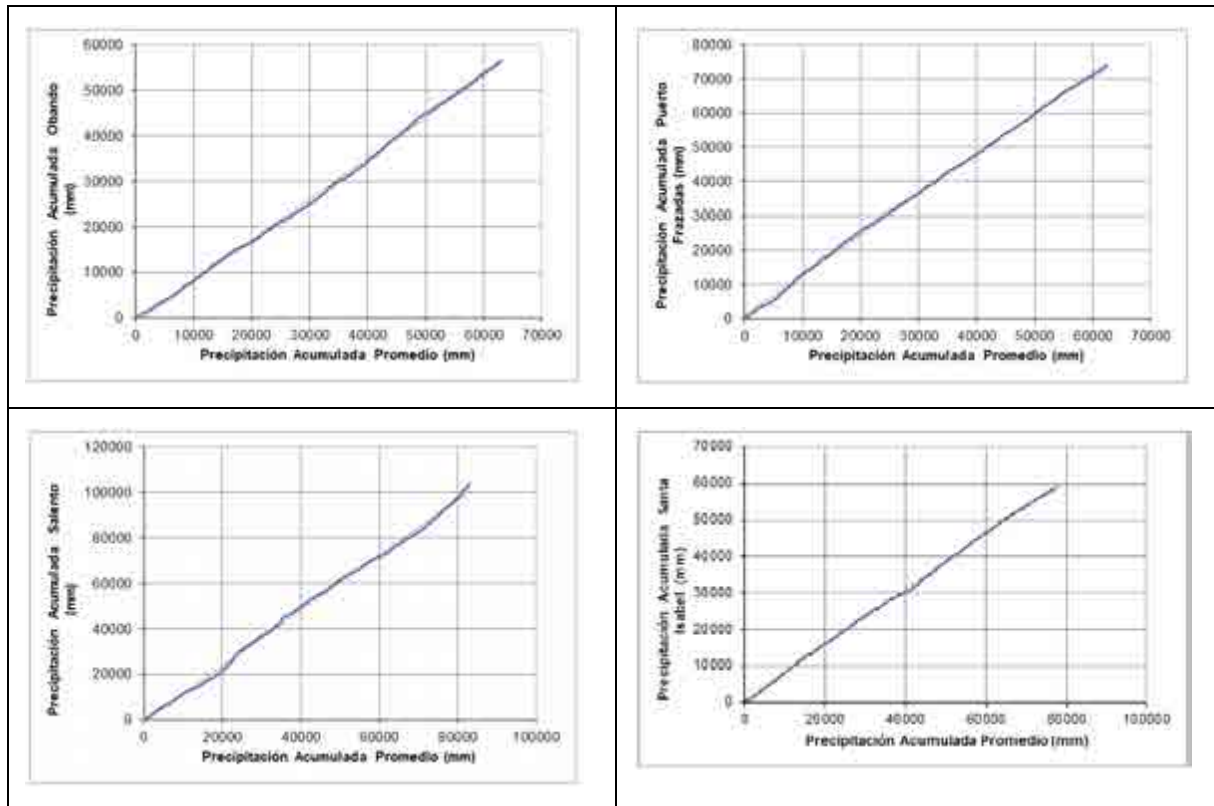


Figura 64. Curva de doble masa registros de precipitación.

- Diagrama de cajas y bigotes - Boxplot

Para el periodo de información 1975 – 2019 se determinaron las precipitaciones a nivel mensual y a nivel multianual para las 31 estaciones analizadas. En la estación Alcalá se registra una precipitación total promedio de 167 mm con un régimen bimodal, en donde los periodos húmedos se consideran en los meses de marzo – mayo y octubre – noviembre como se observa en la Figura 65. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información, se presenta el diagrama de cajas y bigotes para las 31 estaciones analizadas.

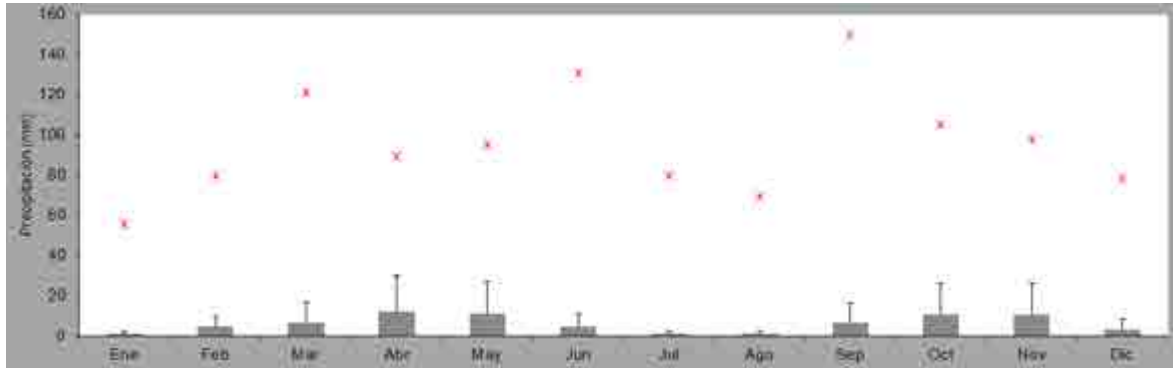


Figura 65. Boxplot régimen mensual de precipitación - Estación Alcalá

En la Tabla 43 se presenta la tendencia de los datos para cada mes y los posibles datos anómalos identificados con el método de boxplot.

Tabla 43. Medidas estadísticas de la serie diaria de precipitación en mm. Estación Alcalá - Periodo 1975 - 2019.

Medida	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mediana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q3	0,9	4,0	6,6	12,0	10,8	4,3	1,0	1,0	6,4	10,5	10,5	3,2
Max	55,3	80,0	120,8	89,0	95,0	131,0	80,0	69,0	150,0	105,0	97,8	78,0
IQR	0,9	4,0	6,6	12,0	10,8	4,3	1,0	1,0	6,4	10,5	10,5	3,2

- Correlación con indicadores de fenómenos macroclimáticos ONI, SOI y SST3-4

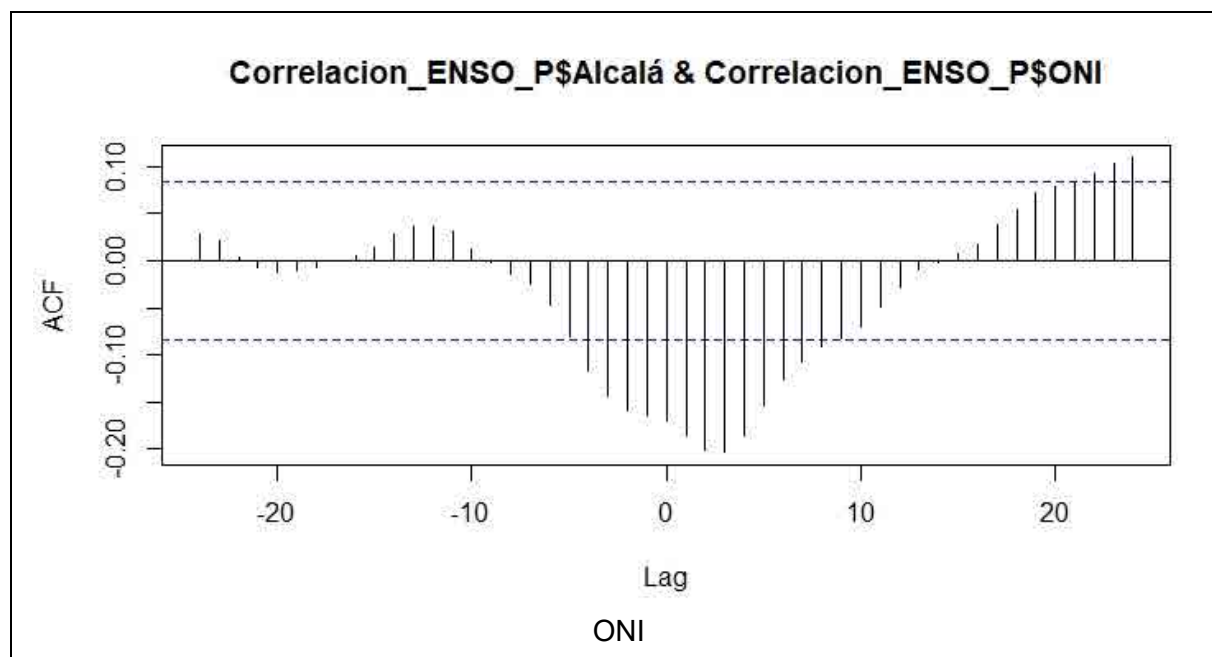
Con ayuda del software RStudio se identificó que la estructura de correlación de la variable de precipitación (Para las 31 estaciones analizadas) y los índices representativos del fenómeno ENSO presentan coeficientes de correlación de Pearson por encima del intervalo de significancia.

La Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental establece que “La obtención de correlaciones estadísticamente significativas por fuera de los límites y mostrados usualmente en las

gráficas de correlogramas como líneas punteadas, es un indicativo de la influencia por ejemplo del ENSO en la hidrología de la corriente<sup>53</sup>. Lo anterior indica que existe influencia del fenómeno ENSO en las series hidrológicas utilizadas en los análisis hidrológicos.

En cuanto a la interpretación de los resultados de los correlogramas la Metodología menciona: “Rezagos negativos indican que el fenómeno antecede a la hidrología y lo contrario para rezagos positivos. Correlaciones positivas indican efectos directos entre el fenómeno y la hidrología (los dos disminuyen o aumentan), mientras que correlaciones negativas indicarían efectos inversos (uno disminuye el otro aumenta)”<sup>54</sup>.

En la Figura 66 se presentan los correlogramas de la estación Alcalá, los coeficientes de correlación indican un comportamiento inversamente proporcional a los índices ONI y SST 3-4 y directamente proporcional con el fenómeno SOI. Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información se presentan los análisis de correlación para las series de caudal de las estaciones analizadas, las cuales presentan el mismo comportamiento que el descrito para la estación Alcalá.



<sup>53</sup>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental. Bogotá. 2013. p.24.

<sup>54</sup>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental. Bogotá. 2013. p. 23 y 24.



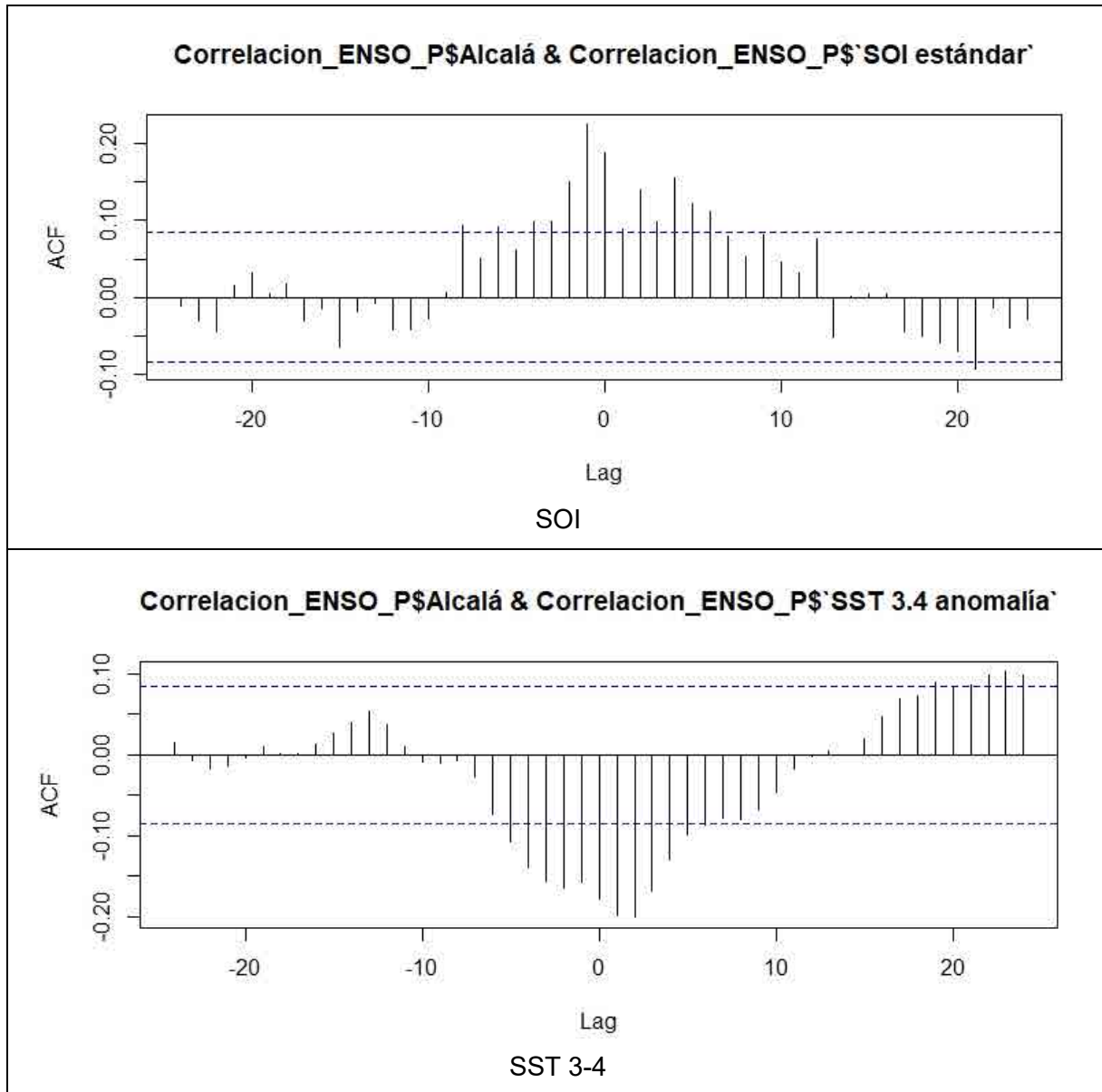


Figura 66. Correlogramas entre índices ONI, SOI, SST3-4 y precipitación de la estación Alcalá.

- Valores anómalos - Test de Walsh.

Se aplicó el test no paramétrico de Walsh para determinar si los valores extremos corresponden a un dato anómalo y se identificó el valor extremo (o los valores extremos) en cada serie.

En la Tabla 44 se presentan los outliers identificados en las estaciones con registros de precipitación. En la estación Bolo Blanco y en la estación Naranjal se detectó un dato anómalo de 193 mm y 151 respectivamente, estos datos fueron removidos de la serie diaria de precipitación dado que este valor supera el registro de precipitación total mensual que se presentan en la Tabla 61 para cada estación y se presenta en una fase del fenómeno ENSO clasificada como niño débil. (Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información).

Tabla 44. Identificación de outliers en estaciones con registros de precipitación.

Estación	Outlier por test de Walsh	Fecha	Año	Fase ENSO <sup>55</sup>	Se elimina el dato?
Alcalá	95,0	26/05/1978	1978	Niño débil	NO
	105,0	14/10/1984	1984	Niña débil	NO
	150,0	24/09/1985	1985	Niña débil	NO
	131,0	30/06/1993	1993	Neutro	NO
	97,8	19/11/2004	2004	Niño débil	NO
	120,8	17/03/2010	2010	Niño moderado y niña fuerte	NO
Apto. A. Bonilla	89,6	26/10/2002	2002	Niño moderado	NO
Apto. Matecana	123,7	28/05/1994	1994	Niño moderado	NO
	108,1	09/05/2019	2019	Niño débil	NO
Barragán	99,5	15/10/1979	1979	Niño débil	NO
	120,0	12/04/1982	1982	Neutro	NO
	81,0	07/09/1997	1997	Niño muy fuerte	NO
	62,8	21/02/2016	2016	Niño muy fuerte y niña débil	NO
Bellavista	80,0	10/05/1978	1978	Niño débil	NO
	90,0	05/03/1979	1979	Niño débil	NO
	100,0	21/04/1981	1981	Neutro	NO
	92,0	11/04/1982	1982	Neutro	NO

<sup>55</sup> Golden Gate Weather Services (s.f.). El Niño and La Niña Years and Intensities Based on Oceanic Niño Index (ONI). Jan Null, CCM. Recuperado de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. 2020

Estación	Outlier por test de Walsh	Fecha	Año	Fase ENSO <sup>55</sup>	Se elimina el dato?
	106,0	13/10/1986	1986	Niño moderado	NO
	88,0	24/01/1992	1992	Niño fuerte	NO
	110,0	01/02/1993	1993	Neutro	NO
	125,0	13/03/2006	2006	Niña débil y niño débil	NO
Bolo Blanco	193,0	15/10/2019	2019	Niño débil	SI
Buenos Aires	110,0	24/04/1979	1979	Niño débil	NO
	106,0	18/10/1979	1979	Niño débil	NO
	115,0	09/05/1983	1983	Niño muy fuerte y niña débil	NO
	130,0	20/04/1986	1986	Niño moderado	NO
	95,0	03/09/1989	1989	Niña fuerte	NO
	100,0	26/09/1992	1992	Niño fuerte	NO
	88,0	16/04/1993	1993	Neutro	NO
Buenos Aires	90,0	15/04/1995	1995	Niño moderado y niña moderada	NO
Cajones	118,0	6/11/1989	1989	Niña fuerte	NO
Cent. Admo. La Unión	84,1	21/03/1975	1975	Niña débil y niña fuerte	NO
	93,0	11/06/1988	1988	Niño moderado y Niña fuerte	NO
	81,6	17/10/1994	1994	Niño moderado	NO
	116,0	24/06/1999	1999	Niña fuerte	NO
	78,0	8/11/2002	2002	Niño moderado	NO
	90,0	26/06/2007	2007	Niño débil y niña fuerte	NO
Corozal	135,0	16/04/1995	1995	Niño moderado y niña moderada	NO
	122,0	23/09/2002	2002	Niño moderado	NO
	109,0	5/11/2016	2016	Niño muy fuerte y niña débil	NO
Cumbarco	No se detectaron datos anómalos				
El Paraiso	130,0	10/10/1995	1995	Niño moderado y niña moderada	NO
	136,0	12/12/2001	2001	Niña débil	NO
El Placer	135,0	31/07/1991	1991	Niño fuerte	NO
	110,0	07/05/1998	1998	Niño muy fuerte y niña fuerte	NO
	120,0	17/12/2012	2012	Niña moderada	NO

Estación	Outlier por test de Walsh	Fecha	Año	Fase ENSO <sup>55</sup>	Se elimina el dato?
	94,5	2/11/2018	2018	Niña débil y niño débil	NO
El Recuerdo	170,0	1/11/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO
	190,0	08/06/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO
Florida	146,0	16/05/2009	2009	Niña débil y Niño moderado	NO
	138,0	30/10/2014	2014	Niño débil	NO
	163,0	27/03/2018	2018	Niña débil y niño débil	NO
Guacarí	No se detectaron datos anómalos				
Ing. La Quinta	136,0	11/04/1982	1982	Neutro	NO
	128,0	10/05/2013	2013	Neutro	NO
	120,0	07/05/2014	2014	Niño débil	NO
Las Juntas	125,0	16/04/1982	1982	Neutro	NO
Las Juntas	130,0	21/10/1990	1990	Neutro	NO
	135,0	24/12/1999	1999	Niña fuerte	NO
Hda. Lucerna	No se detectaron datos anómalos				
Hda El Espejo	102,0	07/04/1983	1983	Niño muy fuerte y niña débil	NO
	100,0	30/03/1994	1994	Niño moderado	NO
	105,0	16/05/2002	2002	Niño moderado	NO
	110,0	6/11/2006	2006	Niña débil y niño débil	NO
Naranjal	151,0	23/04/1977	1977	Niño débil	SI
Obando	105,0	14/05/1977	1977	Niño débil	NO
	110,0	9/10/1990	1990	Neutro	NO
	118,0	03/06/1997	1997	Niño muy fuerte	NO
Papayal	106,0	01/05/1980	1980	Niño débil	NO
	150,0	02/02/2001	2001	Niña débil	NO
	100,0	29/03/2016	2016	Niño muy fuerte y niña débil	NO
	171,0	28/02/2018	2018	Niña débil y niño débil	NO
Patumac	98,0	16/10/1994	1994	Niño moderado	NO
	120,0	09/02/2010	2010	Niño moderado y niña fuerte	NO
Pijao	137,0	08/03/1988	1988	Niño moderado y Niña fuerte	NO
	140,0	29/10/2005	2005	Niño débil y niña débil	NO
	165,0	03/01/2006	2006	Niña débil y niño débil	NO
Pto. Frazadas	137,0	18/02/1982	1982	Neutro	NO

Estación	Outlier por test de Walsh	Fecha	Año	Fase ENSO <sup>55</sup>	Se elimina el dato?
	149,0	19/02/1982	1982	Neutro	NO
	122,0	20/02/1982	1982	Neutro	NO
	113,0	05/04/1993	1993	Neutro	NO
Queremal	118,0	15/02/1979	1979	Niño débil	NO
	150,0	5/12/1981	1981	Neutro	NO
	138,0	27/12/1982	1982	Neutro	NO
	122,0	20/10/1984	1984	Niña débil	NO
	92,0	25/04/1994	1994	Niño moderado	NO
	88,0	10/10/2002	2002	Niño moderado	NO
Queremal	95,0	16/11/2017	2017	Niña débil	NO
Salento	144,0	29/04/1977	1977	Niño débil	NO
	140,0	14/10/2011	2011	Niña fuerte y niña moderada	NO
	150,0	25/10/2014	2014	Niño débil	NO
Santa Inés	79,0	8/10/1994	1994	Niño moderado	NO
	89,0	24/04/2005	2005	Niño débil y niña débil	NO
	86,0	25/09/2007	2007	Niño débil y niña fuerte	NO
	75,0	03/06/2009	2009	Niña débil y Niño moderado	NO
	124,0	23/05/2012	2012	Niña moderada	NO
Vijes	101,0	19/09/1977	1977	Niño débil	NO
	75,0	31/03/1990	1990	Neutro	NO
Villa Nueva	175,0	31/07/1984	1984	Niña débil	NO

- Pruebas de normalidad y tendencia

A los registros diarios de precipitación se les realizaron las pruebas de normalidad y los resultados se presentan en la Tabla 45.

Tabla 45. Resumen de pruebas de normalidad en las estaciones climatológicas con registros de precipitación.

No.	Estación	Test	Anderson-Darling	Lilliefors	Shapiro-Francia
1	Alcalá	p.value	3,70E-24	0,00E+00	8,42E-52
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
2	Apto. A. Bonilla	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,54E-56
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
3	Apto. Matecana	p.value	3,70E-24	0,00E+00	2,49E-51
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
4	Barragán	p.value	3,70E-24	0,00E+00	3,05E-52
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
5	Bella Vista	p.value	3,70E-24	0,00E+00	5,06E-52
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
6	Bolo Blanco	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,31E-50
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
7	Buenos Aires	p.value	3,70E-24	0,00E+00	2,49E-54
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
8	Cajones	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,01E-53
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
9	Cent. Admo. La Unión	p.value	3,70E-24	0,00E+00	2,73E-54
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
10	Corozal	p.value	3,70E-24	0,00E+00	4,97E-53
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
11	Cumbarco	p.value	3,70E-24	0,00E+00	7,19E-50
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
12	El Paraiso	p.value	3,70E-24	0,00E+00	2,58E-55
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
13	El Placer	p.value	3,70E-24	0,00E+00	6,75E-52
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
14	El Recuerdo	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,88E-51
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza



No.	Estación	Test	Anderson-Darling	Lilliefors	Shapiro-Francia
15	Florida	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,49E-55
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
16	Guacarí	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,09E-55
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
17	Hda El Espejo	p.value	3,70E-24	0,00E+00	3,23E-55
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
18	Hda Lucerna	p.value	3,70E-24	0,00E+00	6,10E-56
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
19	Ing. La Quinta	p.value	3,70E-24	0,00E+00	2,15E-57
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
20	Las Juntas	p.value	3,70E-24	0,00E+00	9,63E-53
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
21	Naranjal	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,97E-56
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
22	Obando	p.value	3,70E-24	0,00E+00	7,71E-54
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
23	Papayal	p.value	3,70E-24	0,00E+00	8,22E-51
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
24	Patumac	p.value	3,70E-24	0,00E+00	5,04E-53
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
25	Pijao	p.value	3,70E-24	0,00E+00	5,73E-52
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
26	Pto. Frazadas	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,03E-52
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
27	Queremal	p.value	3,70E-24	0,00E+00	5,20E-53
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
28	Salento	p.value	3,70E-24	0,00E+00	4,99E-53
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
29	Santa Inés	p.value	3,70E-24	0,00E+00	5,12E-56

No.	Estación	Test	Anderson-Darling	Lilliefors	Shapiro-Francia
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
30	Vijes	p.value	3,70E-24	0,00E+00	1,53E-56
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza
31	Villa Nueva	p.value	3,70E-24	0,00E+00	6,80E-50
		Resultado	Rechaza	Rechaza	Rechaza

Aplicadas las pruebas de Anderson Darling, Lilliefors y Shapiro Francia para un nivel de significancia del 5%. Se encontró que todas las estaciones analizadas se comportan bajo una distribución de probabilidad no paramétrica, es decir que no siguen una distribución normal.

A partir de los resultados anteriores se utilizaron las pruebas no-paramétricas; pruebas de estabilidad en la media (Mann-Whitney y Kruskal-Wallis), estabilidad en la varianza (Siegel Turkey) y tendencia (Spearman y Kendall).

Los resultados de las pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario de los registros de precipitación se resumen en la Tabla 46.

Tabla 46. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones climatológicas con registros de precipitación.

Pruebas		Tendencia		Varianza	Media	
Estación	Test	Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall-Wallis
Alcalá	p.value	0,390	0,391	0,959	0,956	0,556
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Apto. A. Bonilla	p.value	0,594	0,595	0,087	0,009	0,733
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias no iguales	Medias iguales
Apto. Matecana	p.value	0,632	0,630	0,676	0,497	0,588
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Barragán	p.value	0,966	0,965	0,787	0,581	0,176
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Bella Vista	p.value	0,239	0,239	0,073	0,060	0,345
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Bolo Blanco	p.value	0,103	0,104	0,919	0,696	0,383
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Buenos Aires	p.value	0,135	0,136	0,375	0,235	0,330
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Cajones	p.value	0,917	0,917	0,080	0,033	0,381
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias no iguales	Medias iguales
Cent. Admo. La Unión	p.value	0,789	0,789	0,202	0,072	0,070
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Corozal	p.value	0,854	0,852	0,838	0,891	0,357
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Cumbarco	p.value	0,318	0,317	0,590	0,268	0,292

Pruebas		Tendencia		Varianza	Media	
Estación	Test	Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall-Wallis
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Paraiso	p.value	0,916	0,919	0,733	0,572	0,306
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Placer	p.value	0,889	0,891	0,275	0,958	0,426
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Recuerdo	p.value	0,739	0,740	0,219	0,139	0,272
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Florida	p.value	0,505	0,504	0,248	0,093	0,104
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Guacarí	p.value	0,353	0,352	0,302	0,359	0,975
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Hda El Espejo	p.value	0,425	0,425	0,516	0,542	0,714
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Hda Lucerna	p.value	0,622	0,621	0,320	0,359	0,804
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Ing. La Quinta	p.value	0,309	0,309	0,483	0,536	0,945
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Las Juntas	p.value	0,615	0,618	0,630	0,862	0,879
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Naranjal	p.value	0,581	0,580	0,583	0,231	0,361
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Obando	p.value	0,156	0,155	0,760	0,212	0,587

Pruebas		Tendencia		Varianza	Media	
Estación	Test	Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall-Wallis
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Papayal	p.value	0,356	0,355	0,066	0,973	0,492
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Patumac	p.value	0,293	0,294	0,794	0,512	0,786
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Pijao	p.value	0,472	0,463	0,895	0,450	0,139
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Pto. Frazadas	p.value	0,200	0,200	0,196	0,458	0,002
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias no iguales
Queremal	p.value	0,980	0,980	0,079	0,042	0,931
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias no iguales	Medias iguales
Salento	p.value	0,740	0,743	0,764	0,721	0,657
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Santa Inés	p.value	0,730	0,733	0,402	0,357	0,644
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Vijes	p.value	0,095	0,095	0,407	0,716	0,911
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Villa Nueva	p.value	0,829	0,829	0,183	0,201	0,131
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales

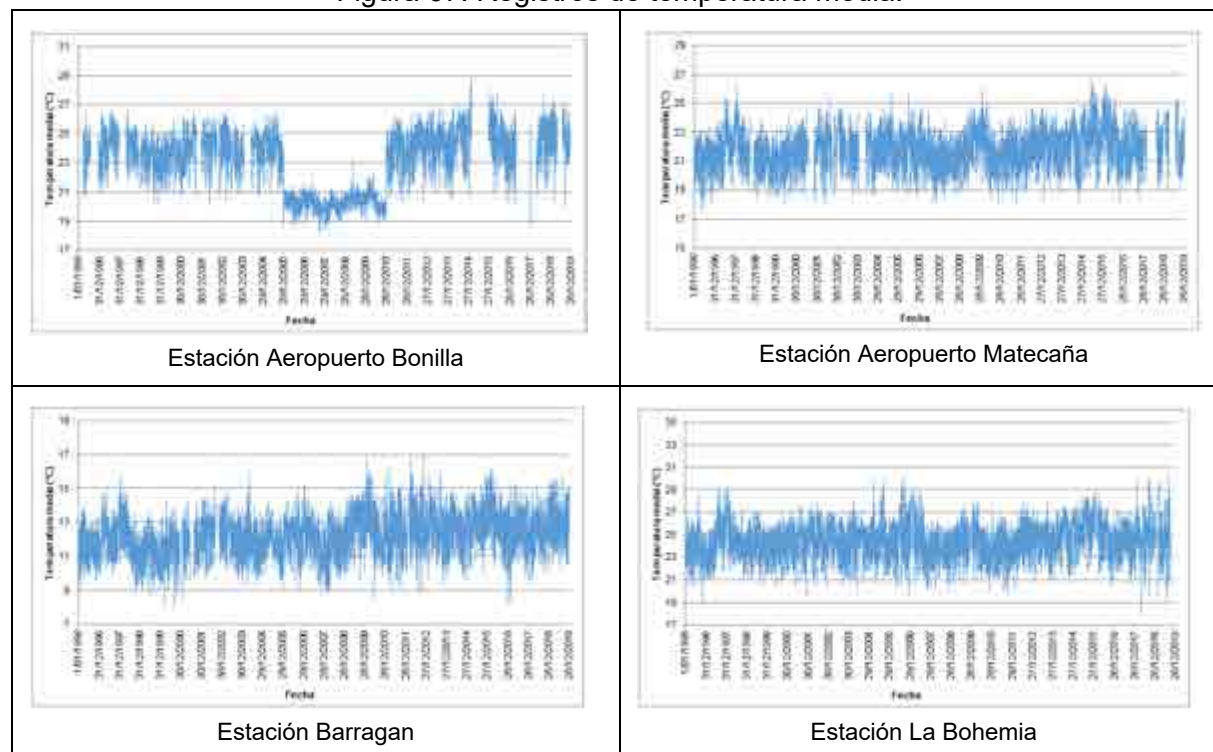
En la Tabla 46 se observa que los registros de las estaciones evaluadas presentan una buena calidad en los datos. Para las estaciones Aeropuerto Alfonso Bonilla, Cajones y Puerto Frazadas y Queremal una de las pruebas de estabilidad en la media no cumple, sin embargo se utilizaron los registros de estas estaciones al no presentar tendencia, al ser las varianzas iguales y cumplir con una de las pruebas de estabilidad en la media.

#### 5.1.6.8.2.9. Resultados registros de temperatura

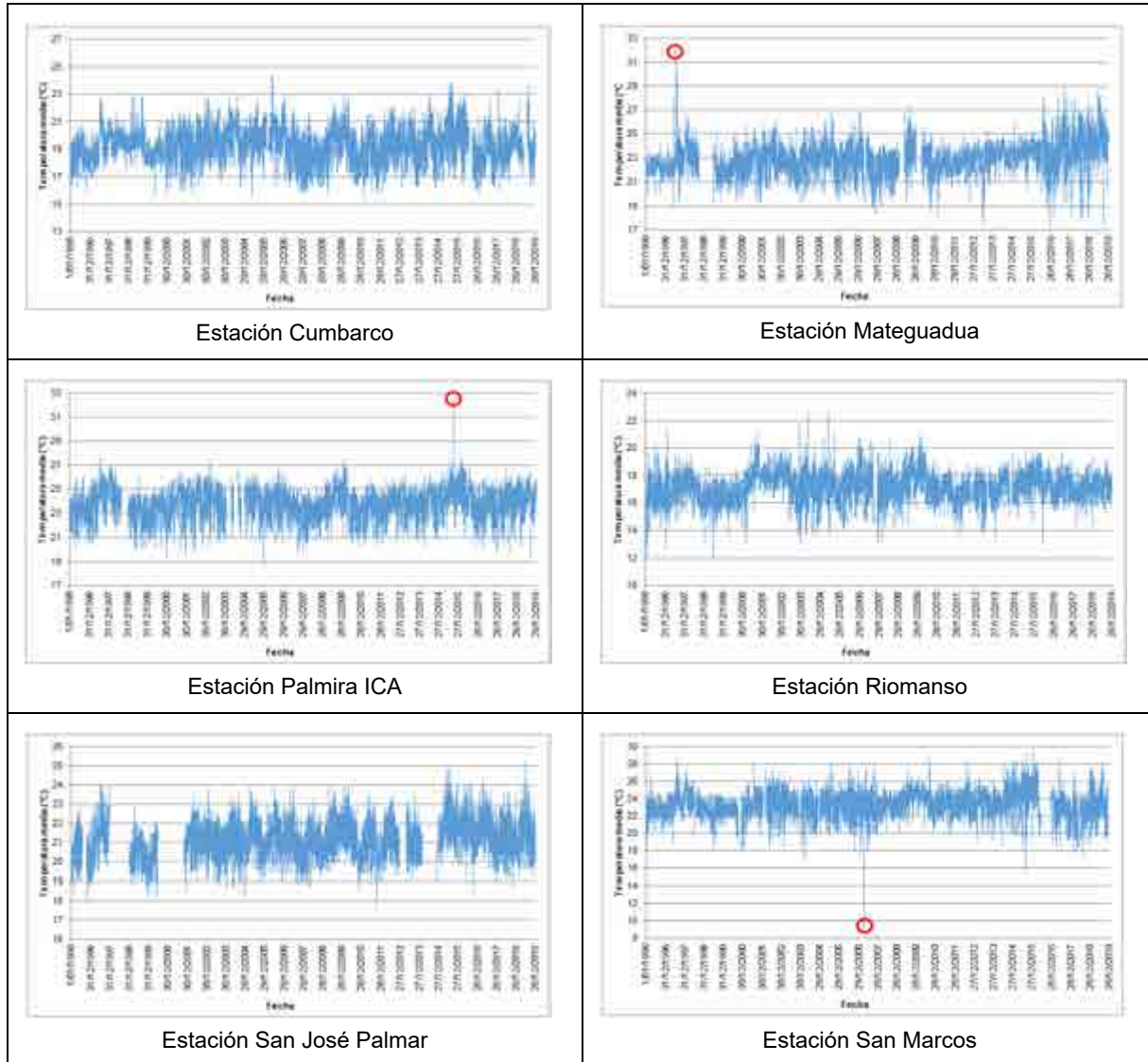
- Gráficas de series de tiempo

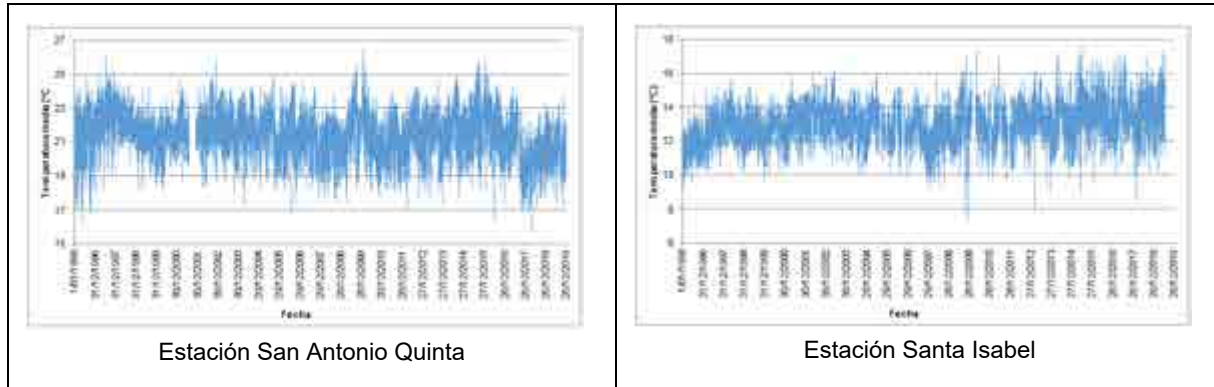
En la Figura 63 se presentan las gráficas de series temporales de las 12 estaciones con registros de temperatura media diaria, donde se observan datos anómalos en la estación Mateguadua, Palmira ICA y San Marcos. Con el fin de identificar si estos datos eran realmente atípicos se realizó el test de Walsh. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información, se presentan las gráficas de series de tiempo para las 12 estaciones.

Figura 67. Registros de temperatura media.



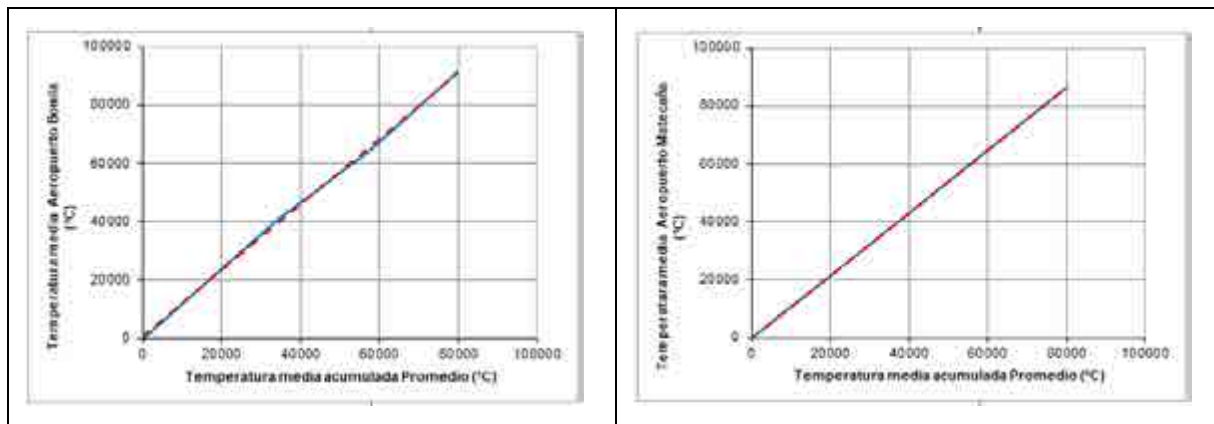


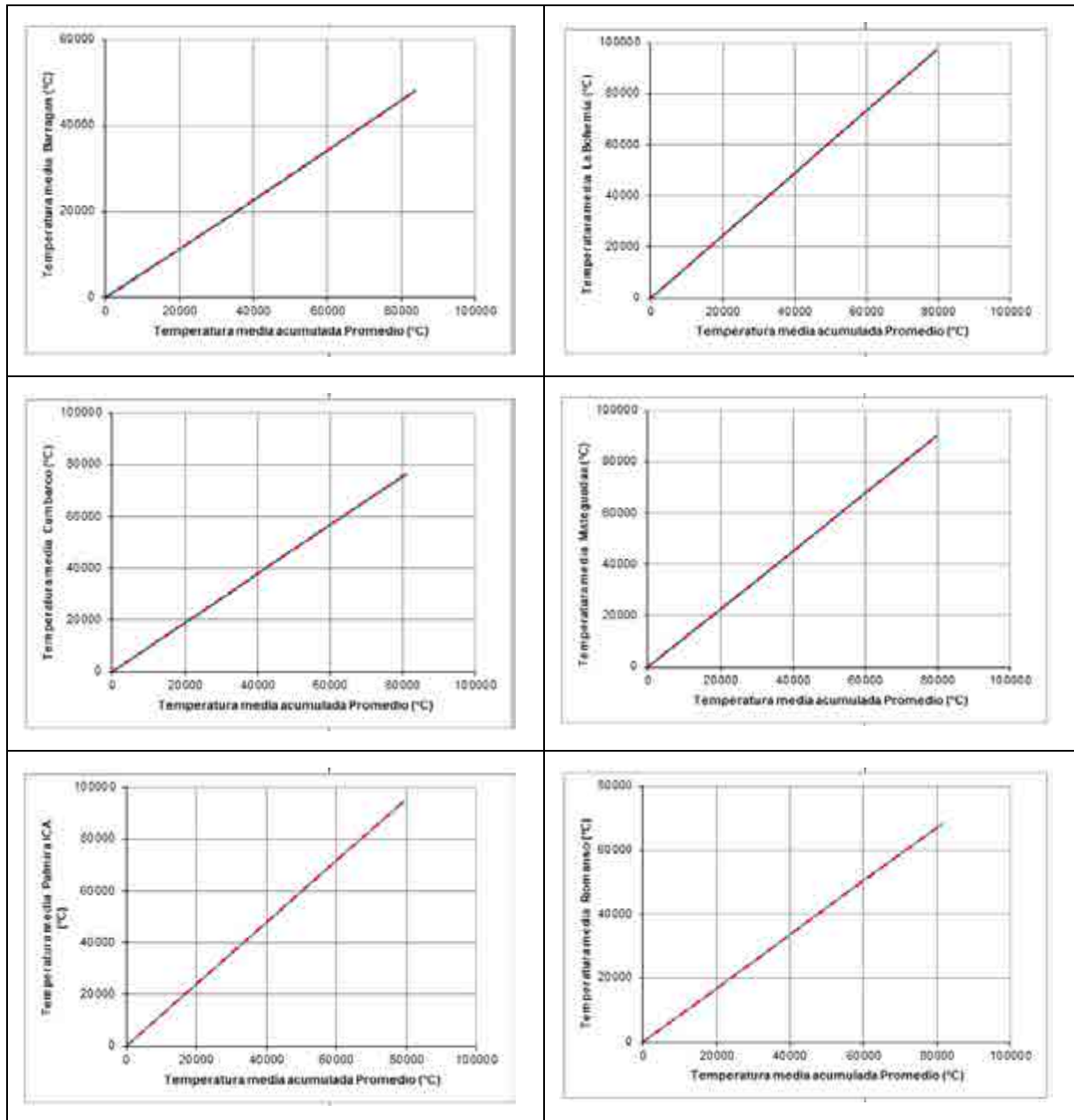




- Curva de doble masa

Como resultado del análisis y a partir de las curvas presentadas en la Figura 68, se concluyó que en general las estaciones poseen registros consistentes. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información, se presenta el análisis realizado.





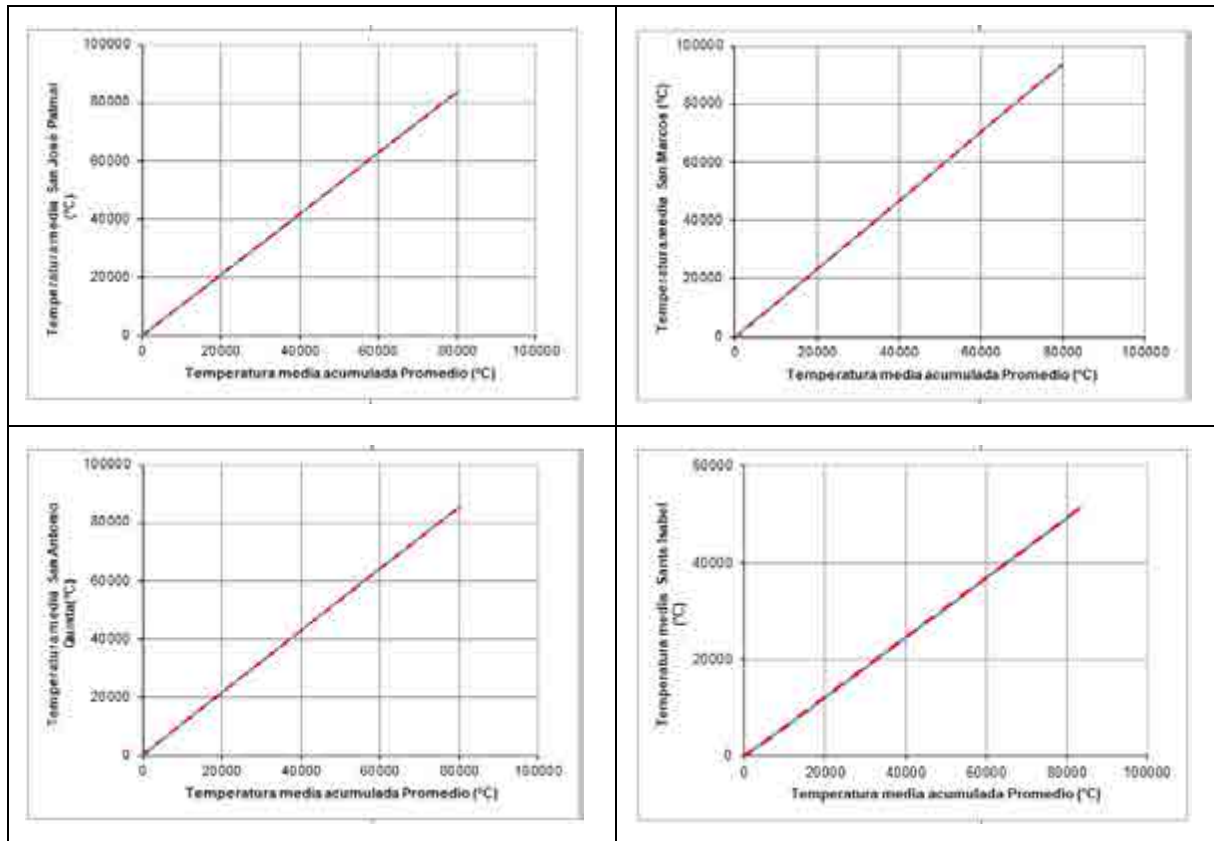


Figura 68. Curva de doble masa registros de temperatura media.

- Diagrama de cajas y bigotes - Boxplot

Para el periodo de información 1996 – 2019 se determinó la temperatura media a nivel mensual y a nivel multianual para las 12 estaciones analizadas. En la estación Barragan se registra una temperatura media promedio de 12,20 °C (Figura 69). En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información, se presenta el diagrama de cajas y bigotes para las 12 estaciones analizadas.

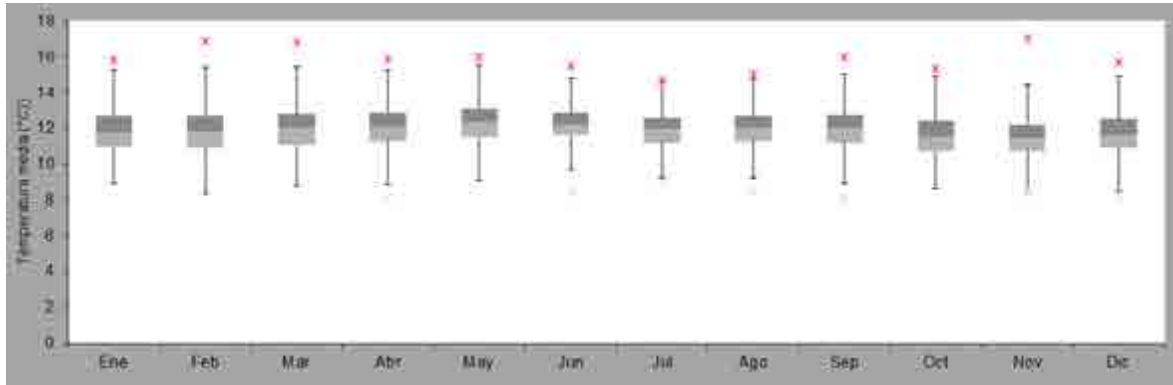


Figura 69. Boxplot temperatura media - Estación Barragan.

En la Tabla 47 se presenta la tendencia de los datos para cada mes y los posibles datos anómalos identificados con el método de boxplot.

Tabla 47. Medidas estadísticas de la serie de temperatura media. Estación Barragan - Periodo 1996 - 2019.

Medida	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Min	8,9	8,3	8,8	8,0	9,1	8,5	9,0	8,5	8,0	8,6	8,5	8,2
Q1	10,9	10,9	11,1	11,3	11,5	11,6	11,2	11,3	11,2	10,7	10,7	10,9
Median	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,2	11,9	12,0	12,0	11,5	11,4	11,6
Q3	12,7	12,7	12,8	12,9	13,1	12,9	12,5	12,7	12,7	12,4	12,2	12,5
Max	15,8	16,9	16,8	15,9	15,9	15,5	14,7	15,0	15,9	15,3	17,0	15,7
IQR	1,7	1,8	1,7	1,6	1,6	1,3	1,3	1,4	1,5	1,7	1,5	1,6

- Valores anómalos - Test de Walsh.

Se aplicó el test no paramétrico de Walsh para determinar si los valores extremos corresponden a un dato anómalo y se identificó el valor extremo (o los valores extremos) en cada serie.

En la Tabla 48 se presentan los outliers identificados en las estaciones con registros de temperatura media los cuales no fueron removidos de las series dado que las temperaturas altas se presentan en una fase del fenómeno ENSO clasificada como niño muy fuerte, fuerte

o débil y las temperaturas bajas durante el fenómeno ENSO clasificado como niña fuerte, moderada o débil. (Anexo D4 - Hidrología/D.4.2 Análisis información).

Tabla 48. Identificación de outliers en estaciones con registros de temperatura media.

Estación	Outlier por test de Wash	Fecha	Año	Fase ENSO <sup>56</sup>	Se elimina el dato?
Apto. A. Bonilla	18,3	9/10/2007	2007	Niño débil y niña fuerte	NO
	18,37	24/10/2007	2007	Niño débil y niña fuerte	NO
	28,2	02/02/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO
	29	22/02/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO
Apto. Matecana	17,67	20/05/1996	1996	Niña moderada	NO
	17,87	25/06/1996	1996	Niña moderada	NO
	26,67	24/06/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO
Barragán	17	19/11/2012	2012	Niña moderada	NO
Bohemia La	18	06/05/2018	2018	Niña débil y niño débil	NO
	18,8	7/11/1996	1996	Niña moderada	NO
	30,5	13/09/2019	2019	Niño débil	NO
Cumbarco	15,53	24/02/2011	2011	Niña fuerte y niña moderada	NO
	15,6	23/05/2005	2005	Niño débil y niña débil	NO
Mateguadua	32	05/08/1997	1997	Niño muy fuerte	NO
Palmira ICA	18,6	04/01/2006	2006	Niña débil y niño débil	NO
	19,27	29/12/2000	2000	Niña fuerte y Niña débil	NO
	28,05	5/10/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO
Palmira ICA	31,2	6/10/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO
	32,6	4/10/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO
Riomanso	12	02/07/1999	1999	Niña fuerte	NO
	12,2	14/01/1996	1996	Niña moderada	NO
	22,6	15/05/2004	2004	Niño débil	NO
	22,6	30/05/2005	2005	Niño débil y niña débil	NO

<sup>56</sup> Golden Gate Weather Services (s.f.). El Niño and La Niña Years and Intensities Based on Oceanic Niño Index (ONI). Jan Null, CCM. Recuperado de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. 2020



Estación	Outlier por test de Wash	Fecha	Año	Fase ENSO <sup>96</sup>	Se elimina el dato?
San José Palmar	17,53	17/10/2011	2011	Niña fuerte y niña moderada	NO
San José Palmar	17,87	7/11/1996	1996	Niña moderada	NO
San Marcos	9,2	20/04/2007	2007	Niño débil y niña fuerte	NO
	15,4	30/08/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO
San Antonio	15,73	29/04/2018	2018	Niña débil y niño débil	NO
	16,2	02/06/1996	1996	Niña moderada	NO
Santa Isabel	7,4	14/12/2009	2009	Niña débil y Niño moderado	NO
	7,8	27/10/2009	2009	Niña débil y Niño moderado	NO
	17,4	15/05/2010	2010	Niño moderado y niña fuerte	NO
	17,6	05/07/2015	2015	Niño débil y Niño muy fuerte	NO

- Pruebas de normalidad y tendencia

A los registros diarios de temperatura media se les realizaron las pruebas de normalidad y los resultados se presentan en la Tabla 49.

Tabla 49. Resumen de pruebas de normalidad en las estaciones climatológicas con registros de temperatura media.

Estación	Pruebas estadísticas de normalidad - Resultado p value		
	Anderson - Darling	Lillie	Shapiro - Francia
Apto. A. Bonilla	3.70E-24	1.45E-94	3.07E-28
Apto. Matecana	3.60E-11	4.34E-09	6.90E-09
Barragán	1.39E-08	6.29E-07	5.68E-08
Bohemia La	2.27E-02	2.62E-02	5.47E-09
Cumbarco	7.66E-03	3.35E-04	2.83E-04
Mateguadua	4.92E-06	5.65E-04	3.31E-13
Palmira ICA	5.55E-16	1.26E-11	9.59E-13
Riomanso	5.50E-03	2.72E-02	1.73E-05

Estación	Pruebas estadísticas de normalidad - Resultado p value		
	Anderson - Darling	Lillie	Shapiro - Francia
San Antonio Quinta	1.26E-04	6.79E-06	5.93E-06
San Marcos	6.73E-10	4.79E-05	1.88E-10
San José Palmar	3.44E-07	1.28E-04	1.24E-06
Santa Isabel	1.58E-02	9.44E-03	1.01E-03

Aplicadas las pruebas de Anderson Darling, Lilliefors y Shapiro Francia para un nivel de significancia del 5%. Se encontró que todas las estaciones analizadas se comportan bajo una distribución de probabilidad no paramétrica, es decir que no siguen una distribución normal.

A partir de los resultados anteriores se utilizaron las pruebas no-paramétricas; pruebas de estabilidad en la media (Mann-Whitney y Kruskal-Wallis), estabilidad en la varianza (Siegel Turkey) y tendencia (Spearman y Kendall).

Los resultados de las pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario de los registros de precipitación se resumen en la Tabla 50.

Tabla 50. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones climatológicas con registros de temperatura media.

Estación	Test	Tendencia		Varianza	Media	
		Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall - Wallis
Apto. A. Bonilla	p.value	0,946	0,952	0,046	0,104	0,155
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas no iguales	Medias iguales	Medias iguales
Apto. Matecana	p.value	0,212	0,214	0,052	0,891	0,392
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Barragán	p.value	0,909	0,912	0,853	0,329	0,492
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Bohemia La	p.value	0,832	0,834	0,720	0,643	0,588
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Cumbarco	p.value	0,806	0,818	0,303	0,041	0,813
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias no iguales	Medias iguales
Mateguadua	p.value	0,457	0,456	0,398	0,050	0,506
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Palmira ICA	p.value	0,868	0,862	0,621	0,439	0,910
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Riomanso	p.value	0,055	0,057	0,271	0,582	0,893
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales

Estación	Test	Tendencia		Varianza	Media	
		Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall - Wallis
San Antonio Quinta	p.value	0,200	0,204	0,630	0,811	0,416
San Antonio Quinta	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
San Marcos	p.value	0,683	0,694	0,865	0,420	0,141
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
San José Palmar	p.value	0,188	0,191	0,513	0,540	0,029
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias no iguales
Santa Isabel	p.value	0,066	0,064	0,283	0,865	0,468
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales

En la Tabla 50 se observa que los registros de las estaciones evaluadas presentan una buena calidad en los datos. Para las estaciones Cumberco y San José Palmar una de las pruebas de estabilidad en la media no cumple y en la estación Aeropuerto Bonilla no cumple la prueba de estabilidad en la varianza, sin embargo se utilizaron los registros de estas estaciones al no presentar tendencia y cumplir con una de las pruebas de estabilidad en la media. A partir de los resultados anteriores, se utilizaron los registros de las 12 estaciones analizadas para la caracterización de la temperatura en el área de estudio.

#### 5.1.6.9. Complementación de vacíos

##### 5.1.6.9.1. Registros de precipitación

Para realizar la complementación de la información a nivel diario desde el año 1975 hasta el año 2019 se utilizó el método de la distancia inversa de los cuadrados, el cual estima la precipitación de la estación a complementar a partir de las estaciones más cercanas, dando diferente peso a cada una de las estaciones de referencia según la distancia hasta la estación a complementar. Es decir, a mayor distancia menor será el peso de la estación. Ecuación 9.

$$Px = \frac{\frac{P_1}{d_{1-x}^2} + \frac{P_2}{d_{2-x}^2} + \frac{P_n}{d_{n-x}^2}}{\frac{1}{d_{1-x}^2} + \frac{1}{d_{2-x}^2} + \frac{1}{d_{n-x}^2}}$$

Ecuación 9. Complementación distancia inversa de los cuadrados.

Fuente: SENAMHI. Análisis comparativo de métodos de interpolación espacial para la elaboración de mapas climáticos de precipitación. (2014).

Donde:

Px es la precipitación diaria a complementar en mm

P1, P2, Pn, es la precipitación conocida en las estaciones cercanas según el peso asignado en función de la distancia en mm

d1, d2, dn, es la distancia entre la estación a complementar y las estaciones de referencia en km

Con la anterior metodología se realizó la complementación de vacíos de las series de precipitación diaria a partir de los registros de las 31 estaciones identificadas en la zona (Anexo D4 - Hidrología/D.4.4 Complementación registros precipitación).

En la Tabla 51 se presenta la distancia entre las estaciones de precipitación utilizadas para la complementación de vacíos.

Tabla 51. Distancia entre estaciones de precipitación en km.

No. Estación	Estación a complementar	Estaciones que complementan		
1	Alcalá	Apto. Matecaña	Obando	El Recuerdo
		16,35	22,17	32,01
2	Apto. A. Bonilla	Ing. La Quinta	Vijes	Guacarí
		13,95	18,53	26,52
3	Apto. Matecana	Alcalá	El Recuerdo	Villa Nueva
		16,35	16,22	37,58
4	Barragán	Pto. Frazadas	El Placer	Cumbarco
		12,09	29,12	17,91
5	Bella Vista	Bolo Banco	Barragan	Cajones
		23,328	46,132	47,473
6	Bolo Blanco	Cajones	El Paraiso	Florida
		24,15	28,59	22,6
7	Buenos Aires	Santa Ines	Guacarí	Las Juntas
		29,42	15,03	31,03
8	Cajones	Bolo Banco	Hda El Espejo	Florida
		24,15	29,49	15,65
9	Centro Admo. La Unión	Obando	Corozal	Hda. Lucerna
		12,44	21,61	35,29
10	Corozal	Obando	Hda. Lucerna	Naranjal
		21,3	32,48	48,88
11	Cumbarco	Pijao	Pto. Frazadas	Barragan
		21,51	23,11	17,91
12	El Paraiso	Guacarí	Apto. A. Bonilla	Ing. La Quinta
		19,83	24,24	30,42
13	El Placer	Las Juntas	Pto. Frazadas	Barragan
		13,74	22,68	29,12
14	El Recuerdo	Villa Nueva	Apto. Matecaña	Alcalá



No. Estación	Estación a complementar	Estaciones que complementan		
		32,94	16,21	32,01
15	Florida	Ing. La Quinta	Hda El Espejo	Apto. A. Bonilla
		15,48	17,83	28,32
16	Guacarí	Vijes	Apto. A. Bonilla	El Paraiso
		13,44	26,52	19,83
17	Hda El Espejo	Florida	Ing. La Quinta	Apto. A. Bonilla
		17,83	14,42	26,51
18	Hda. Lucerna	Corozal	Naranjal	Cent. Admo. La Unión
		32,48	27,21	35,29
19	Ing. La Quinta	Apto. A. Bonilla	Florida	Hda El Espejo
		13,95	15,48	14,42
20	Las Juntas	El Placer	El Paraiso	Guacarí
		13,74	14,18	18,49
21	Naranjal	Hda. Lucerna	Corozal	Patumac
		27,21	48,88	29,22
22	Obando	Cent. Admo. La Unión	Corozal	Alcalá
		12,44	21,3	22,17
23	Papayal	El Recuerdo	Salento	Apto. A. Bonilla
		27,98	35,99	31,3
24	Patumac	Naranjal	Obando	Cent. Admo. La Unión
		29,22	26,23	15,15
25	Pijao	Cumbarco	Salento	Corozal
		21,51	36,86	24,48
26	Pto. Frazadas	Cumbarco	El Placer	Barragan
		23,11	22,68	12,09
27	Queremal	Santa Ines	Apto. A. Bonilla	Ing. La Quinta
		21,01	35,82	42,07
28	Salento	Pijao	Papayal	Alcalá
		36,86	35,99	24,51
29	Santa Inés	Queremal	Buenos Aires	Ing. La Quinta

No. Estación	Estación a complementar	Estaciones que complementan		
		21,01	29,42	32,09
30	Vijes	Guacarí	Apto. A. Bonilla	Ing. La Quinta
		13,44	18,53	32,46
31	Villa Nueva	El Recuerdo	Apto. Matecaña	Alcalá
		32,94	37,58	42,95

Los parámetros estadísticos iniciales no presentan variaciones significativas respecto a los parámetros estadísticos obtenidos después de la complementación. La variación presentada entre la serie de precipitación diaria registrada y la serie complementada está entre 0,01% y 3,72% para la media y 0,22% y 3,59% para la desviación estándar (Sin considerar la estación Ing La Quinta).

La estación Ing La Quinta presenta una variación de 21,48% para la media y 22,19% para la desviación estándar. Aunque la variación de los estadísticos supera el 10% se utilizaron los registros de esta estación dada la necesidad de contar con información en cercanías a la línea de transmisión en el municipio de Candelaria en el Valle del Cauca. La variación de los estadísticos para las 31 estaciones se presenta en la Tabla 52 y Tabla 53.

Tabla 52. Variación en los parámetros estadísticos - Media diaria. Periodo 1975 - 2019.

Estación	Media sin complementar	Media con complementación	% variación en la media
Alcalá	5,52	5,53	0,24
Apto. A. Bonilla	2,45	2,46	0,39
Apto. Matecaña	6,50	6,49	0,08
Barragán	2,76	2,86	3,72
Bella Vista	3,79	3,82	0,80
Bolo Blanco	4,17	4,24	1,58
Buenos Aires	4,15	4,14	0,30
Cajones	3,96	4,00	0,80
Centro Adm. La Unión	3,13	3,21	2,54
Corozal	4,86	4,80	1,22
Cumbarco	6,57	6,41	2,42
El Paraiso	4,42	4,37	1,19

Estación	Media sin complementar	Media con complementación	% variación en la media
El Placer	3,94	3,95	0,26
El Recuerdo	7,64	7,61	0,49
Florida	4,29	4,27	0,47
Guacarí	2,73	2,73	0,04
Hda El Espejo	3,83	3,81	0,38
Hda. Lucerna	3,20	3,21	0,01
Ing. La Quinta	2,86	3,48	21,48
Las Juntas	4,33	4,28	1,11
Naranjal	2,49	2,51	0,71
Obando	4,06	4,05	0,22
Papayal	5,37	5,32	0,84
Patumac	3,84	3,84	0,16
Pijao	6,38	6,30	1,38
Pto. Frazadas	5,19	5,22	0,51
Queremal	3,54	3,49	1,33
Salento	7,29	7,09	2,75
Santa Inés	3,09	3,13	1,54
Vijes	2,49	2,48	0,21
Villa Nueva	7,01	7,00	0,23

Tabla 53. Variación en los parámetros estadísticos - Desviación estándar. Periodo 1975 - 2019.

Estación	Desviación sin complementar	Desviación con complementación	% variación en la desviación
Alcalá	11,37	11,34	0,33
Apto. A. Bonilla	6,64	6,61	0,46
Apto. Matecaña	12,14	12,09	0,43
Barragán	5,81	6,00	3,14
Bella Vista	8,04	8,09	0,65

Estación	Desviación sin complementar	Desviación con complementación	% variación en la desviación
Bolo Blanco	7,99	7,93	0,76
Buenos Aires	9,39	9,36	0,33
Cajones	8,62	8,59	0,34
Centro Adm. La Unión	7,40	7,46	0,80
Corozal	11,39	11,18	1,78
Cumbarco	11,47	11,30	1,49
El Paraiso	11,03	10,93	0,93
El Placer	7,94	7,89	0,63
El Recuerdo	14,30	14,03	1,93
Florida	11,05	11,00	0,41
Guacarí	7,36	7,32	0,47
Hda El Espejo	10,19	10,16	0,34
Hda. Lucerna	8,71	8,56	1,75
Ing. La Quinta	8,96	6,97	22,19
Las Juntas	9,43	9,33	1,11
Naranjal	6,61	6,50	1,69
Obando	9,39	9,35	0,45
Papayal	9,23	9,19	0,48
Patumac	7,89	7,87	0,23
Pijao	12,90	12,66	1,88
Pto. Frazadas	10,89	10,87	0,22
Queremal	7,89	7,73	2,02
Salento	15,49	14,94	3,59
Santa Inés	7,44	7,34	1,36
Vijes	6,67	6,62	0,72
Villa Nueva	11,95	11,87	0,65

A las series de precipitación obtenidas una vez realizado el ejercicio de complementación, se les realizaron las pruebas de tendencia presentadas en el numeral [5.1.6.8.2.6.](#) Los

---

resultados obtenidos permiten concluir que los registros complementados de las estaciones evaluadas presentan una buena calidad en los datos al no presentar tendencia, al ser las varianzas iguales y al cumplir con las pruebas de estabilidad en la media. A partir de los resultados anteriores, se utilizaron los registros de las 31 estaciones analizadas para la caracterización de la precipitación en el área de estudio.

Los resultados de las pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario de los registros de precipitación complementados se resumen en la Tabla 54.

Tabla 54. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones climatológicas con registros de precipitación.

Pruebas		Tendencia		Varianza	Media	
Estación	Test	Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall-Wallis
Alcalá	p.value	0,363	0,365	0,457	0,230	0,233
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Apto. A. Bonilla	p.value	0,391	0,392	0,820	0,657	0,439
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Apto. Matecana	p.value	0,478	0,473	0,767	0,146	0,541
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Barragán	p.value	0,424	0,425	0,348	0,114	0,836
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Bella Vista	p.value	0,156	0,157	0,785	0,032	0,309
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Bolo Blanco	p.value	0,992	0,990	0,445	0,614	0,569
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Buenos Aires	p.value	0,533	0,530	0,341	0,428	0,328
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Cajones	p.value	0,549	0,552	0,948	0,658	0,816
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Cent. Admo. La Unión	p.value	0,057	0,057	0,809	0,271	0,385
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Corozal	p.value	0,782	0,782	0,928	0,899	0,389
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Cumbarco	p.value	0,152	0,152	0,618	0,174	0,435





Pruebas		Tendencia		Varianza	Media	
Estación	Test	Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall-Wallis
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Paraiso	p.value	0,883	0,883	0,917	0,617	0,379
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Placer	p.value	0,493	0,493	0,219	0,800	0,284
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Recuerdo	p.value	0,267	0,268	0,833	0,993	0,188
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Florida	p.value	0,651	0,652	0,543	0,269	0,146
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Guacarí	p.value	0,756	0,754	0,346	0,494	0,409
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Hda El Espejo	p.value	0,756	0,756	0,662	0,925	0,918
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Hda Lucerna	p.value	0,586	0,586	0,568	0,869	0,439
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Ing. La Quinta	p.value	0,443	0,447	0,216	0,777	0,273
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Las Juntas	p.value	0,991	0,990	0,634	0,996	0,764
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Naranjal	p.value	0,622	0,620	0,903	0,870	0,932
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Obando	p.value	0,100	0,100	0,637	0,347	0,452

Pruebas		Tendencia		Varianza	Media	
Estación	Test	Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall-Wallis
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Papayal	p.value	0,280	0,281	0,961	0,412	0,461
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Patumac	p.value	0,430	0,430	0,469	0,157	0,526
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Pijao	p.value	0,958	0,956	0,961	0,722	0,622
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Pto. Frazadas	p.value	0,893	0,894	0,268	0,050	0,578
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Queremal	p.value	0,775	0,778	0,426	0,701	0,575
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Salento	p.value	0,570	0,568	0,673	0,324	0,444
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Santa Inés	p.value	0,593	0,594	0,384	0,622	0,727
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Vijes	p.value	0,641	0,642	0,814	0,945	0,324
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Villa Nueva	p.value	0,429	0,432	0,379	0,714	0,098
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales

#### 5.1.6.9.2. Registros de caudal

La información disponible a nivel diario de las estaciones localizadas en el área de estudio (Amaime, Bolo Arriba, Buchitolo, Cartago, El Alambrado, El Placer, El Vergel, La Sorpresa, Los Minchos y Mateguadua) presentan vacíos de información en el periodo común de registro seleccionado (1975 - 2019) como se presenta en la Tabla 55.

Tabla 55. Estaciones de caudal con vacíos de información.

Estación	Corriente	Registros diarios	Registros faltantes (%)
Amaime	Amaime	12530	23,76
Bolo Arriba	Bolo	15346	6,63
Buchitolo	Fraile	12659	22,98
Cartago	La Vieja	15839	3,63
El Alambrado	La Vieja	14045	14,55
El Placer	Bugalagrande	14829	9,78
El Vergel	Guadalajara	13941	15,18
La Sorpresa	Paila	15898	3,27
Los Minchos	Bolo	8733	46,87
Mateguadua	Tuluá	13609	17,2
Registros diarios desde 1975 - 2019		16436	

Para complementar estos vacíos de información se establecieron correlaciones de caudales medios a nivel diario entre las estaciones considerando que estas estaciones se localizan en la misma vertiente.

Para medir el grado de correlación entre las estaciones, se utilizó el coeficiente de correlación que hace referencia a la relación que existe entre dos o más variables cuantitativas midiendo el grado de asociación o dependencia entre estas. En la Tabla 56 se presenta el rango de clasificación para el coeficiente de correlación desde malo hasta perfecto.

Tabla 56. Rango de coeficientes de correlación.

Coeficiente de correlación	
$R < 0,5$	Malo
$0,5 < R < 0,8$	Regular
$0,8 < R < 0,9$	Bueno
$0,9 < R < 1,0$	Excelente
$R = 1,0$	Perfecto

Fuente: Martínez B. Ciro. Estadística Básica Aplicada. (2011).

En la Tabla 57 se presenta la matriz de correlación para los caudales medios diarios de las estaciones hidrométricas analizadas.

Tabla 57. Matriz de correlación caudales medios diarios - Estaciones hidrométricas.

		Independiente (x)									
Estación		Bolo Arriba	Los Minchos	Amaimé	Buchitolo	El Vergel	Mateguadua	El Alambrado	Cartago	La Sorpresa	El Placer
Dependiente (y)	Bolo Arriba	1,00	0,56	0,67	0,62	0,41	0,58	0,59	0,66	0,43	0,57
	Los Minchos	0,56	1,00	0,43	0,60	0,35	0,57	0,56	0,58	0,40	0,44
	Amaimé	0,67	0,43	1,00	0,66	0,40	0,60	0,59	0,65	0,39	0,61
	Buchitolo	0,62	0,60	0,66	1,00	0,40	0,67	0,59	0,59	0,38	0,56
	El Vergel	0,41	0,35	0,40	0,40	1,00	0,46	0,44	0,46	0,38	0,40
	Mateguadua	0,58	0,57	0,60	0,67	0,46	1,00	0,67	0,67	0,49	0,66
	El Alambrado	0,59	0,56	0,59	0,59	0,44	0,67	1,00	0,90	0,55	0,70
	Cartago	0,66	0,58	0,65	0,59	0,46	0,67	0,90	1,00	0,63	0,74
	La Sorpresa	0,43	0,40	0,39	0,38	0,38	0,49	0,55	0,63	1,00	0,55
	El Placer	0,57	0,44	0,61	0,56	0,40	0,66	0,70	0,74	0,55	1,00

Nota: Las estaciones independientes resaltadas en amarillo fueron utilizadas para complementar la estación dependiente.

Los coeficientes de correlación más altos obtenidos van desde 0,46 clasificado como malo hasta 0,90 clasificado como excelente.

Se decidió realizar la complementación de las estaciones con las correlaciones encontradas, con el fin de establecer si la variación de los parámetros estadísticos es o no significativa de tal forma que se pueda aceptar la complementación de los datos con esta metodología.

Realizada la complementación de vacíos de las series hidrológicas se concluyó que estas no presentan variaciones significativas respecto a sus parámetros estadísticos iniciales como se presenta en la Tabla 58 y en la Tabla 59.

Tabla 58. Caudal medio diario de estaciones analizadas.

No. estación	Código	Estación	Media sin complementar	Media con complementación	% variación en la media
1	2607705	Bolo Arriba	5,49	5,35	2,64
2	2607711	Los Minchos	3,38	3,36	0,78
3	2609711	Amaime	7,18	6,87	4,25
4	2607706	Buchitolo	5,10	5,22	2,31
5	2609704	El Vergel	4,09	4,23	3,29
6	2610713	Mateguadua	15,86	16,10	1,52
7	2612701	El Alambrado	54,74	58,08	6,09
8	2612704	Cartago	97,04	96,80	0,25
9	2614500402	La Sorpresa	5,03	5,06	0,58
10	2614400403	El Placer	15,90	16,24	2,15

Tabla 59. Desviación estándar de caudal medio diario estaciones analizadas.

No. estación	Código	Estación	Desviación sin complementar	Desviación con complementación	% variación en la desviación
1	2607705	Bolo Arriba	6,76	6,59	2,50
2	2607711	Los Minchos	1,98	1,58	20,32
3	2609711	Amaime	10,59	9,58	9,55
4	2607706	Buchitolo	4,42	4,36	1,51
5	2609704	El Vergel	3,72	3,62	2,60
6	2610713	Mateguadua	10,77	10,40	3,37
7	2612701	El Alambrado	46,18	50,55	9,45
8	2612704	Cartago	83,85	83,58	0,31
9	2614500402	La Sorpresa	7,45	7,40	0,77
10	2614400403	El Placer	12,46	12,41	0,38

---

La variación máxima presentada entre la serie de caudales medios diarios registrada y la serie complementada (Sin considerar la estación Los Minchos) es 6,09% para la media y 9,55% para la desviación estándar, dado que las variaciones son inferiores al 10% se utilizaron las series de caudales complementadas para el análisis de caudales de las cuencas identificadas.

La estación Los Minchos presenta una variación de 0,78% para la media y 20,32% para la desviación estándar. Aunque la variación de la desviación estándar supera el 10% se utilizaron los registros de esta estación al no presentarse un cambio significativo en el valor medio.

En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales, se presentan las correlaciones encontradas y el ejercicio de complementación para las estaciones analizadas.

A las series de caudal obtenidas una vez realizado el ejercicio de complementación, se les realizaron las pruebas de tendencia presentadas en el numeral [5.1.6.8.2.6](#). Los resultados obtenidos permiten concluir que los registros complementados de las estaciones evaluadas presentan una buena calidad en los datos al no presentar tendencia, al ser las varianzas iguales y al cumplir con las pruebas de estabilidad en la media (Tabla 60). A partir de los resultados anteriores, se utilizaron los registros de las 10 estaciones hidrométricas para la caracterización hidrológica en el área de estudio.



Tabla 60. Resumen de pruebas estadísticas para comprobar el carácter estacionario en las estaciones hidrométricas.

Pruebas		Tendencia		Varianza	Media	
Estación	Test	Sperman	Kendall	Siegel Turkey	Mann Whitney	Kruskall-Wallis
Amaime	p.value	0,210	0,209	0,623	0,078	0,677
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Bolo Arriba	p.value	0,886	0,885	0,727	0,406	0,121
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Buchitolo	p.value	0,124	0,123	0,626	0,387	0,691
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Cartago	p.value	0,180	0,180	0,400	0,493	0,608
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Alambrado	p.value	0,096	0,949	0,508	0,392	0,711
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Placer	p.value	0,448	0,447	0,477	0,239	0,535
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
El Vergel	p.value	0,019	0,019	0,026	0,108	0,752
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
La Sorpresa	p.value	0,091	0,091	0,183	0,232	0,414
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Los Minchos	p.value	0,284	0,289	0,238	0,326	0,423
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales
Mateguadua	p.value	0,214	0,209	0,121	0,179	0,429
	Resultado	No hay tendencia	No hay tendencia	Varianzas iguales	Medias iguales	Medias iguales

## 5.1.6.10. Caracterización climatológica

### 5.1.6.10.1. Precipitación

#### 5.1.6.10.1.1. Distribución temporal

Complementados los registros de precipitación de las 31 estaciones analizadas se determinó la precipitación total promedio multianual para el periodo entre 1975 a 2019; con estos datos se caracterizó el régimen de precipitación y se construyeron las isoyetas a nivel mensual y anual para la zona de estudio.

En la Figura 70 se observa que el régimen anual de lluvias presenta un comportamiento de tipo bimodal, con periodos secos predominantes entre diciembre - febrero y junio - agosto y períodos húmedos predominantes entre marzo - mayo y septiembre - noviembre.

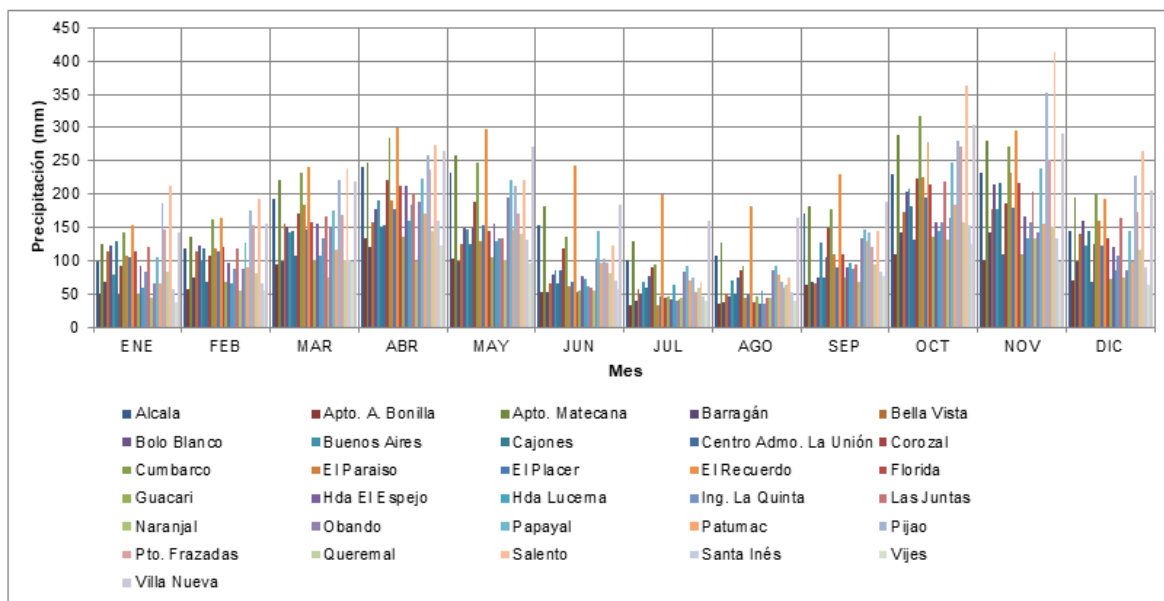


Figura 70. Distribución temporal de la precipitación total mensual en las estaciones analizadas. Periodo 1975-2019.

El mes más húmedo es octubre con un promedio de 204 mm, y el mes más seco es agosto con un promedio de 68 mm; la precipitación media mensual multianual oscila en 134 mm y el promedio de la precipitación total multianual es 1605 mm.



---

En la Tabla 61 se presentan los valores totales promedio de la precipitación mensual multianual de las 31 estaciones analizadas (Anexo D4 - Hidrología/D.4.4 Complementación registros precipitación).

Tabla 61. Precipitación total mensual multianual en mm en las estaciones analizadas. Periodo 1975-2019.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	TOTAL
Alcalá	98	118	193	242	233	153	102	106	170	229	233	144	168	2021
Apto. A. Bonilla	51	57	94	133	103	52	33	36	64	110	100	69	75	901
Apto. Matecana	126	136	220	247	258	182	128	128	182	289	280	194	198	2371
Barragán	68	74	99	120	98	52	39	37	69	143	143	98	87	1040
Bella Vista	113	114	156	158	124	65	58	51	66	174	178	141	117	1399
Bolo Blanco	122	122	151	177	148	80	50	46	75	204	215	160	129	1550
Buenos Aires	79	98	142	189	148	86	67	69	126	208	177	123	126	1513
Cajones	129	119	144	152	125	67	60	50	74	181	218	145	122	1462
Centro Admo. La Unión	49	67	107	153	149	85	78	74	105	132	109	67	98	1175
Corozal	91	107	171	220	188	118	89	86	148	224	187	126	146	1756
Cumbarco	142	162	233	284	249	137	94	93	178	317	272	199	197	2358
El Paraiso	108	118	184	191	128	61	34	44	110	225	233	160	133	1596
El Placer	106	113	147	177	153	69	46	48	90	194	179	123	120	1444
El Recuerdo	153	164	241	300	298	244	199	182	230	279	296	193	231	2778
Florida	115	120	157	213	144	53	43	38	110	215	217	133	130	1559
Guacarí	50	68	102	136	105	55	46	45	75	137	111	72	83	1001
Hda El Espejo	92	95	155	211	155	76	42	35	89	157	167	121	116	1396
Hda Lucerna	59	66	107	160	128	73	64	55	96	145	133	85	98	1172
Ing. La Quinta	84	89	135	184	134	61	39	36	87	158	159	107	106	1271
Las Juntas	120	119	166	200	134	58	41	44	95	220	203	163	130	1563
Naranjal	44	55	75	98	100	54	43	43	68	131	133	74	77	918

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	TOTAL
Obando	66	88	149	189	195	103	83	85	133	165	141	86	124	1483
Papayal	105	127	175	224	222	146	93	91	147	247	238	144	163	1959
Patumac	66	89	116	170	148	97	71	78	130	185	155	98	117	1403
Pijao	186	176	222	258	212	102	75	68	141	281	351	227	192	2299
Pto. Frazadas	147	154	168	237	171	97	53	59	120	271	252	172	159	1903
Queremal	83	82	101	144	141	82	59	63	94	158	152	117	106	1275
Salento	213	193	238	274	221	122	69	75	144	364	413	264	216	2591
Santa Inés	58	65	102	160	131	70	46	53	84	153	134	90	95	1145
Vijes	38	55	99	122	96	57	40	39	76	125	99	63	76	910
Villa Nueva	143	156	219	264	272	184	160	163	188	304	292	206	213	2552
Promedio	100	109	154	193	165	95	69	68	115	204	199	134	134	1605

Nota: El valor resaltado en azul corresponde al mes más seco y el valor resaltado en amarillo corresponde al mes mas humedo.

#### 5.1.6.10.1.2. Distribución espacial

Se realizó la distribución espacial de la precipitación a nivel mensual multianual y anual con el método de Kriging y el software Surfer, la distribución espacial se presenta desde la Figura 71 hasta la Figura 83.

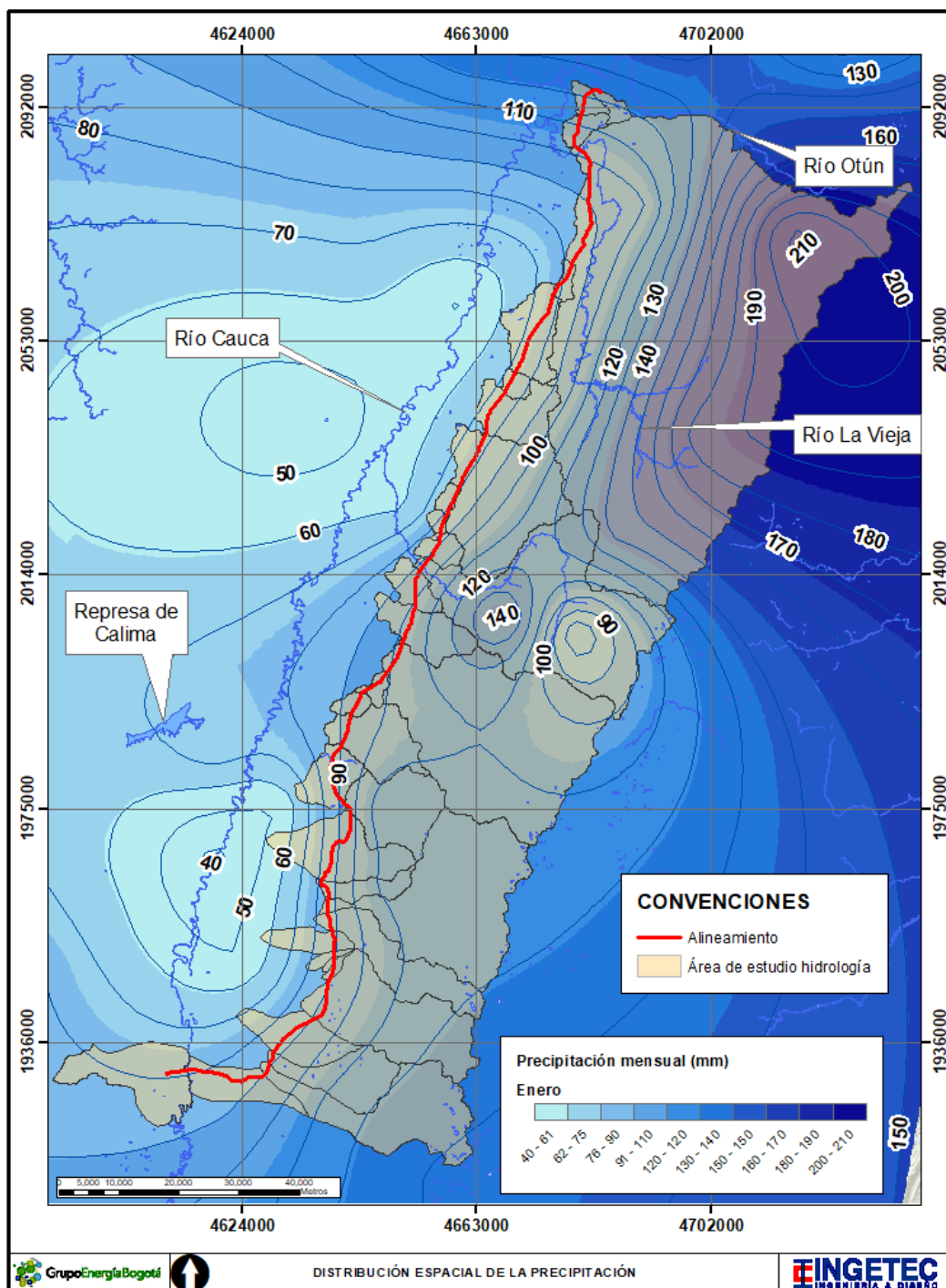


Figura 71. Distribución espacial de la precipitación total en enero.



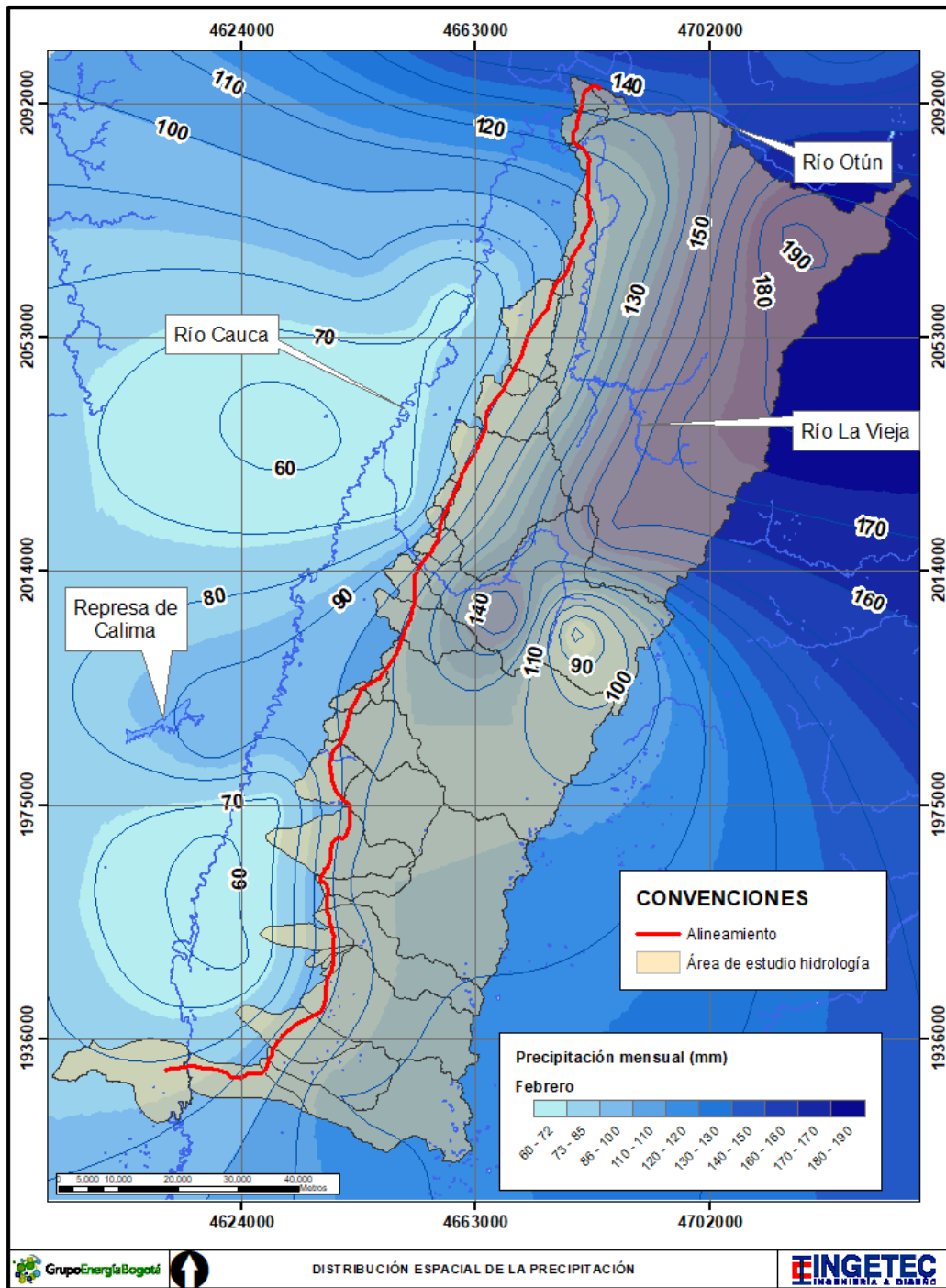


Figura 72. Distribución espacial de la precipitación total en febrero.

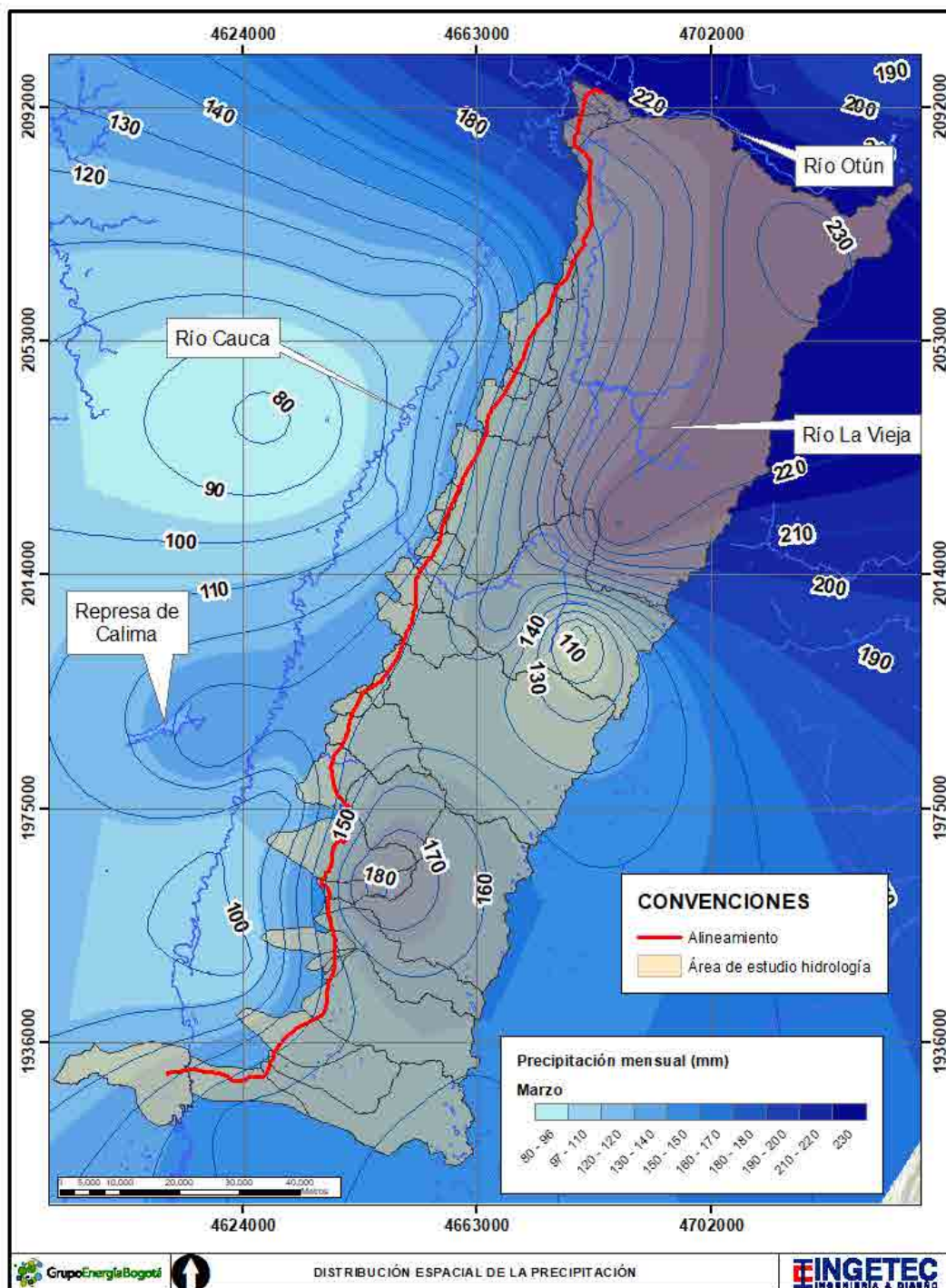


Figura 73. Distribución espacial de la precipitación total en marzo.

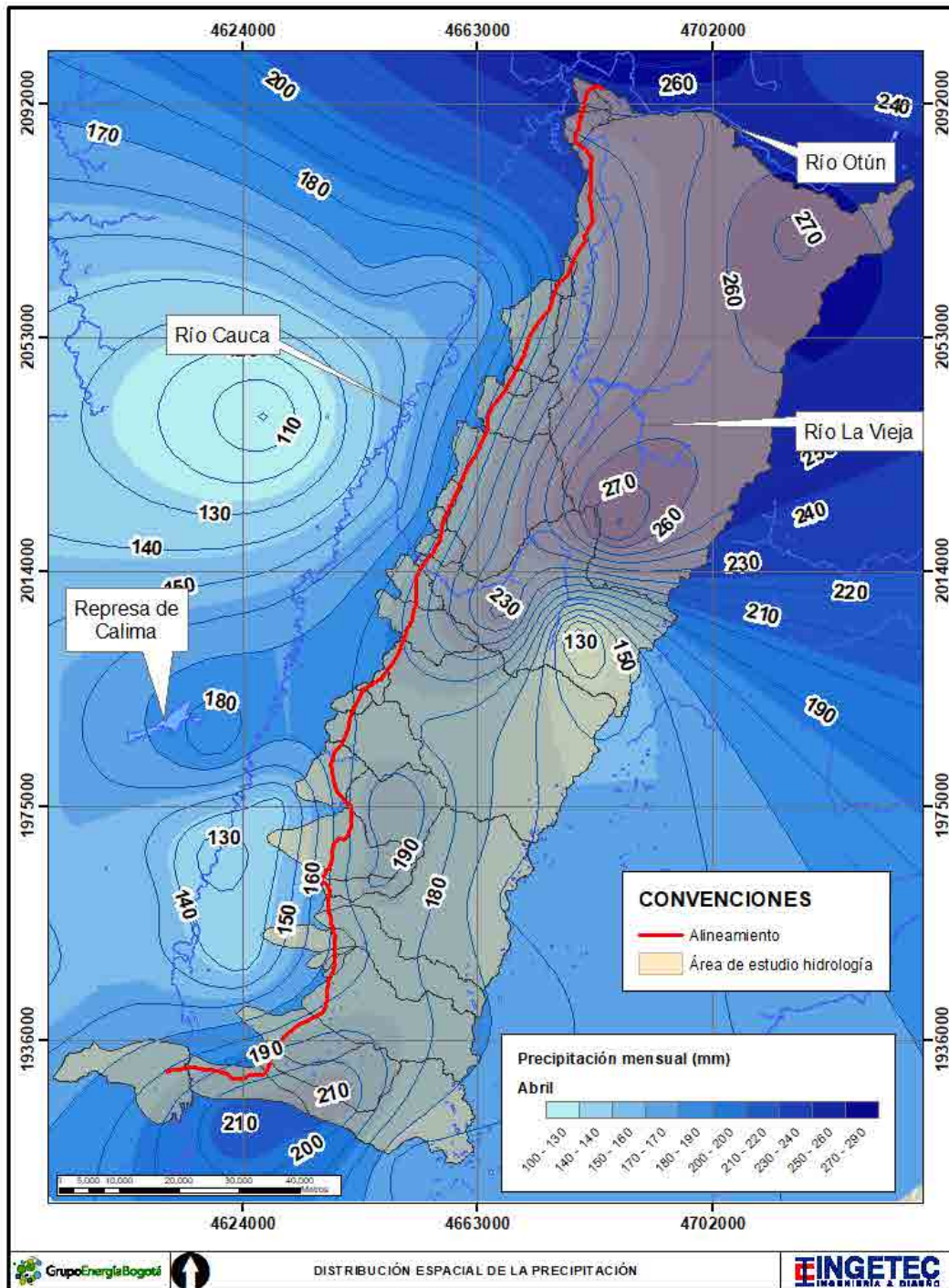


Figura 74. Distribución espacial de la precipitación total en abril.



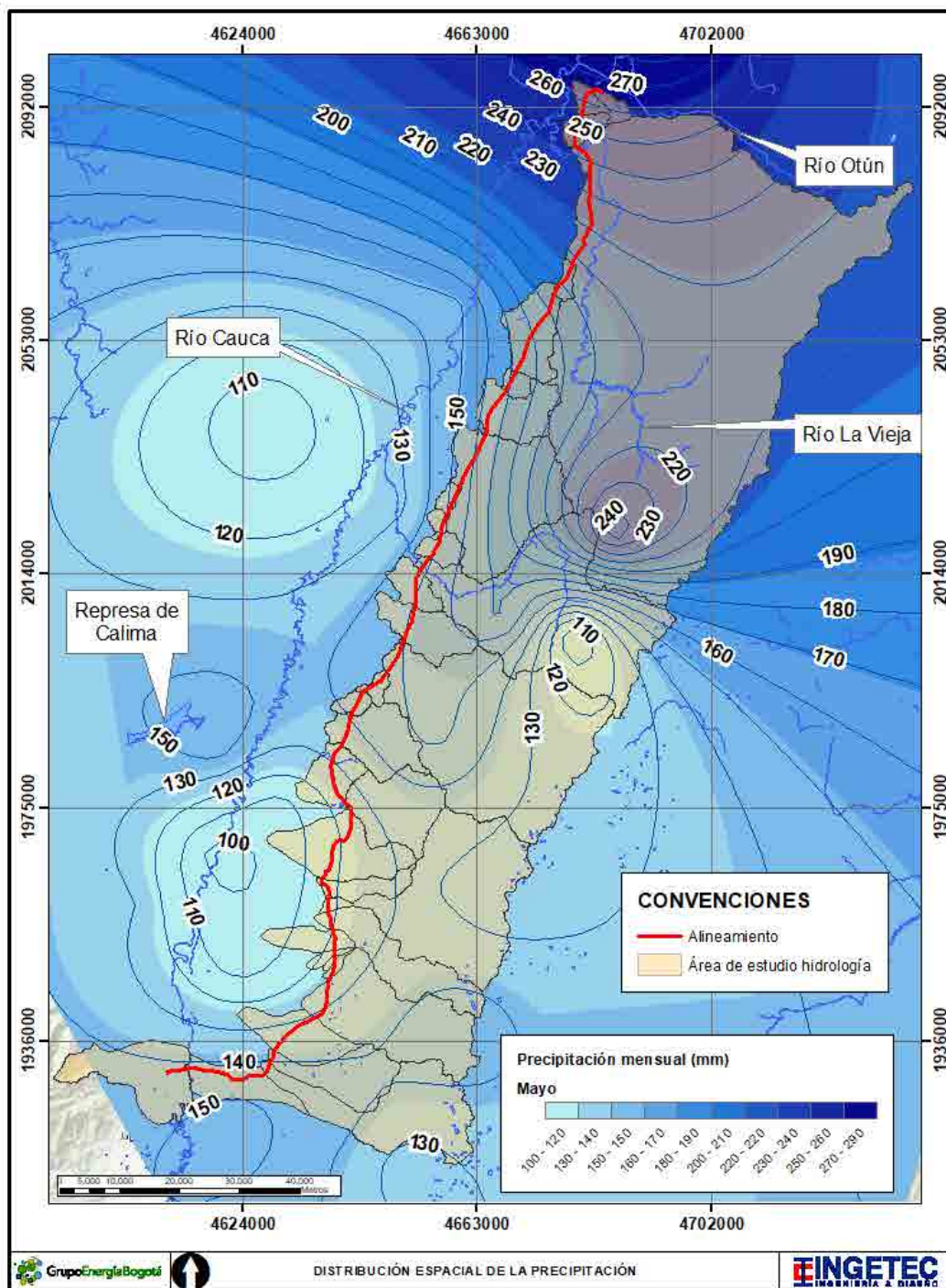


Figura 75. Distribución espacial de la precipitación total en mayo.

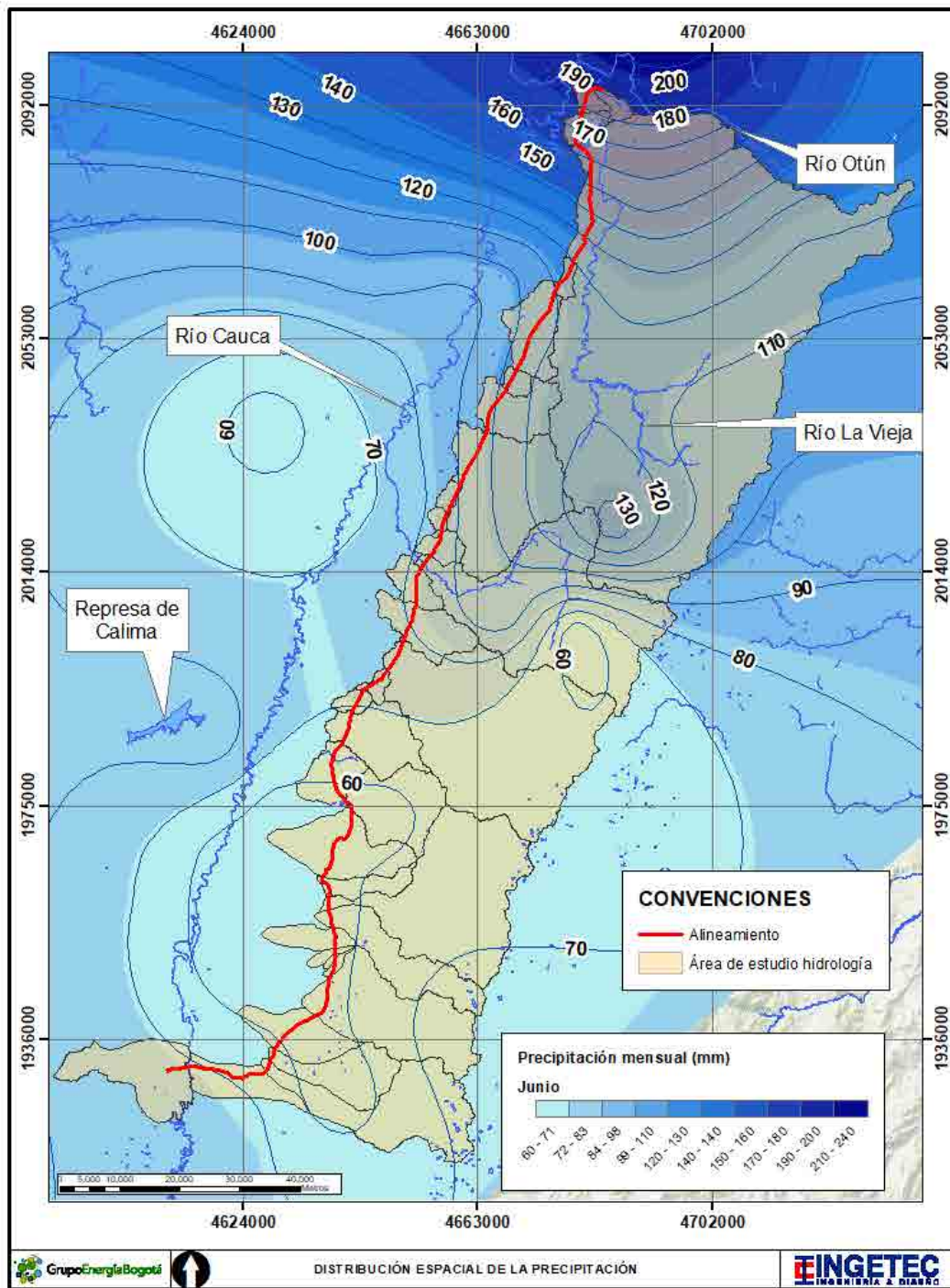


Figura 76. Distribución espacial de la precipitación total en junio.



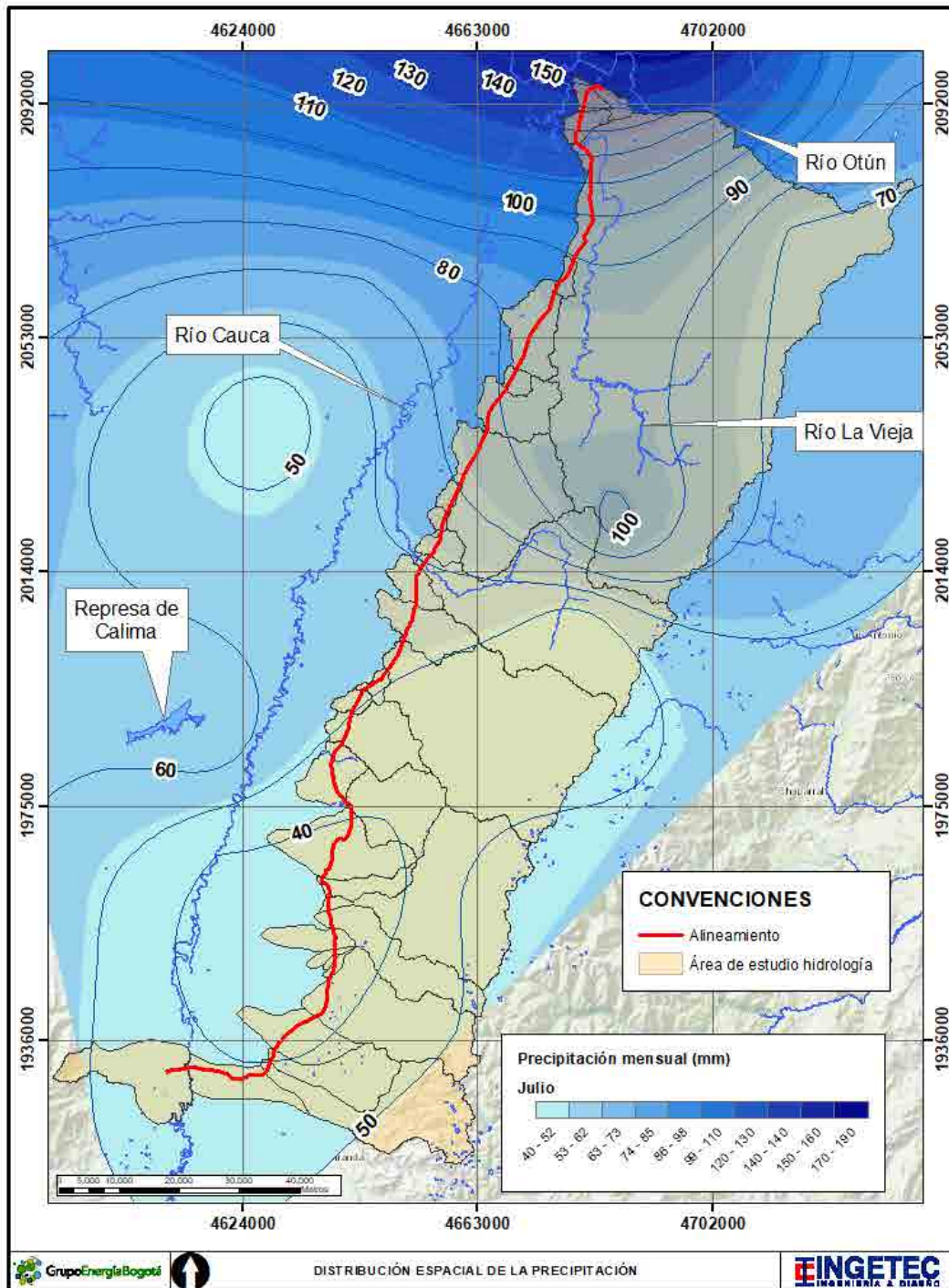


Figura 77. Distribución espacial de la precipitación total en julio.



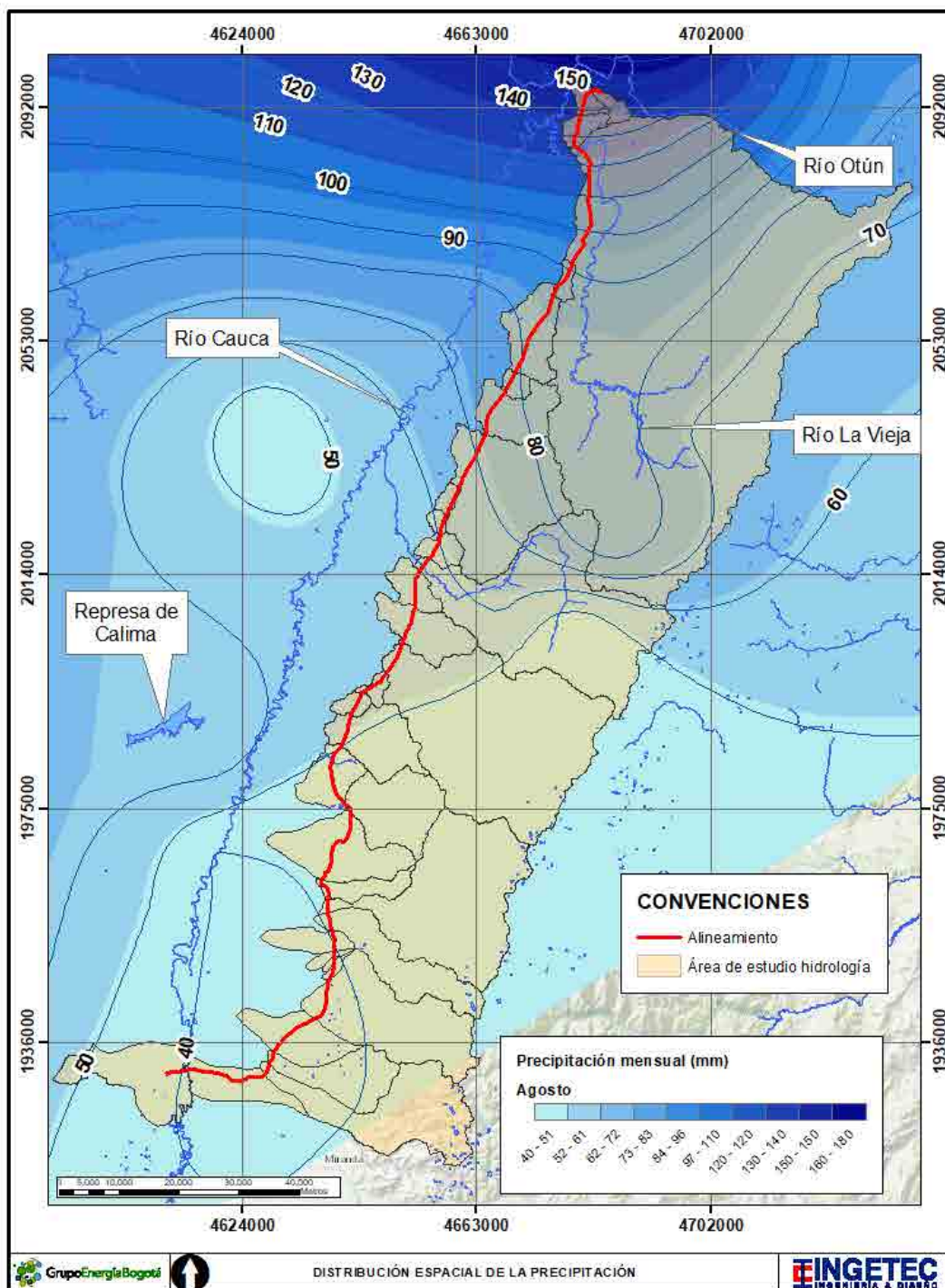


Figura 78. Distribución espacial de la precipitación total en agosto.

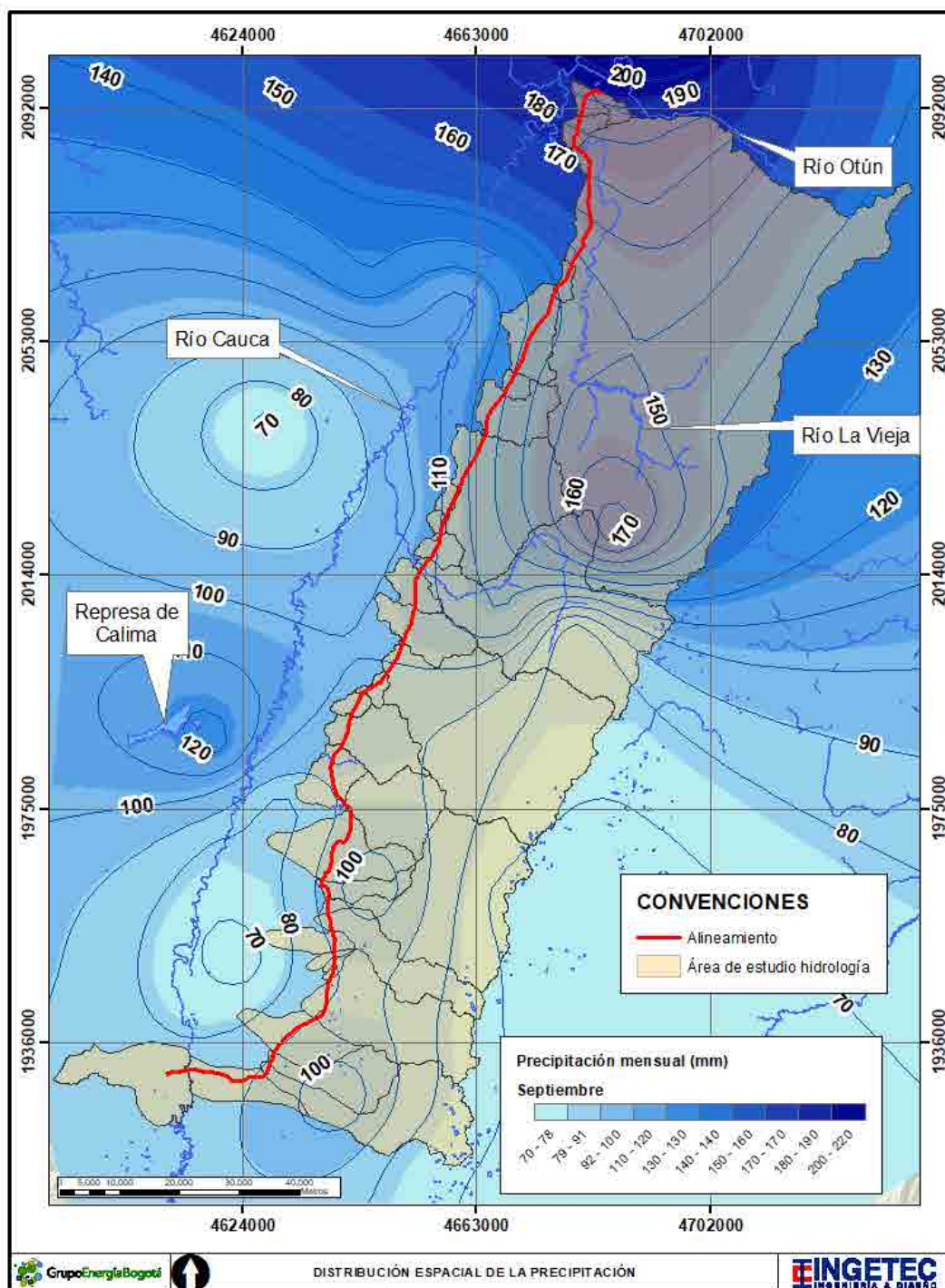


Figura 79. Distribución espacial de la precipitación total en septiembre.



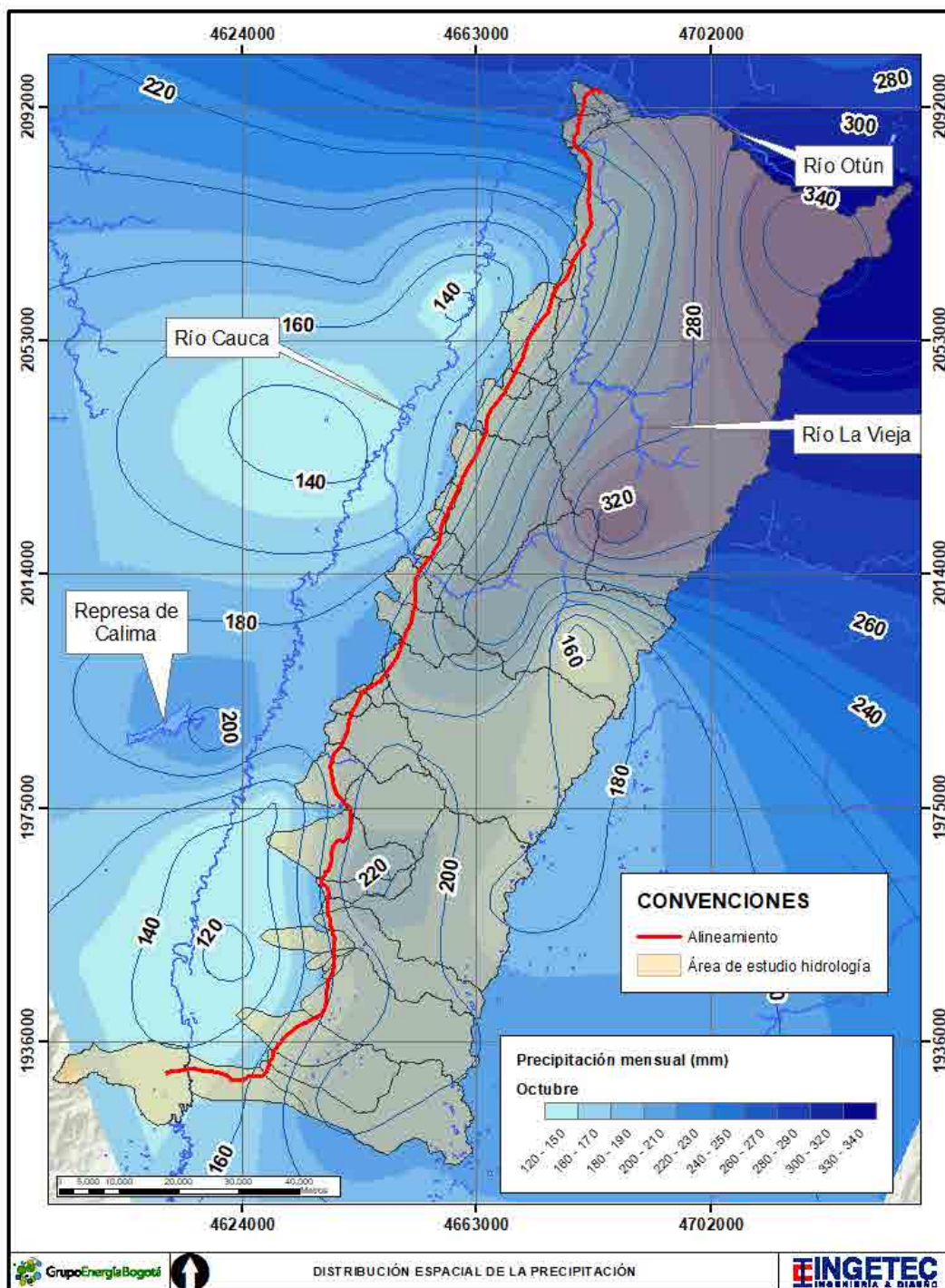


Figura 80. Distribución espacial de la precipitación total en octubre.

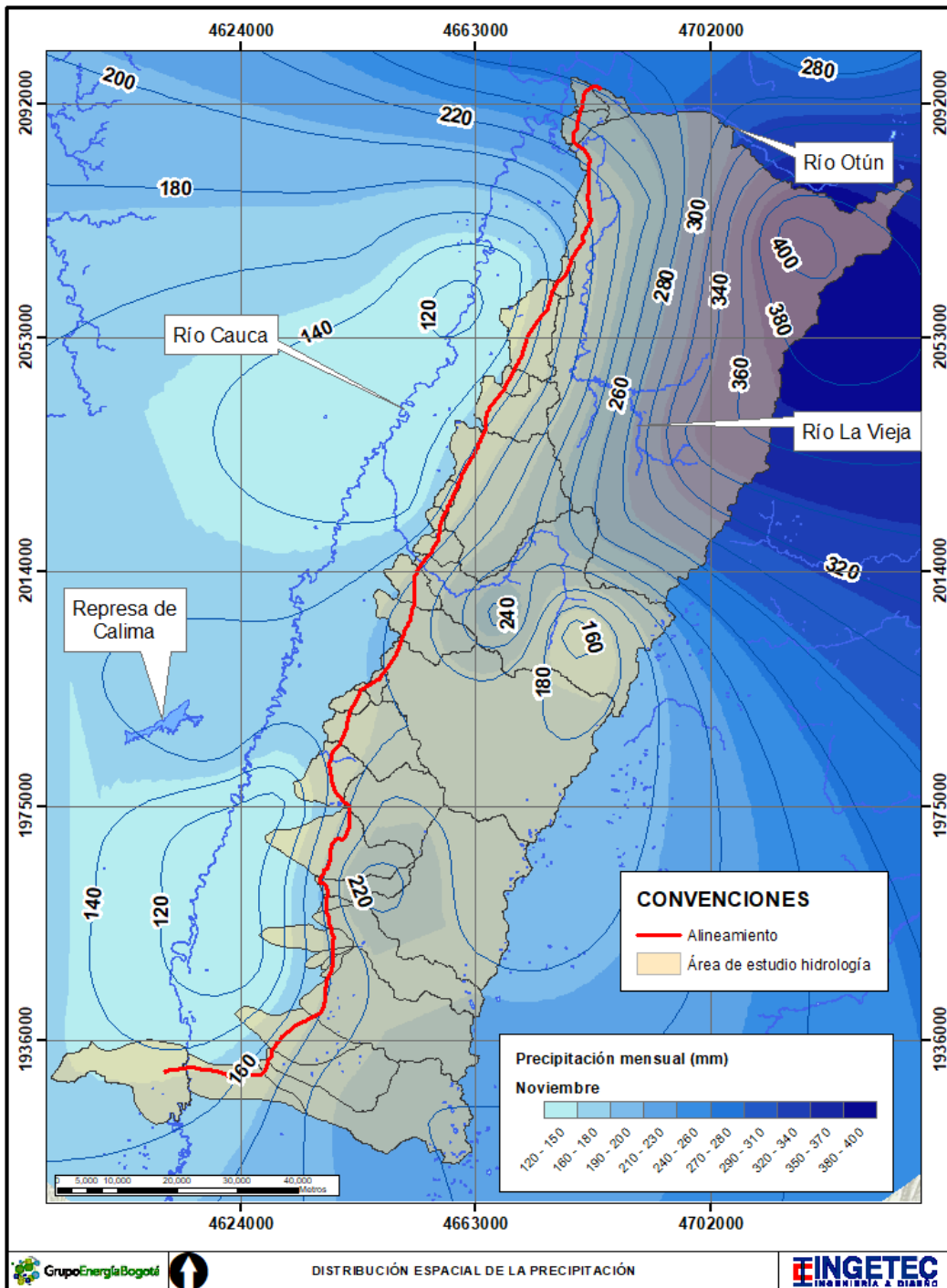


Figura 81. Distribución espacial de la precipitación total en noviembre.

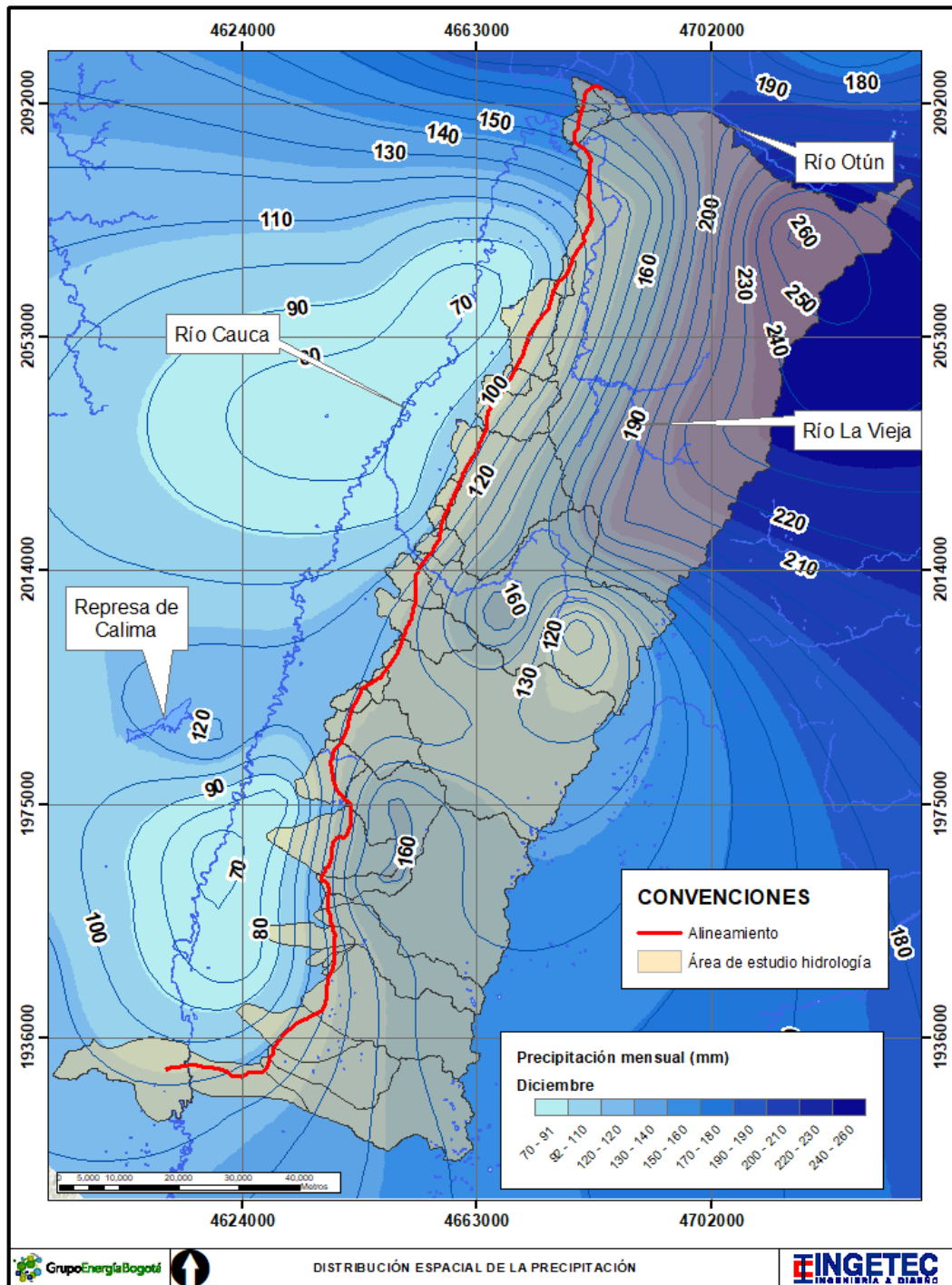


Figura 82. Distribución espacial de la precipitación total en diciembre.



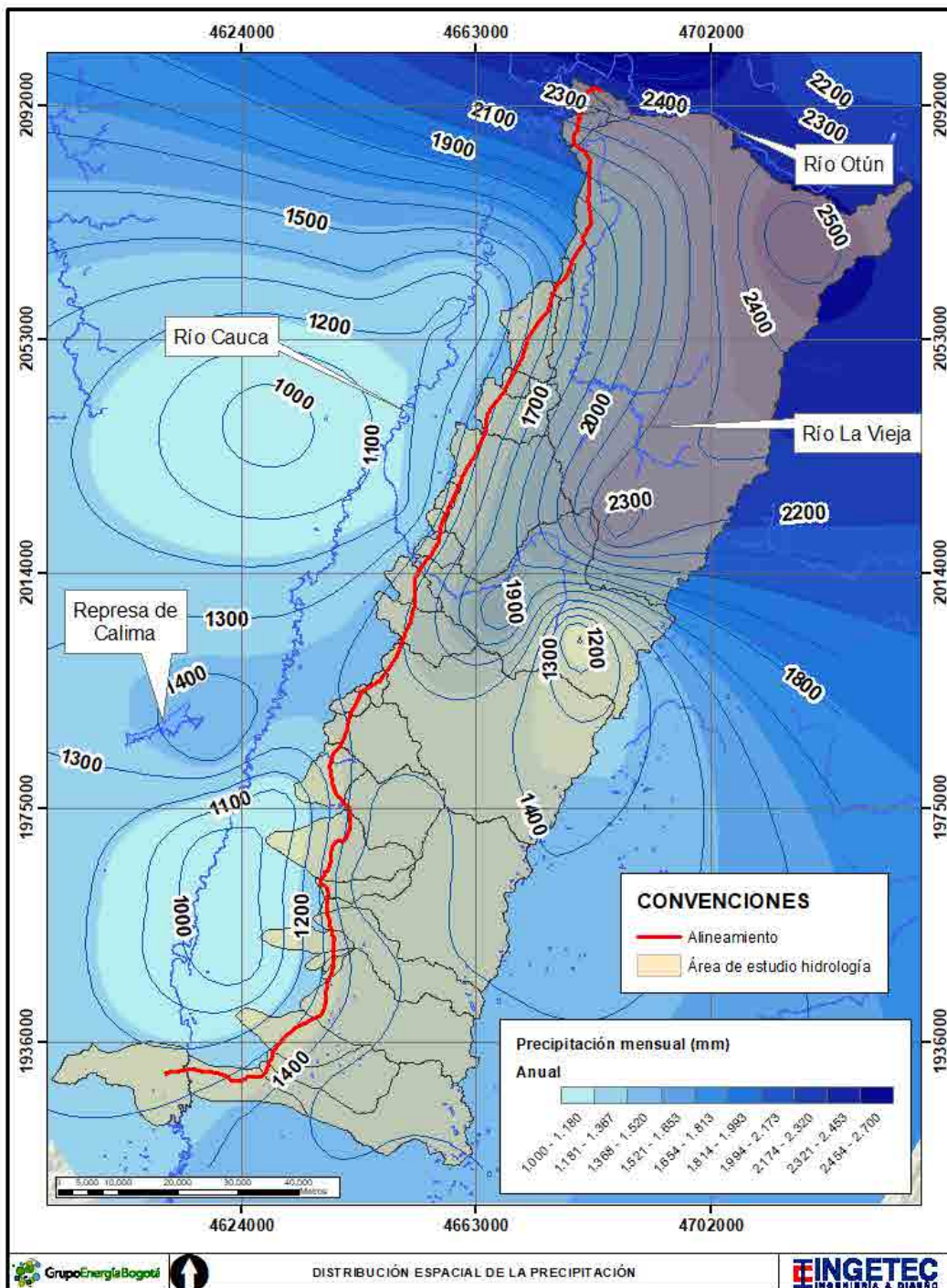


Figura 83. Distribución espacial de la precipitación total en anual.



### 5.1.6.10.2. Temperatura

#### 5.1.6.10.2.1. Temperatura media

Se analizaron los registros de temperatura media en 12 estaciones cercanas al área de influencia, encontrando que la temperatura se encuentra relacionada con la altitud a la cual se encuentran instaladas las estaciones de monitoreo. Se empleó el periodo 1996 – 2019 para definir en cada mes la relación existente entre la temperatura y la elevación del terreno. Los mapas de distribución de temperatura mensual para el área de estudio fueron construidos a partir de las curvas de elevación de la cartografía IGAC 100 000. En la Tabla 62 se presentan los promedios de temperatura media mensual multianual para cada estación analizada.

Tabla 62. Temperatura media mensual multianual (°C) en las estaciones cercanas al área de influencia.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Apto. A. Bonilla	24,11	24,51	24,24	23,50	23,62	23,92	23,98	24,69	24,39	23,90	23,78	23,92
Apto. Matecana	22,00	22,20	22,00	21,80	21,80	21,80	22,10	22,30	22,00	21,40	21,40	21,80
Barragán	12,10	12,20	12,30	12,40	12,60	12,40	12,20	12,20	12,30	11,90	11,80	12,00
La Bohemia	24,70	24,70	24,70	24,30	24,30	24,40	24,80	25,00	24,70	24,00	23,90	24,20
Cumbarco	19,30	19,30	19,10	19,10	19,20	19,40	19,70	19,80	19,50	18,90	18,80	19,00
Mateguadua	22,80	23,10	23,00	22,90	22,90	23,00	23,00	23,40	23,10	22,70	22,70	22,70
Palmira ICA	23,80	24,10	23,90	23,80	23,80	23,80	24,10	24,30	24,10	23,60	23,50	23,60
Riomanso	17,00	17,10	17,10	17,30	17,40	17,20	17,10	17,30	17,40	17,30	16,90	17,00
San José Palmar	20,80	21,00	21,20	21,40	21,60	21,50	21,50	21,60	21,40	21,00	20,80	20,90
San Marcos	23,50	23,60	23,60	23,50	23,30	23,20	23,40	23,70	23,70	23,20	23,10	23,20
San Antonio	21,40	21,50	21,50	21,40	21,50	21,60	21,80	22,10	22,20	21,30	20,80	21,10
Santa Isabel	12,50	12,60	12,70	13,10	13,40	13,40	13,30	13,20	13,10	12,80	12,70	12,80

En la Figura 68 se presenta el comportamiento mensual promedio de la temperatura media. La temperatura más baja se registró en la estación Barragan, localizada a una altitud de 3014 msnm y la temperatura más alta se registró en la estación La Bohemia, localizada a

una altura de 962 msnm. Las temperaturas más altas se registran en el mes de agosto y en general se observa poca variación a lo largo del año.

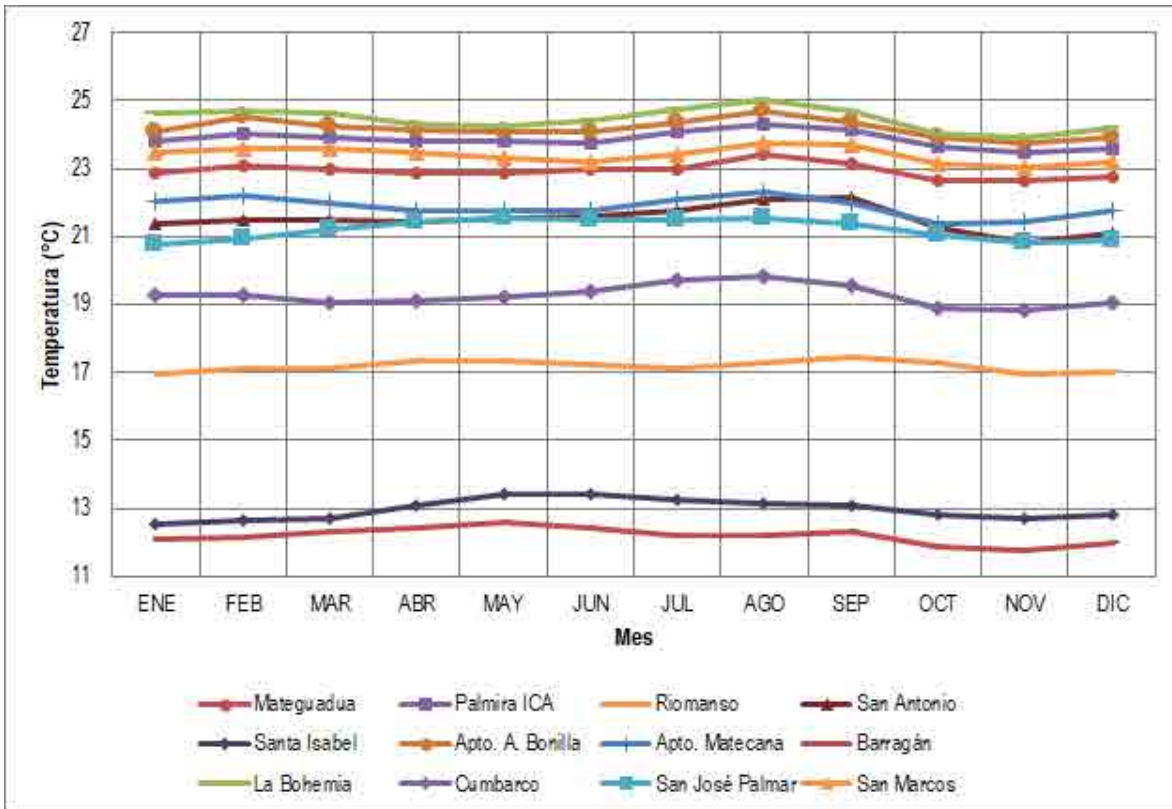
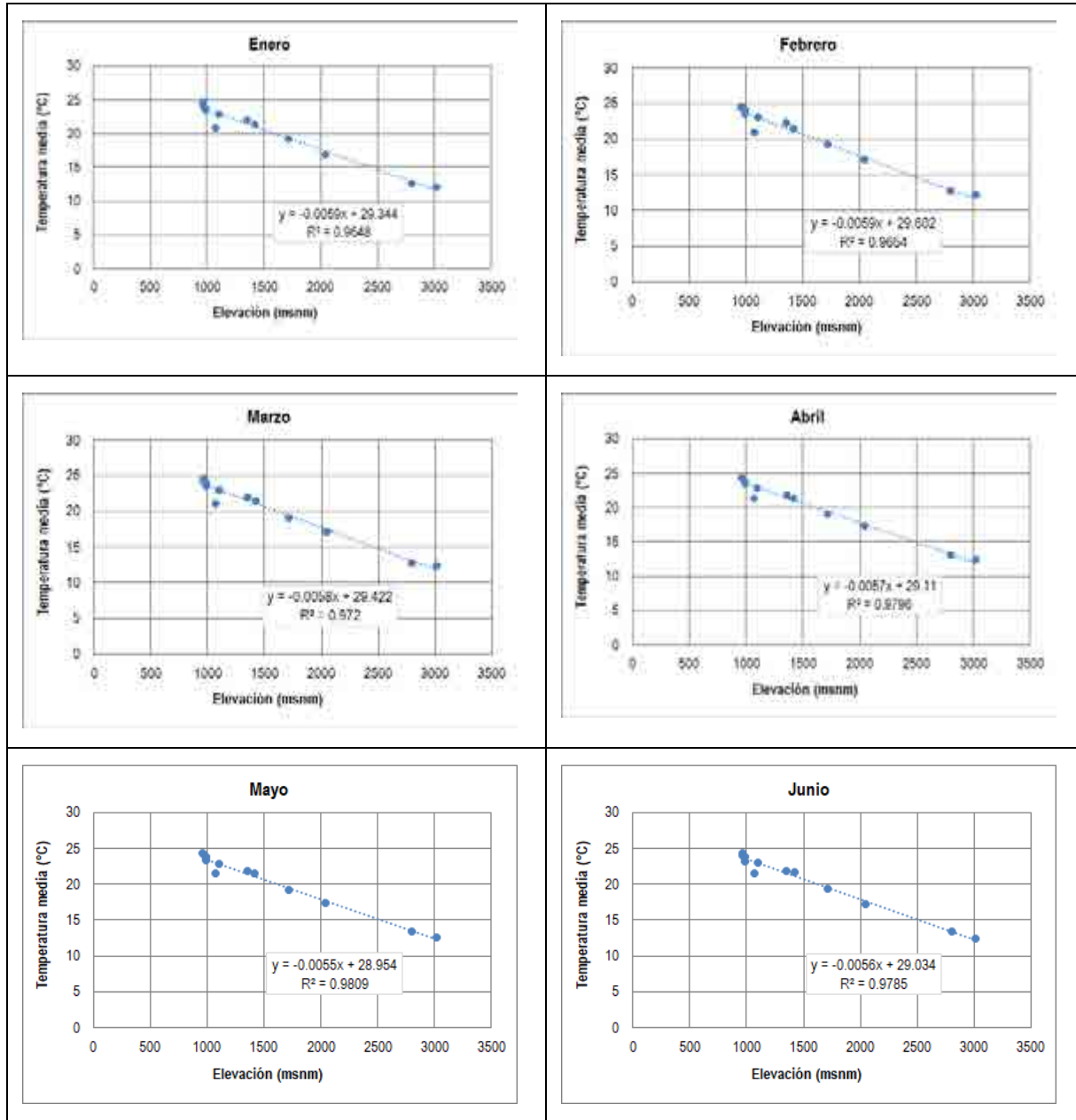


Figura 84. Variación mensual de la temperatura media en las estaciones.

En la Figura 85 se presentan las relaciones encontradas a nivel mensual con las cuales se construyeron los mapas de distribución espacial de la temperatura media para el área de estudio. La distribución espacial se presenta desde la Figura 87 hasta la Figura 99. (Anexo D4 - Hidrología/D.4.5 Variación espacial parámetros).



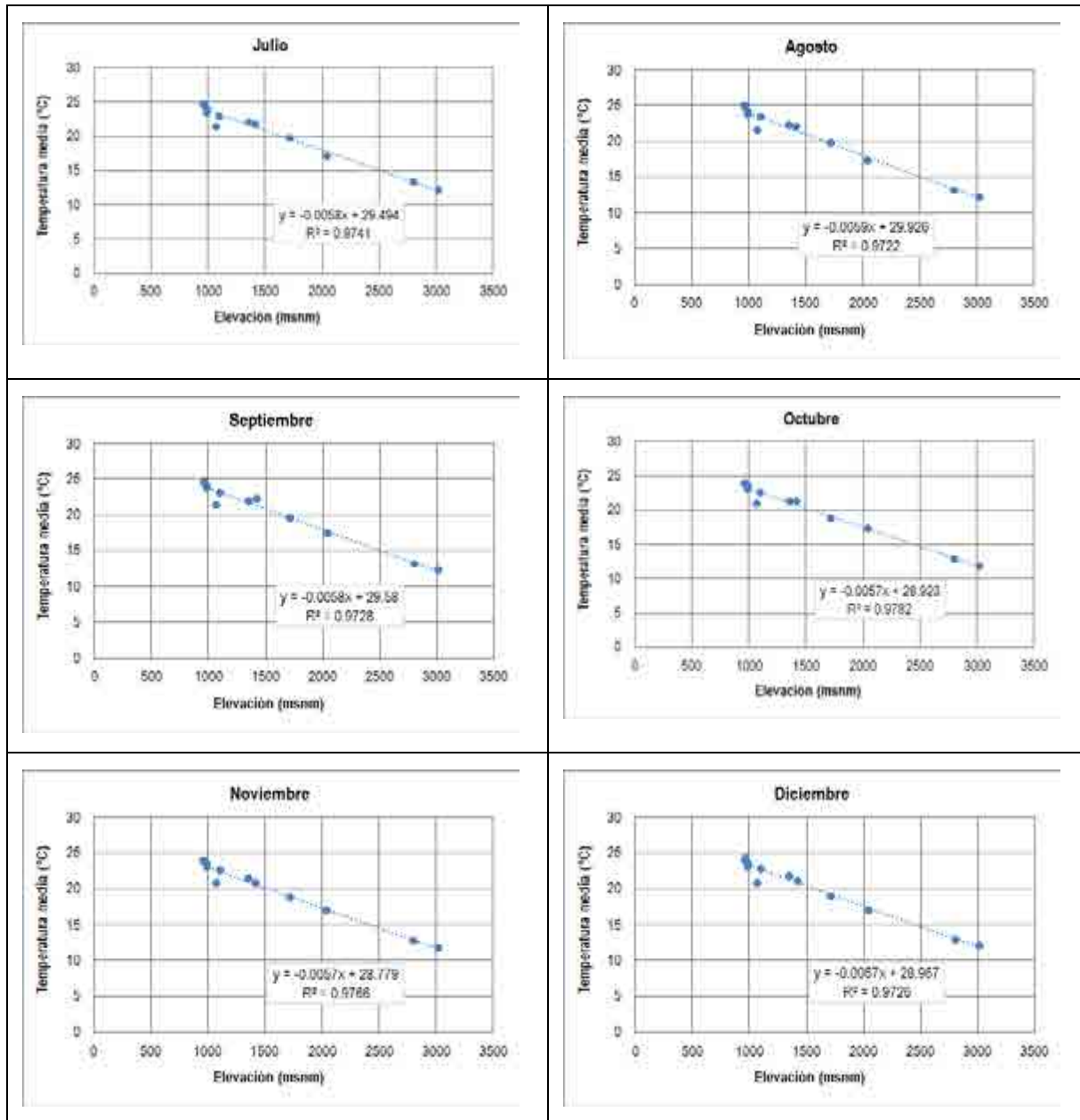


Figura 85. Relación entre la temperatura media y la elevación para cada mes.

A nivel anual se determinó la variación de la temperatura media en función de la elevación como se presenta en la Figura 86 obteniendo la distribución espacial de la Figura 99.

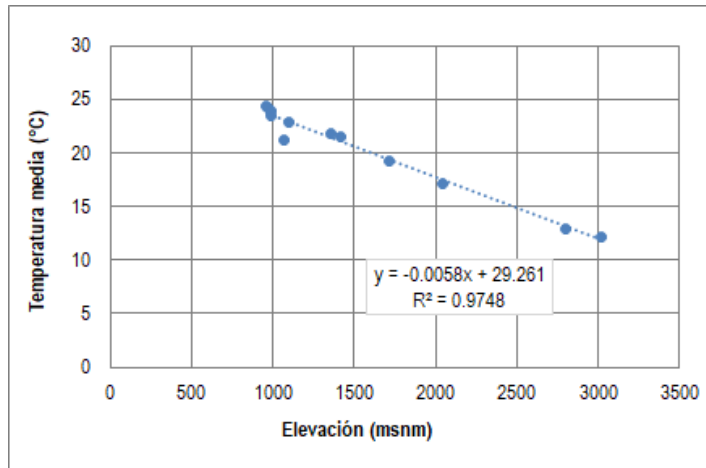


Figura 86. Relación entre la temperatura media anual y la elevación.

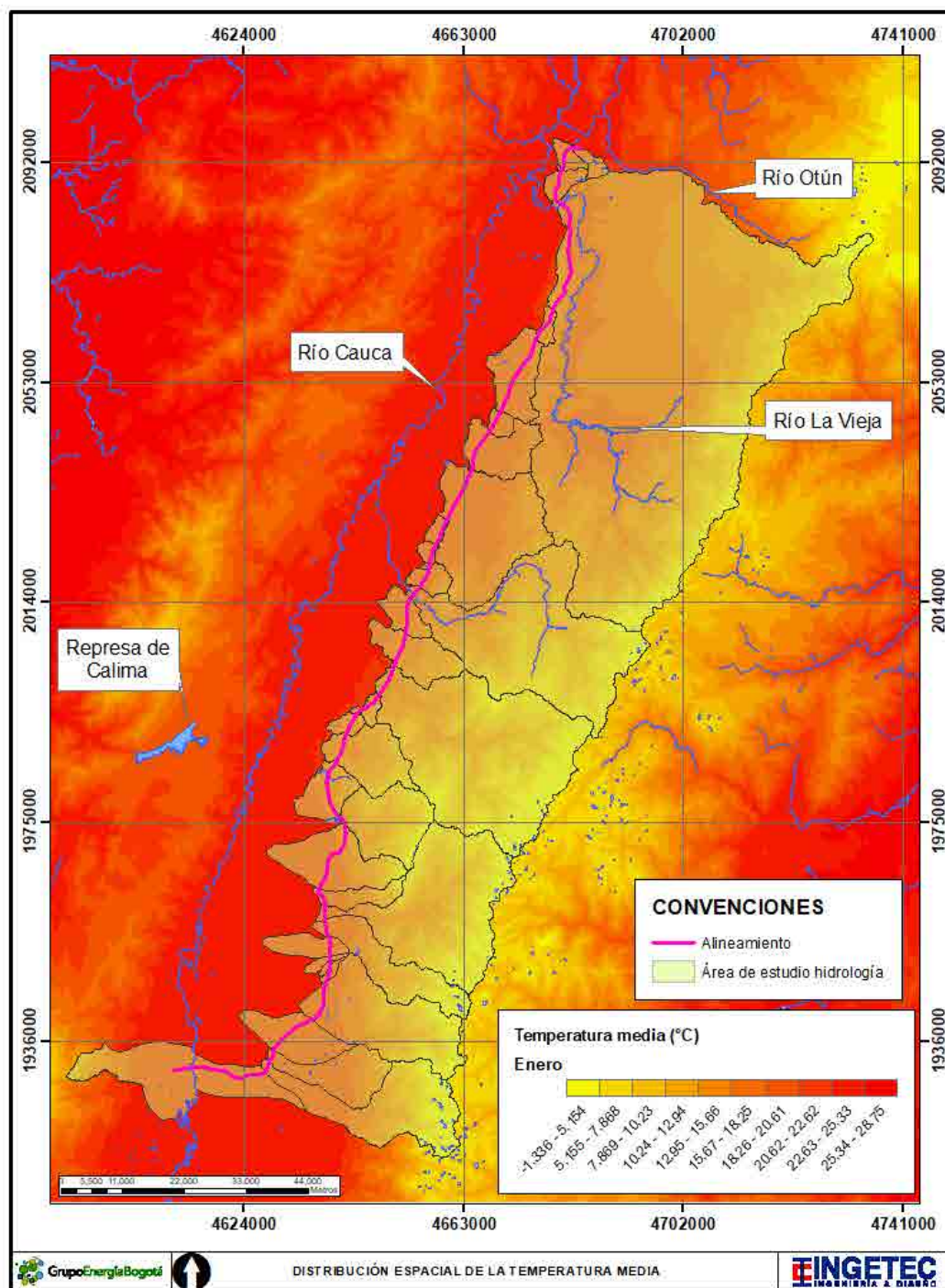


Figura 87. Distribución espacial de la temperatura media en enero.



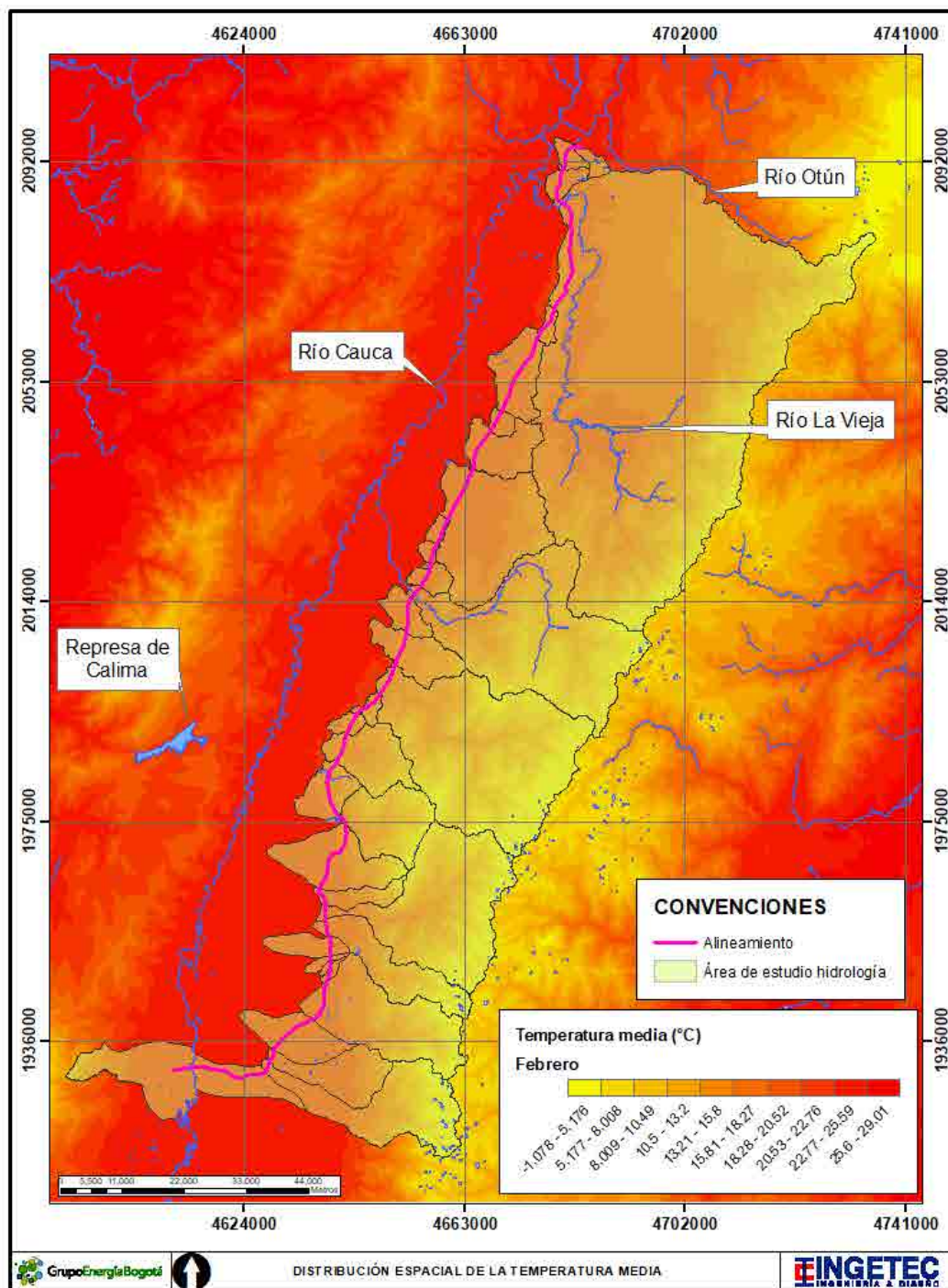


Figura 88. Distribución espacial de la temperatura media febrero.

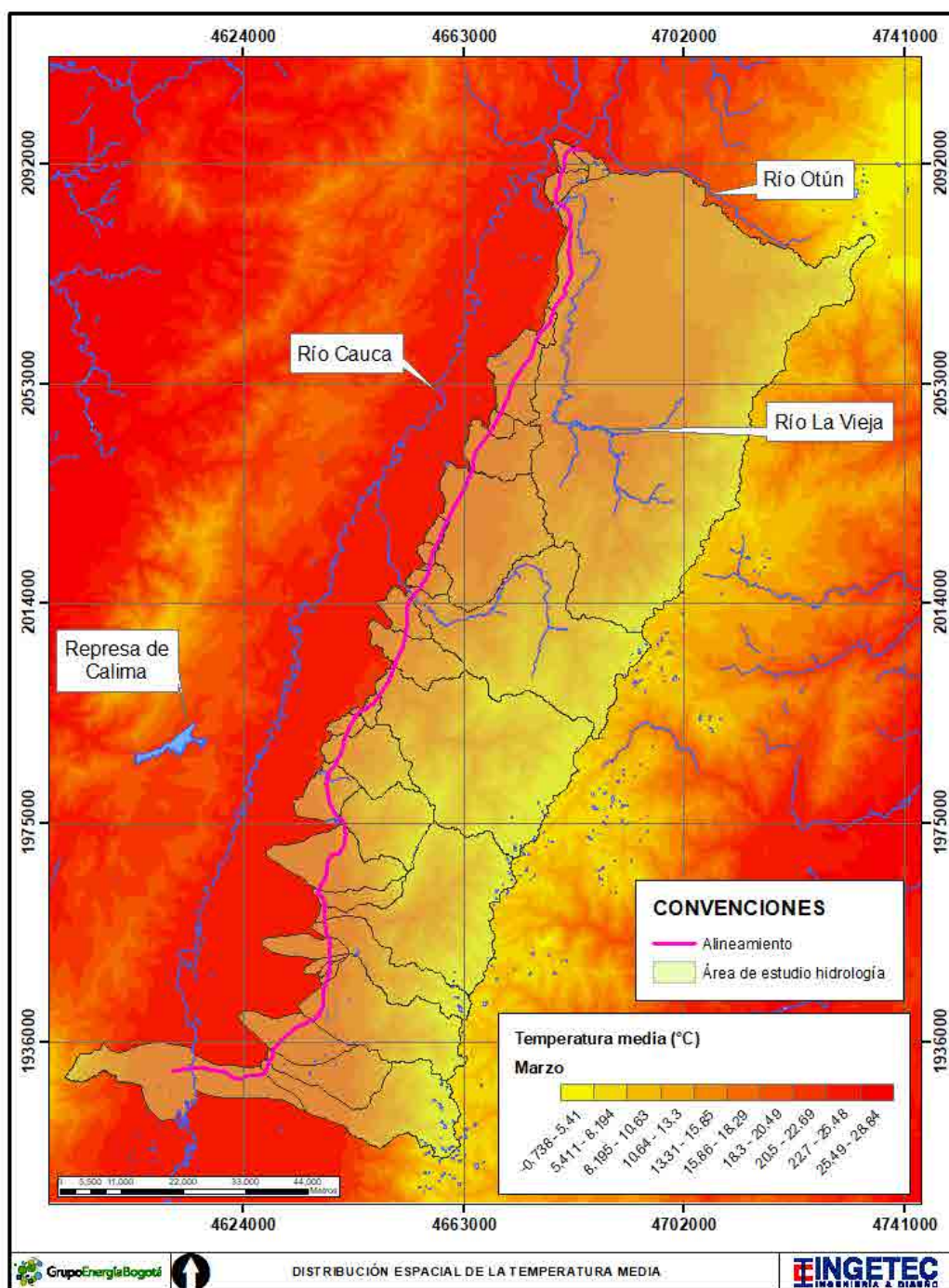


Figura 89. Distribución espacial de la temperatura media en marzo.



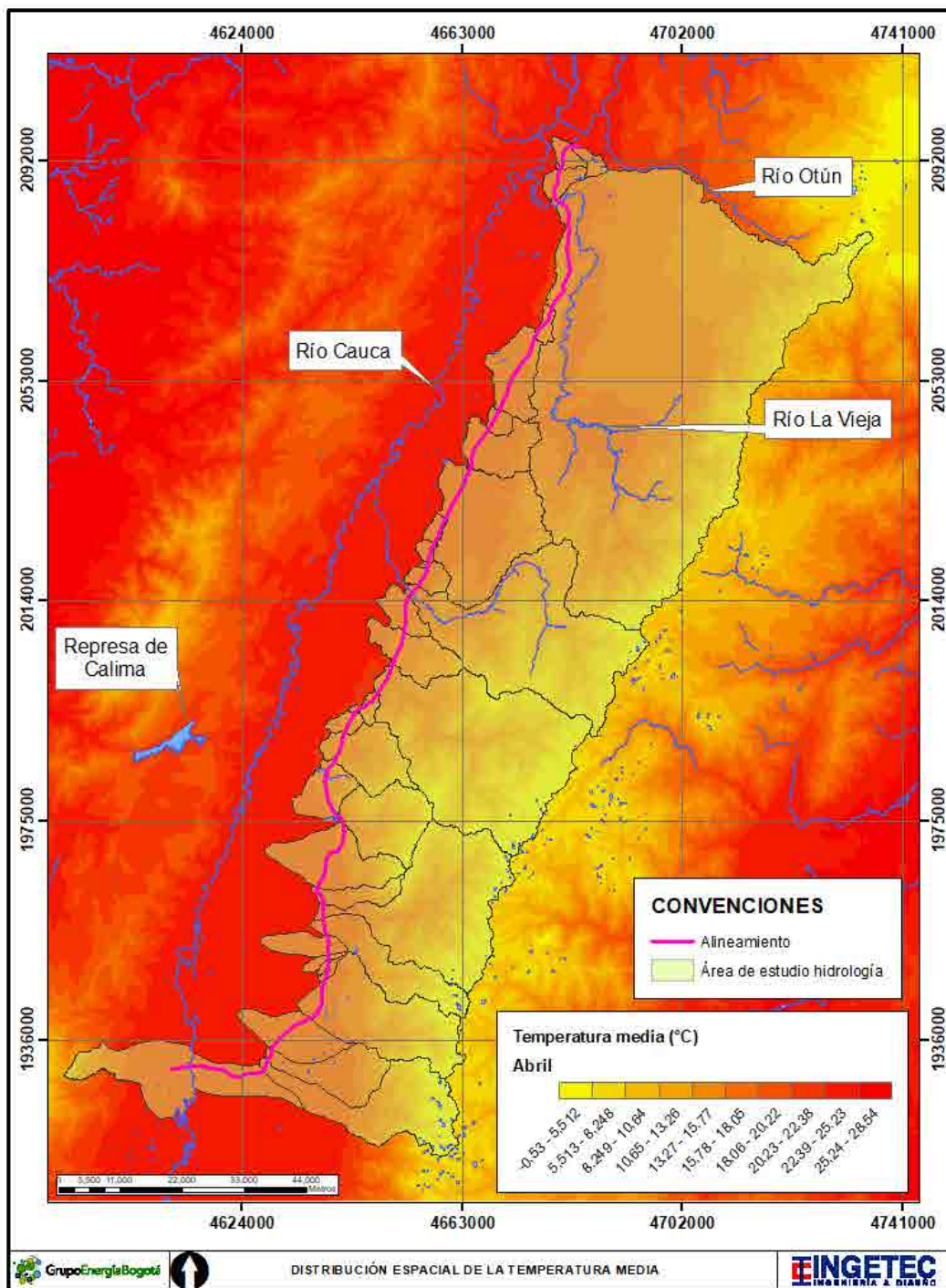


Figura 90. Distribución espacial de la temperatura media en abril.

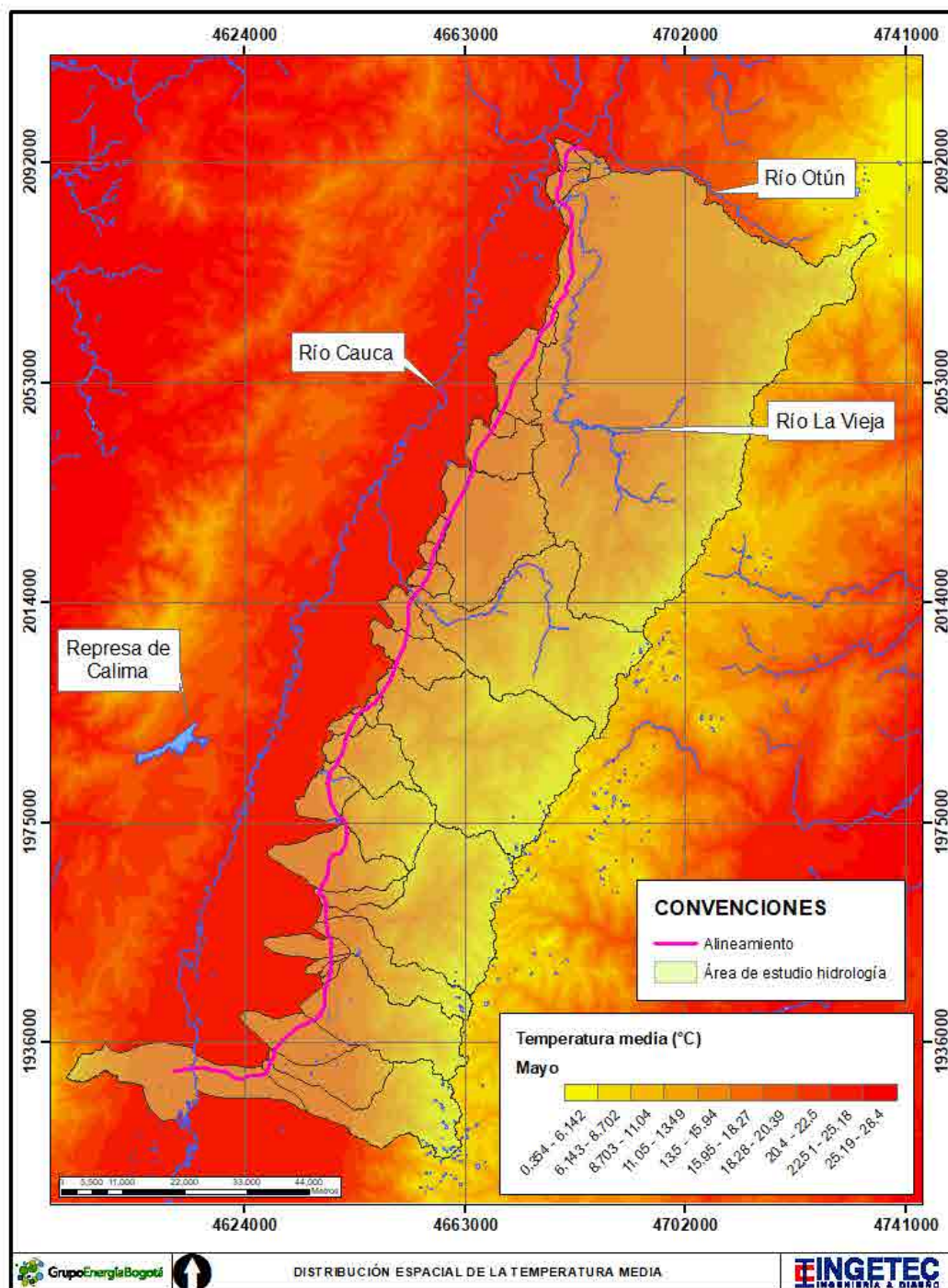


Figura 91. Distribución espacial de la temperatura media en mayo.



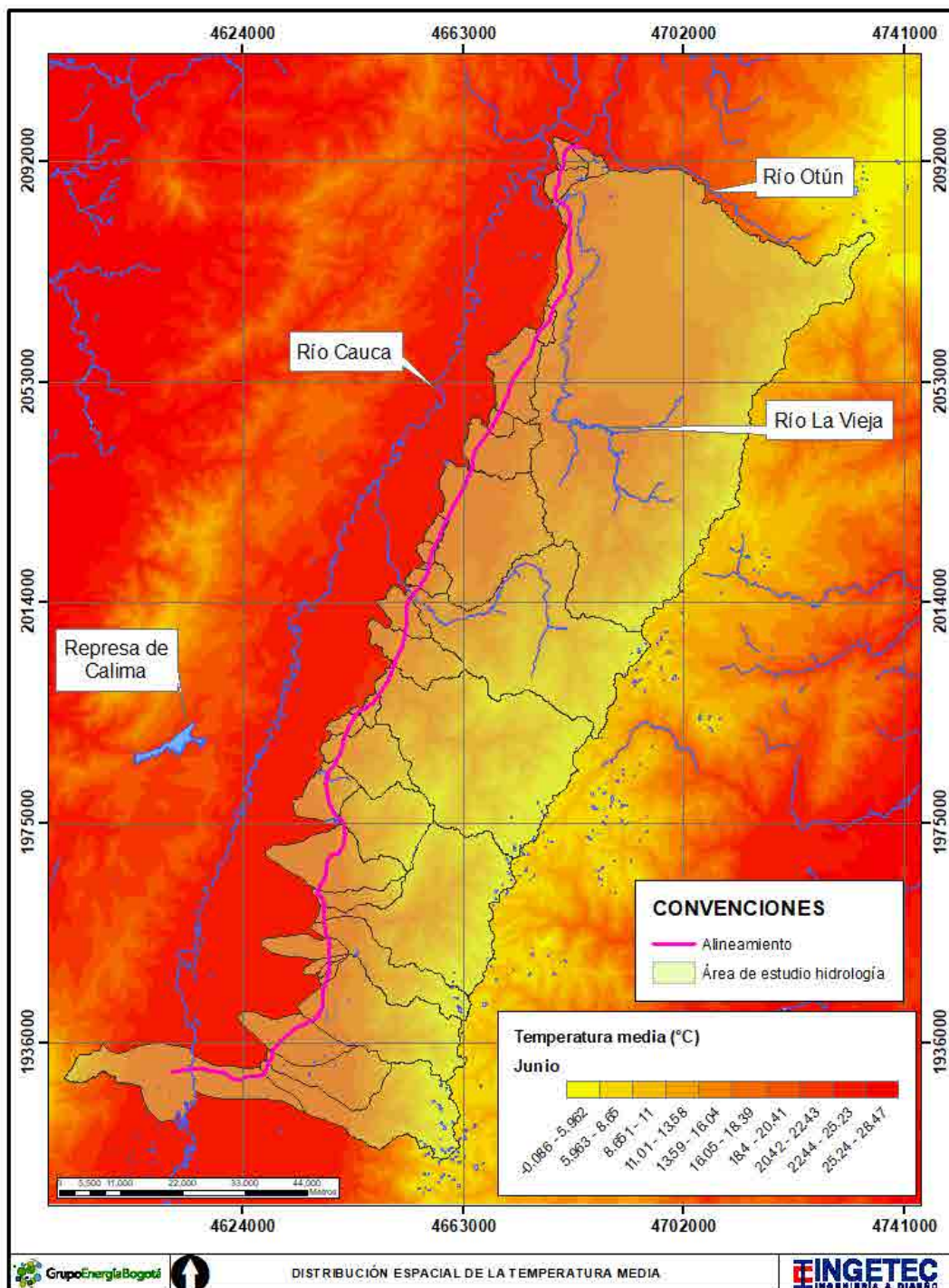


Figura 92. Distribución espacial de la temperatura media en junio.

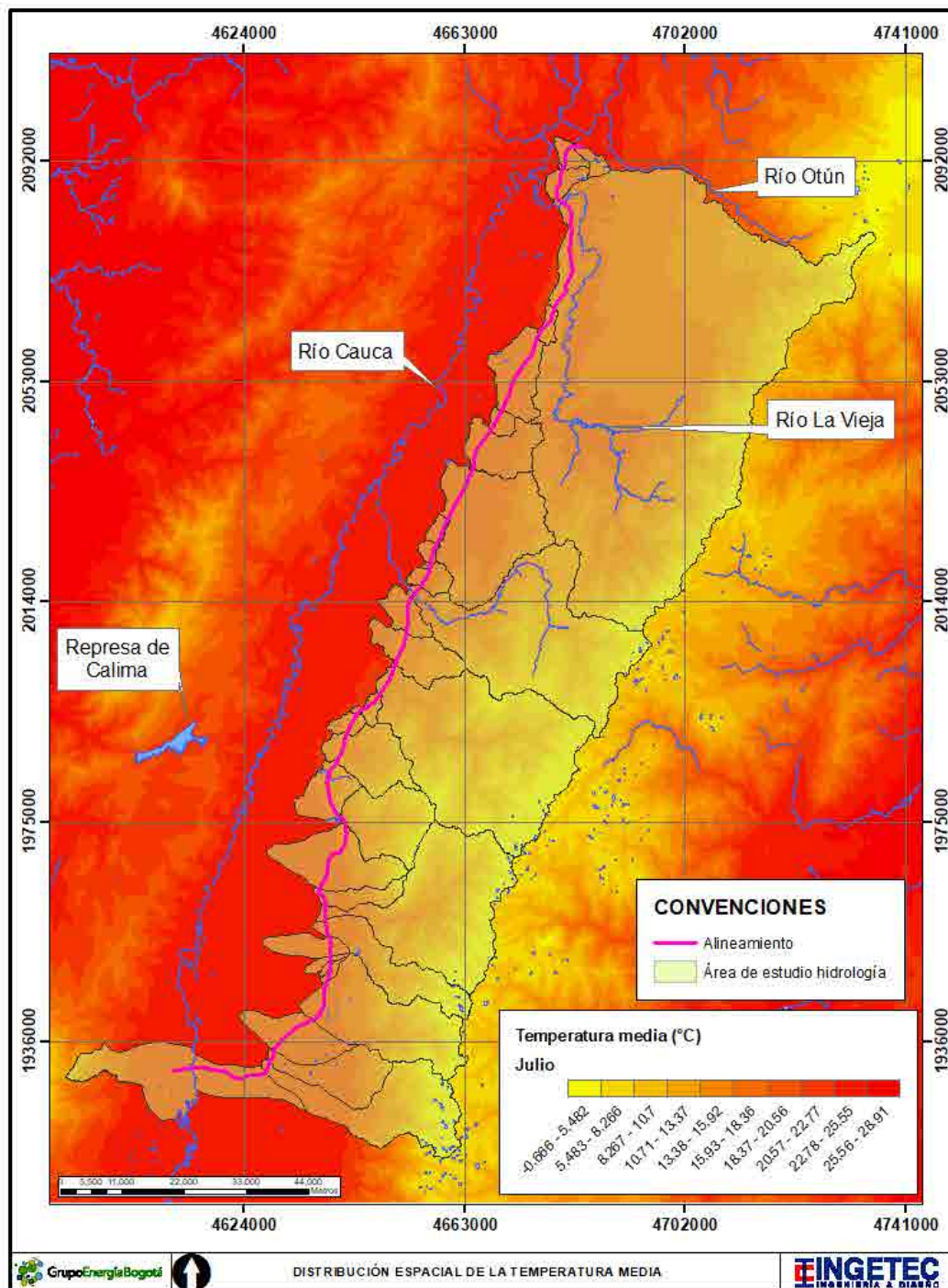


Figura 93. Distribución espacial de la temperatura media en julio.



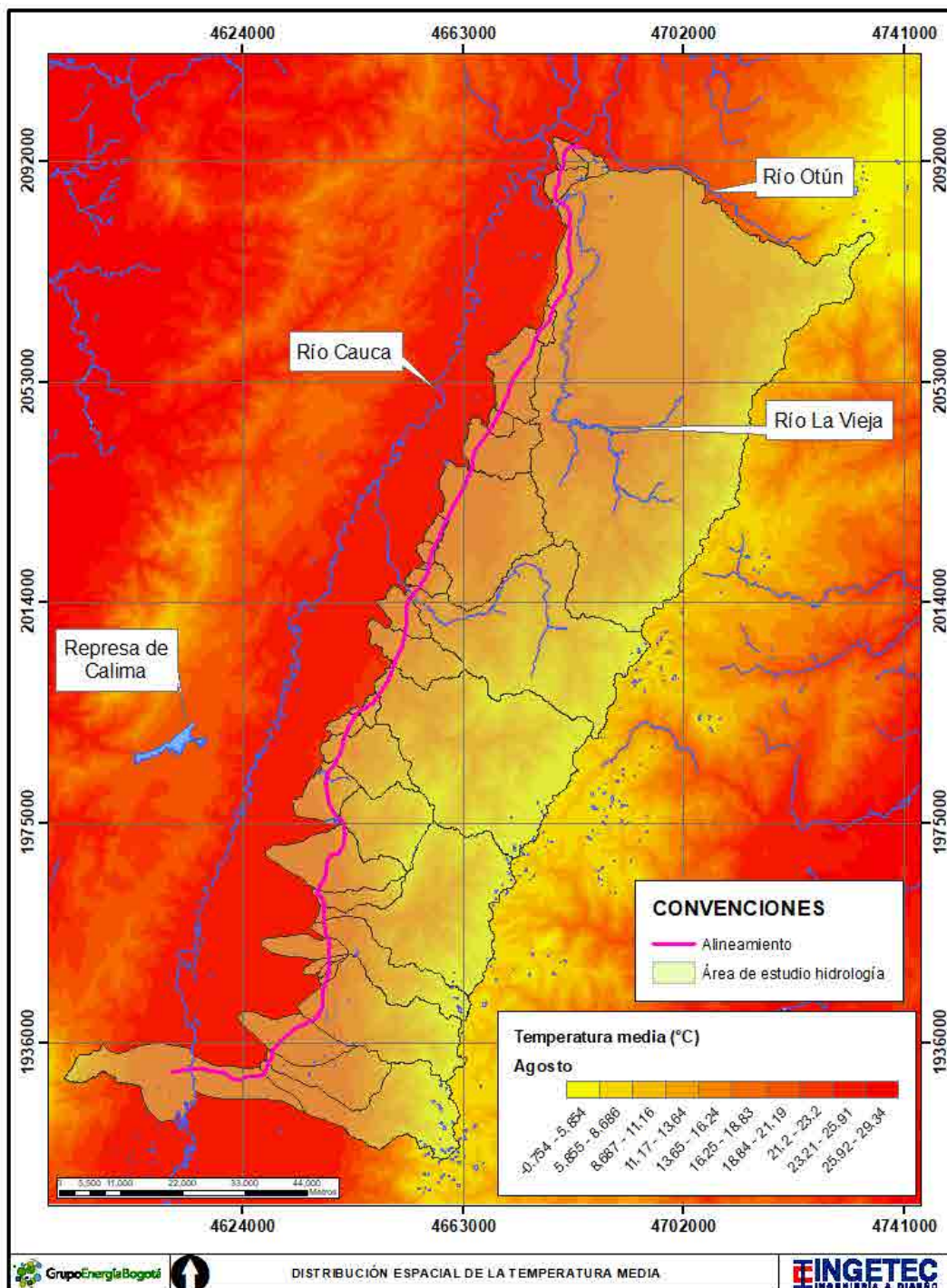


Figura 94. Distribución espacial de la temperatura media en agosto.

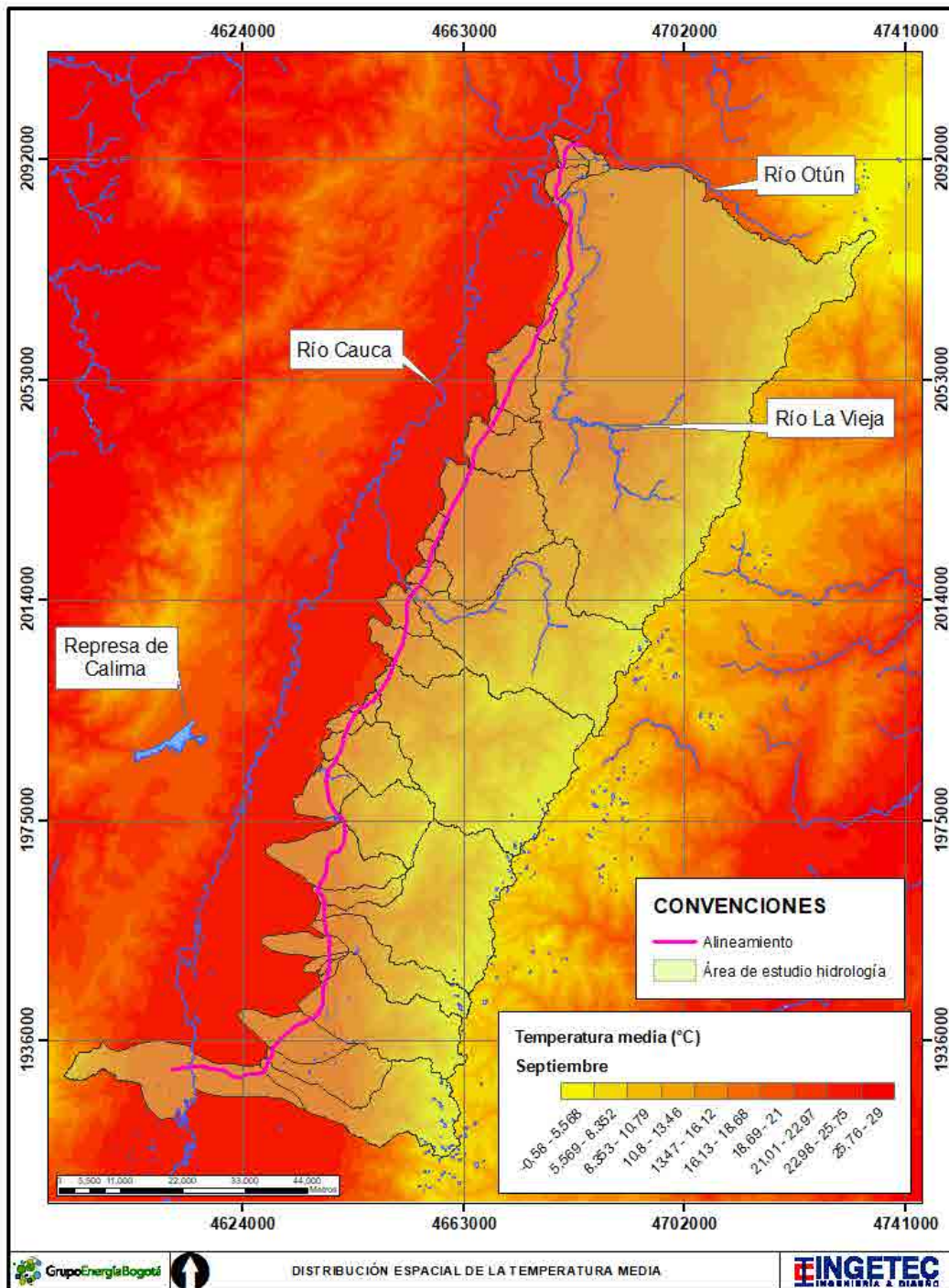


Figura 95. Distribución espacial de la temperatura media septiembre.



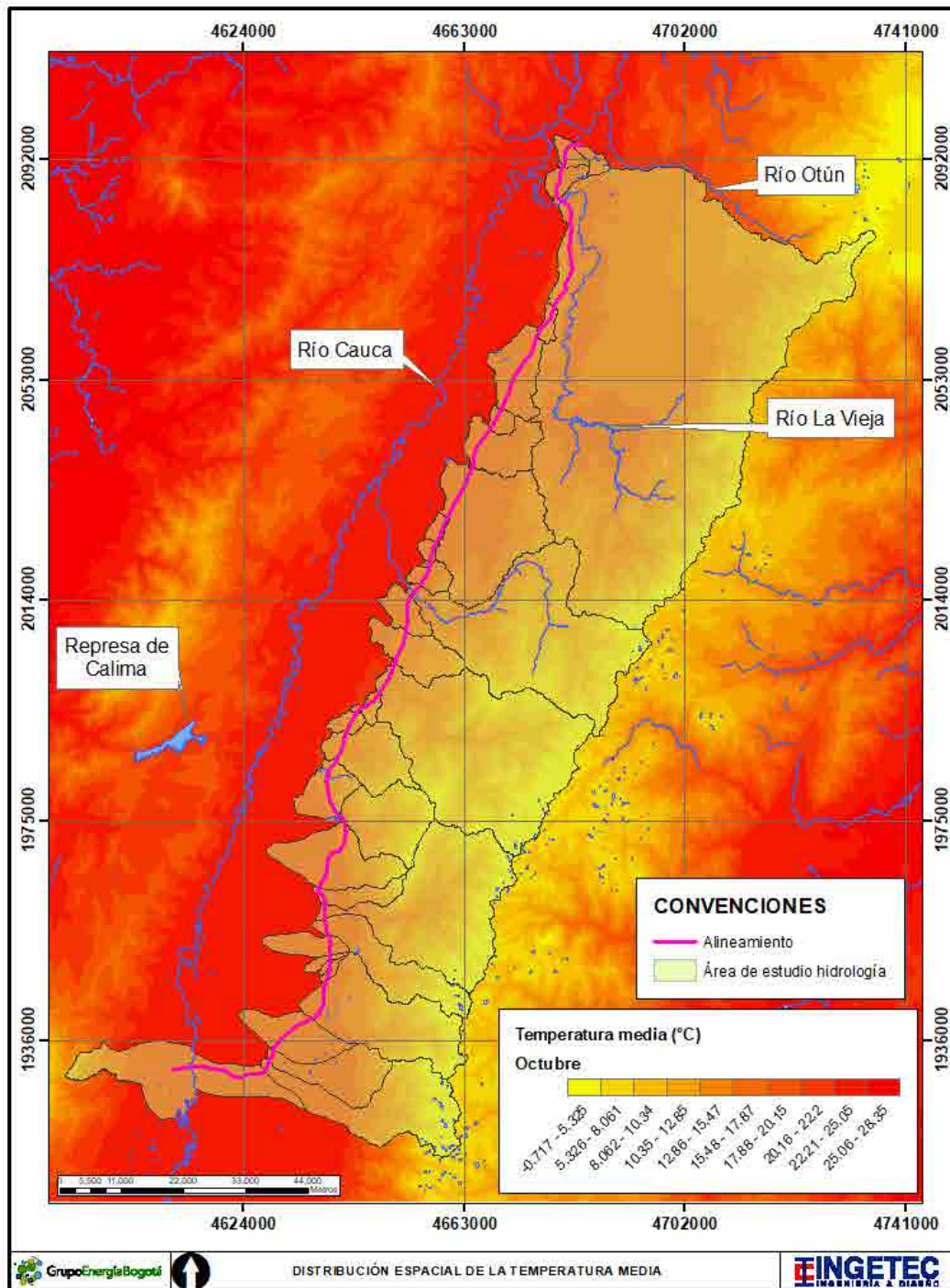


Figura 96. Distribución espacial de la temperatura media en octubre.

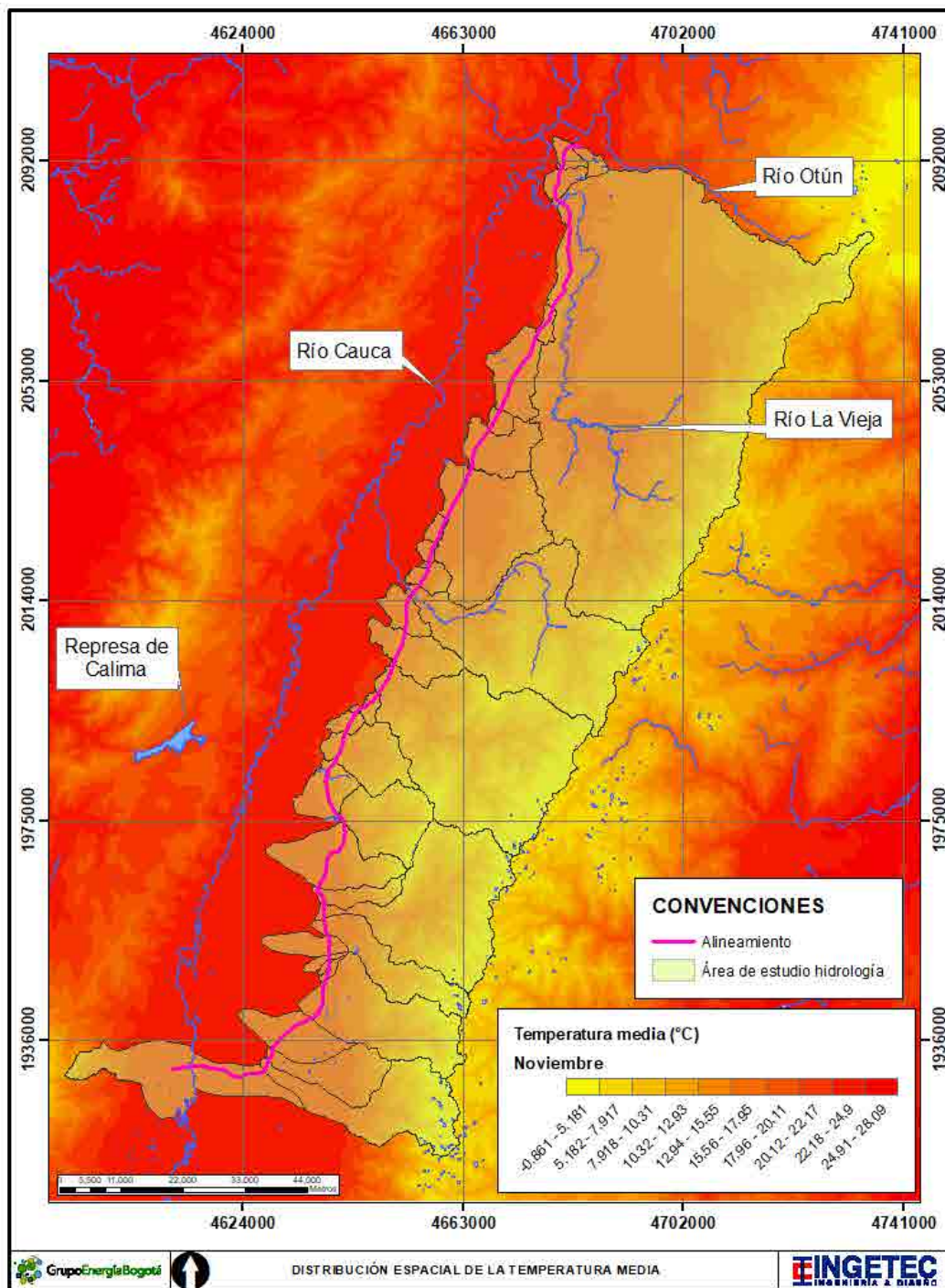


Figura 97. Distribución espacial de la temperatura media en noviembre.



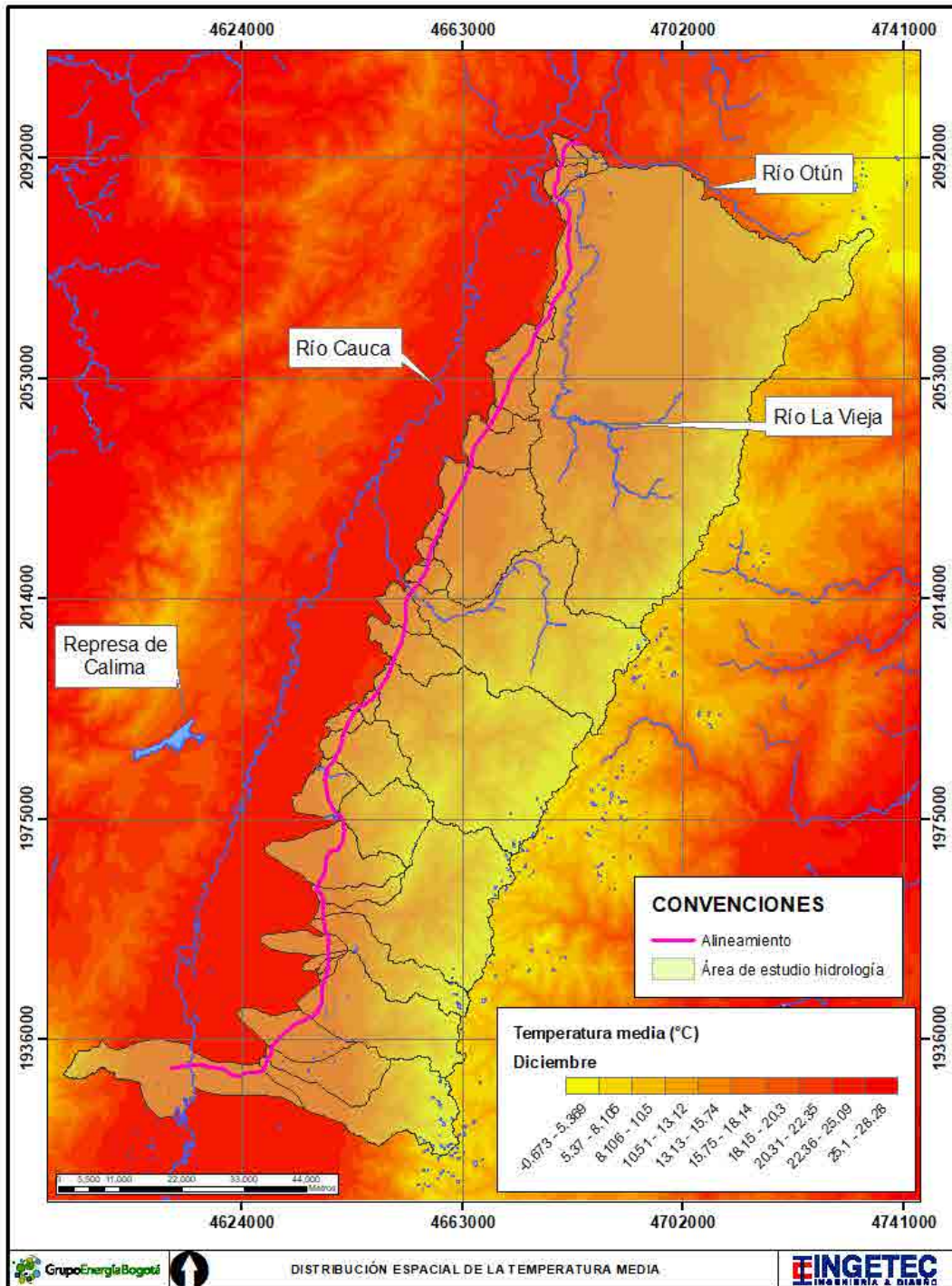


Figura 98. Distribución espacial de la temperatura media en diciembre.

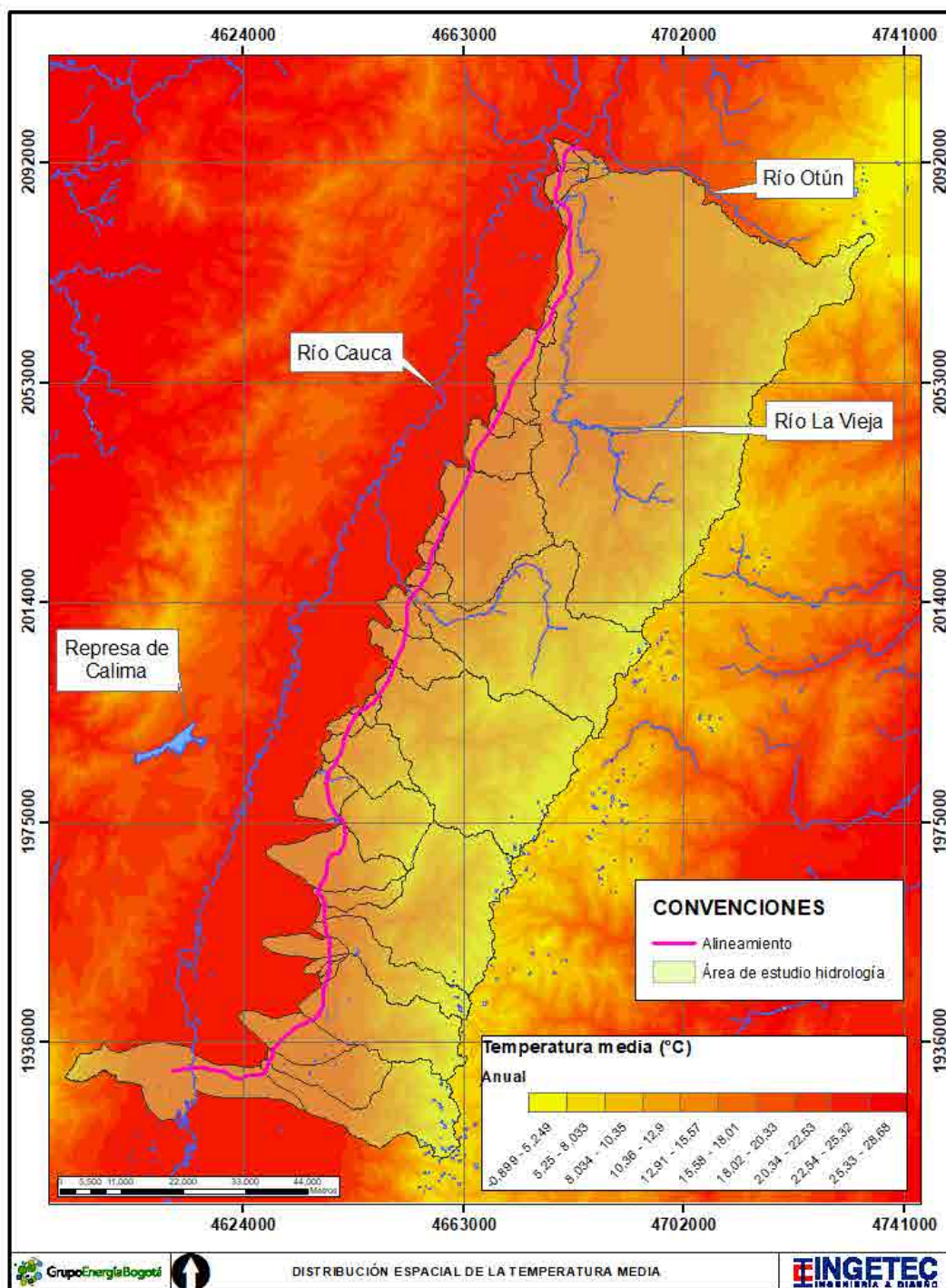


Figura 99. Distribución espacial de la temperatura media anual.



### 5.1.6.10.2.2. Temperatura máxima

Se analizaron los registros de temperatura máxima en 11 estaciones cercanas al área de influencia, encontrando que la temperatura se encuentra relacionada con la altitud a la cual se encuentran instaladas las estaciones de monitoreo. Se empleó el periodo 1996 – 2019 para definir en cada mes la relación existente entre la temperatura y la elevación del terreno. Los mapas de distribución de temperatura mensual para el área de influencia fueron construidos a partir de las curvas de elevación de la cartografía IGAC 100 000. En la Tabla 63 se presentan los promedios de temperatura máxima mensual multianual para cada estación analizada.

Tabla 63. Temperatura máxima mensual multianual (°C) en las estaciones cercanas al área de influencia.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Apto, Matecana	25,20	25,50	25,20	24,90	24,70	24,70	25,20	25,60	25,30	24,60	24,70	24,90
Barragán	14,40	14,40	14,40	14,40	14,60	14,50	14,40	14,40	14,70	13,80	13,60	14,10
Bohemia La	28,80	28,80	28,70	28,00	27,90	28,10	28,80	29,40	29,00	28,10	27,80	28,10
Cumbarco	22,00	22,10	21,90	21,80	21,90	22,10	22,60	22,80	22,60	21,50	21,40	21,60
Mateguadua	27,40	27,60	27,50	27,20	27,00	27,10	27,40	28,10	27,60	26,90	26,80	27,00
Palmira ICA	28,00	28,10	27,90	27,70	27,60	27,60	28,20	28,60	28,40	27,60	27,40	27,60
Riomanso	20,20	20,30	20,10	20,30	20,40	20,50	20,60	20,80	20,90	20,30	19,70	20,10
San José Palmar	22,50	22,70	23,20	23,50	23,80	23,70	23,80	23,90	23,60	23,20	22,70	22,70
San Marcos	28,10	28,30	28,10	27,80	27,50	27,60	28,40	28,90	28,60	27,80	27,50	27,60
San Antonio	25,10	25,00	24,90	24,80	24,90	25,10	25,30	25,70	25,90	24,80	24,00	24,50
Santa Isabel	14,60	14,70	14,70	15,30	15,70	15,60	15,50	15,50	15,50	14,90	14,70	14,90

En la Figura 100 se presenta el comportamiento mensual promedio de la temperatura máxima. La temperatura más baja se registró en la estación Barragan (13,16°C), localizada a una altitud de 3014 msnm y la temperatura más alta se registró en la estación La Bohemia (29,40°C), localizada a una altura de 962 msnm. Las temperaturas más altas se registran en el mes de agosto y en general se observa poca variación a lo largo del año.

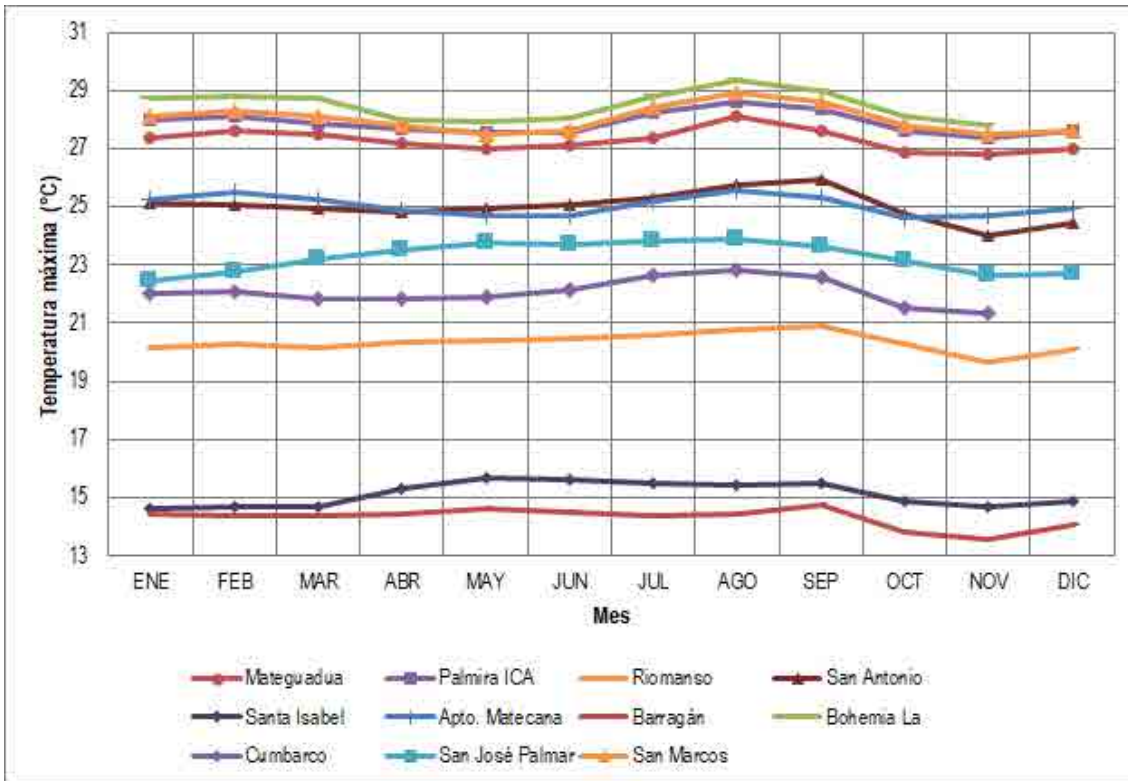
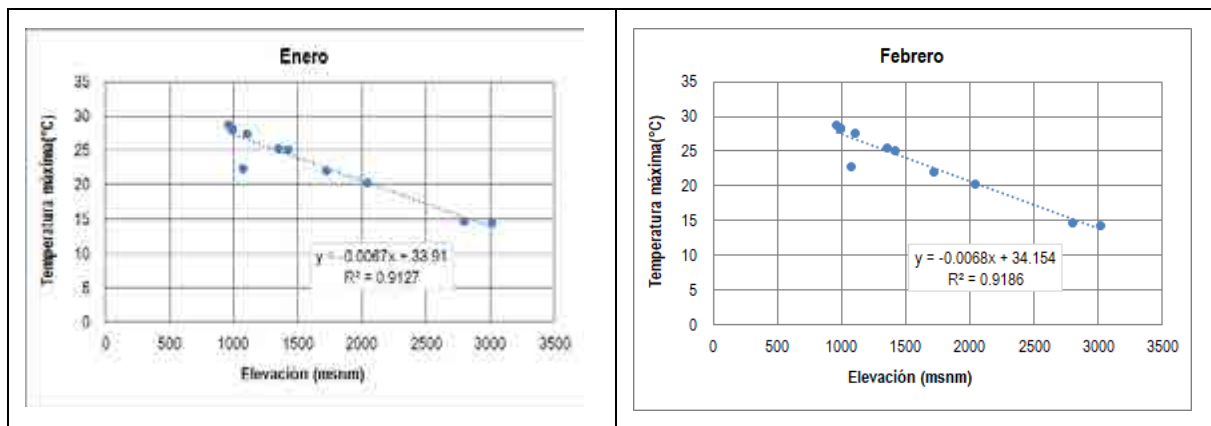
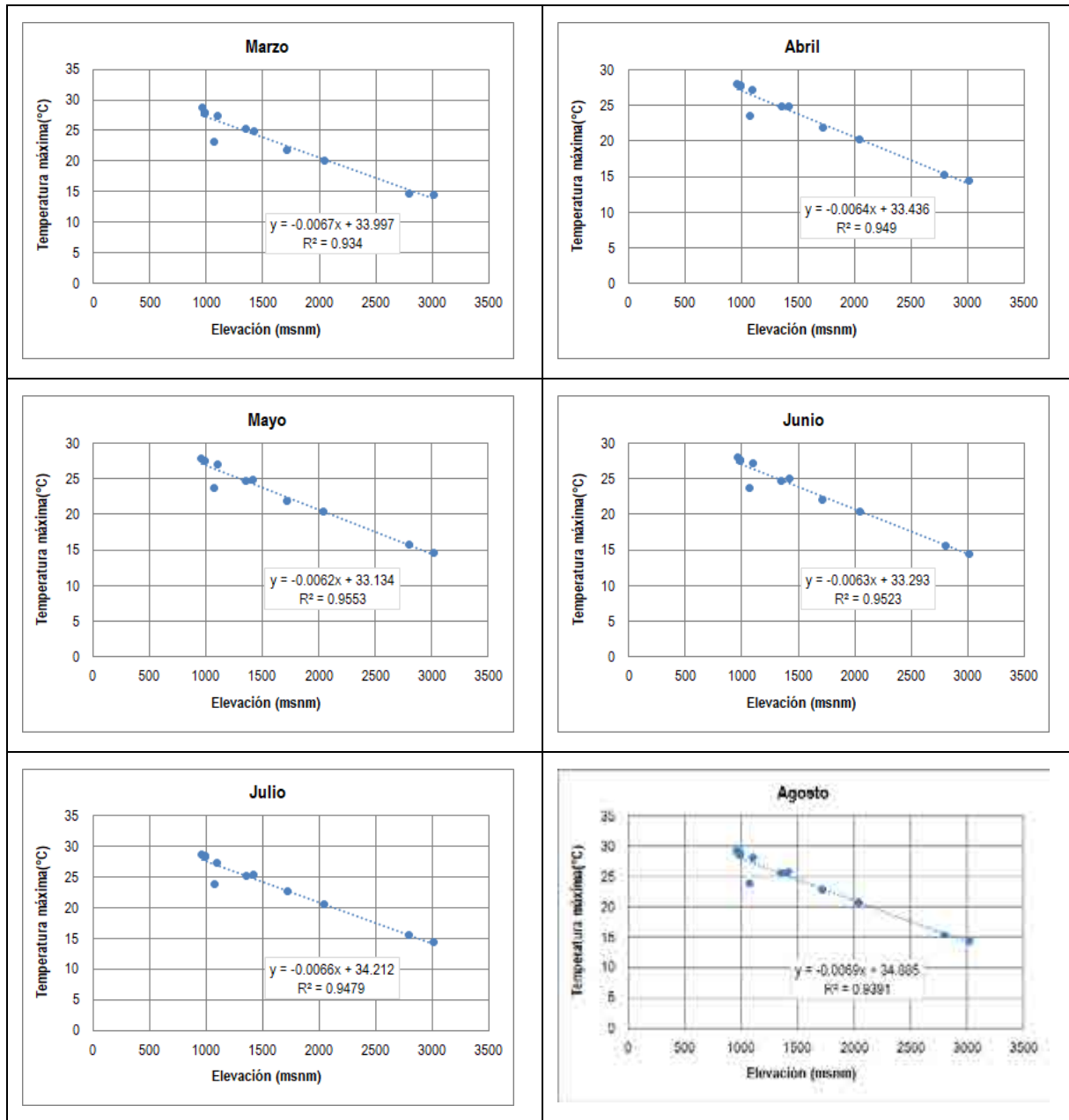


Figura 100. Variación mensual de la temperatura máxima en las estaciones.

En la Figura 101 se presentan las relaciones encontradas a nivel mensual con las cuales se construyeron los mapas de distribución espacial de la temperatura máxima para el área de influencia. La distribución espacial se presenta desde la Figura 103 hasta la Figura 114. (Anexo D4 - Hidrología/D.4.5 Variación espacial parámetros).





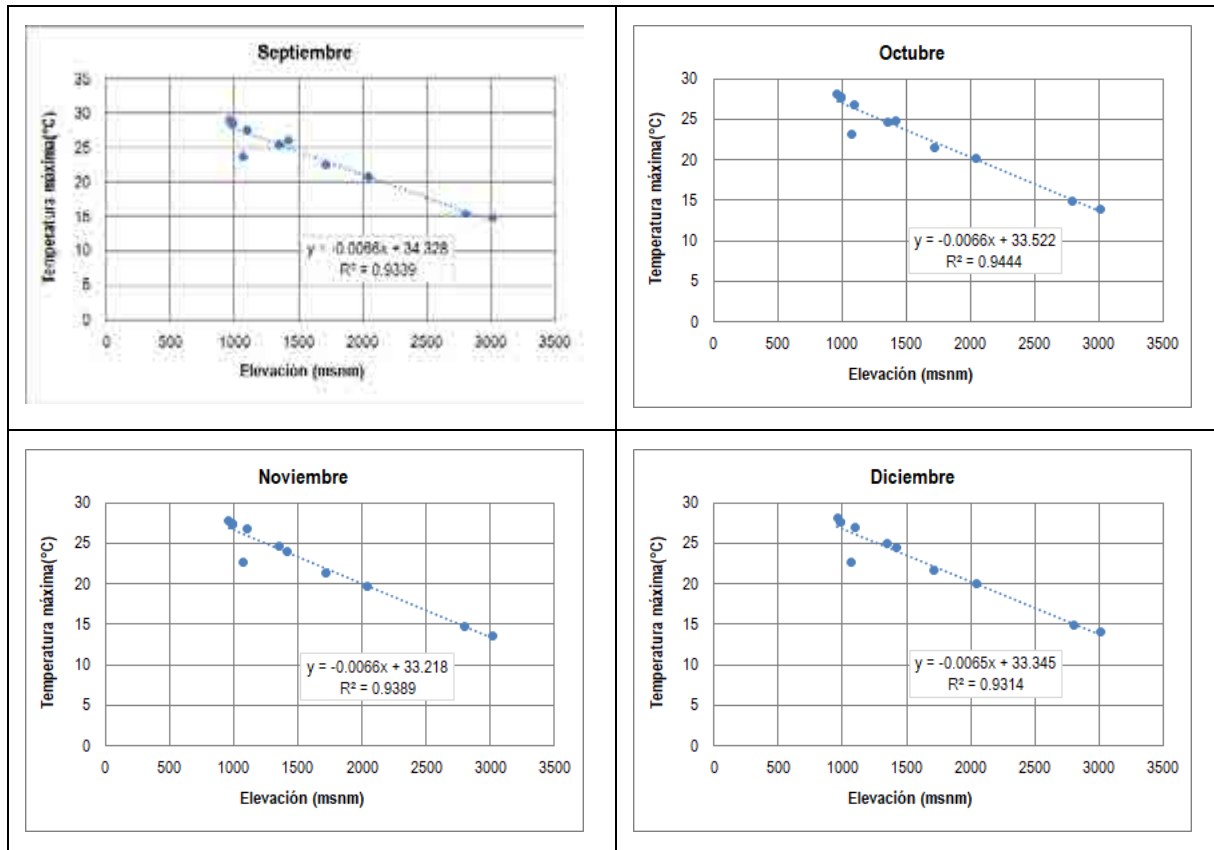


Figura 101. Relación entre la temperatura máxima y la elevación para cada mes.

A nivel anual se determinó la variación de la temperatura máxima en función de la elevación (Figura 102) y se construyó el mapa incluido en la Figura 115.

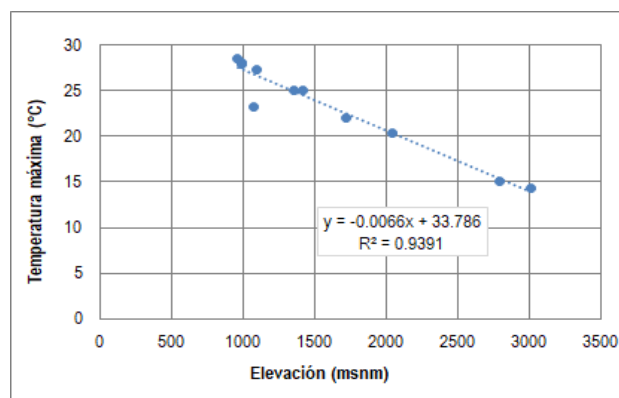


Figura 102. Relación entre la temperatura máxima anual y la elevación.

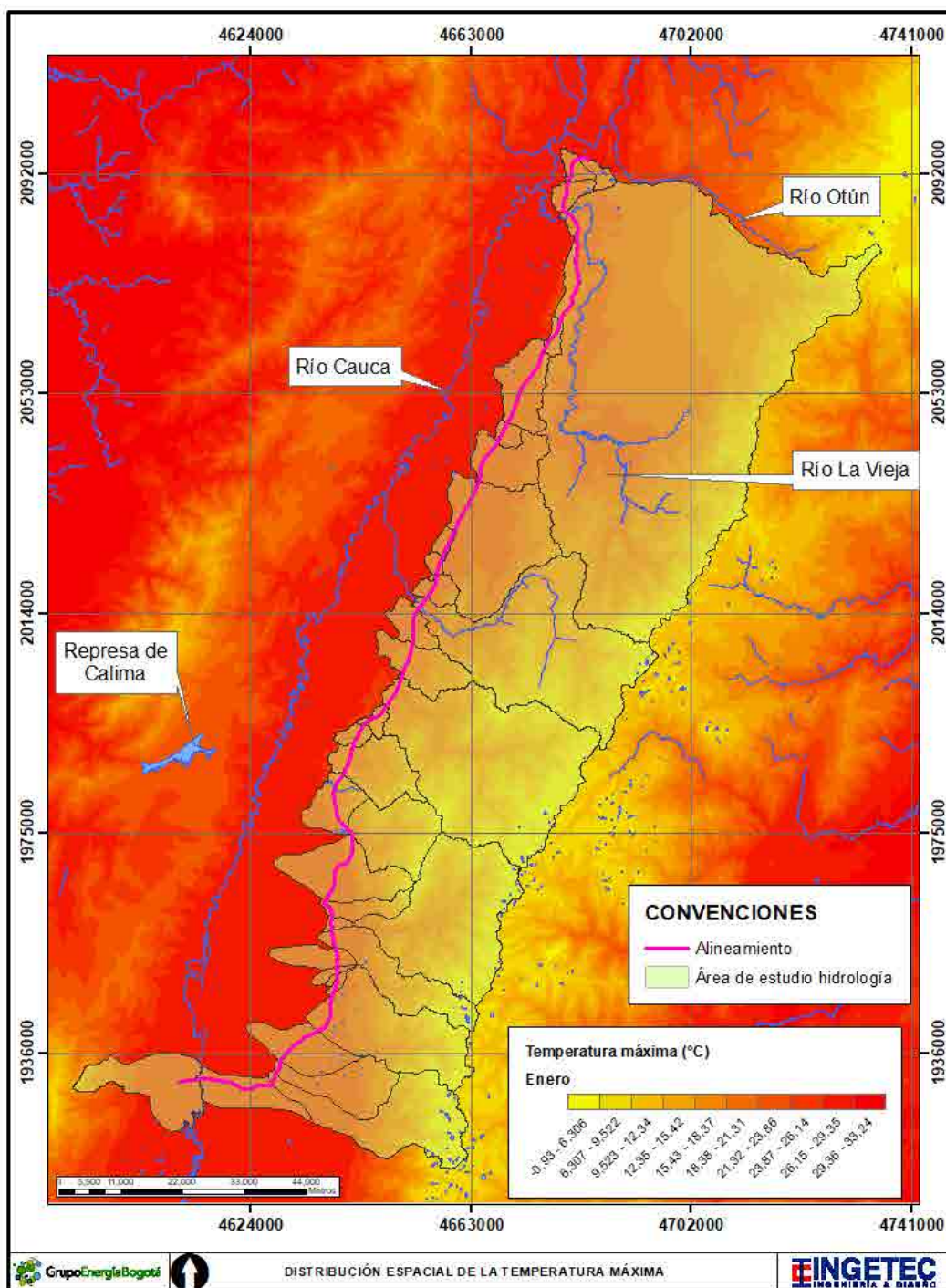


Figura 103. Distribución espacial de la temperatura máxima en enero.



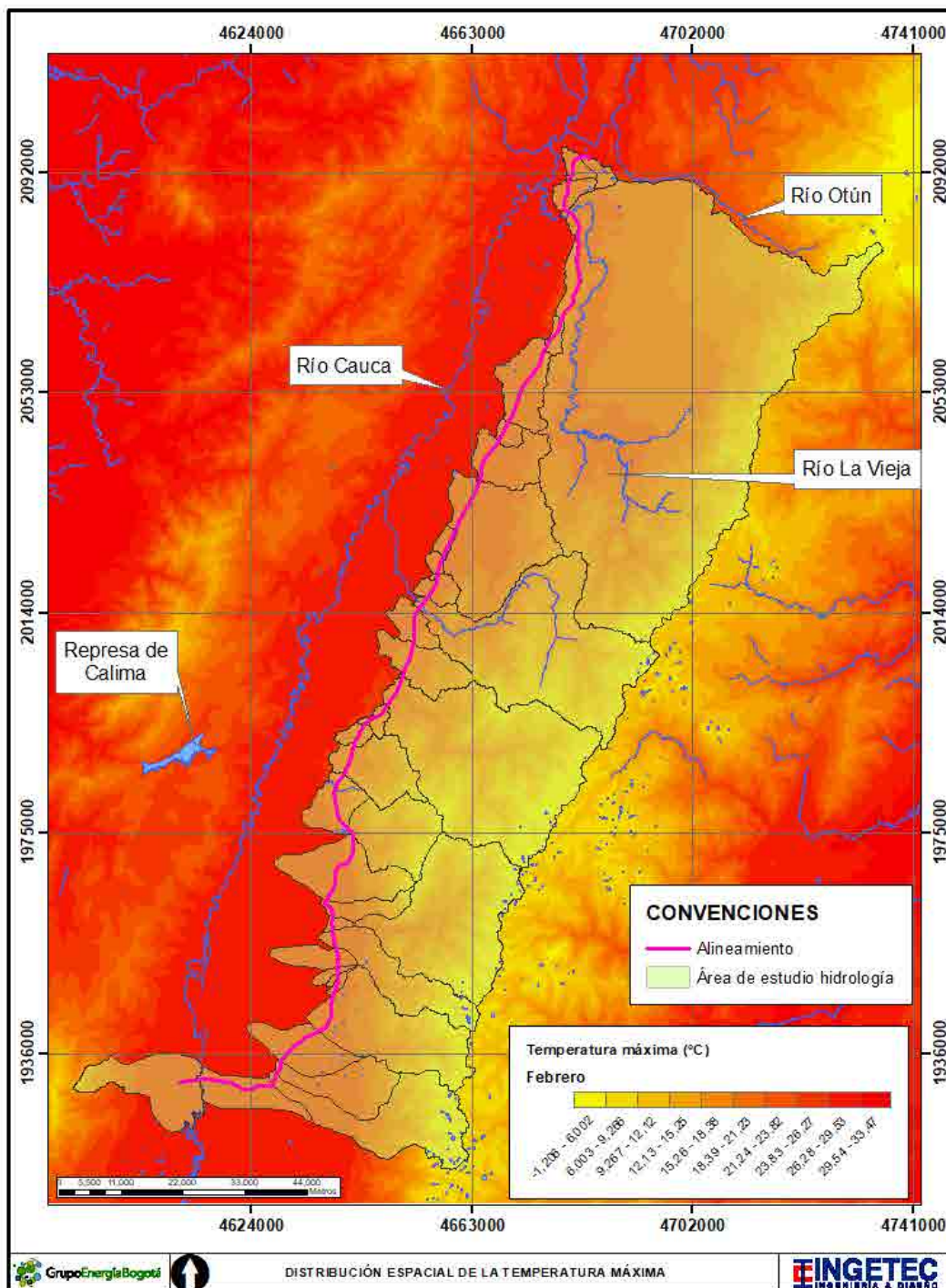


Figura 104. Distribución espacial de la temperatura máxima en febrero.



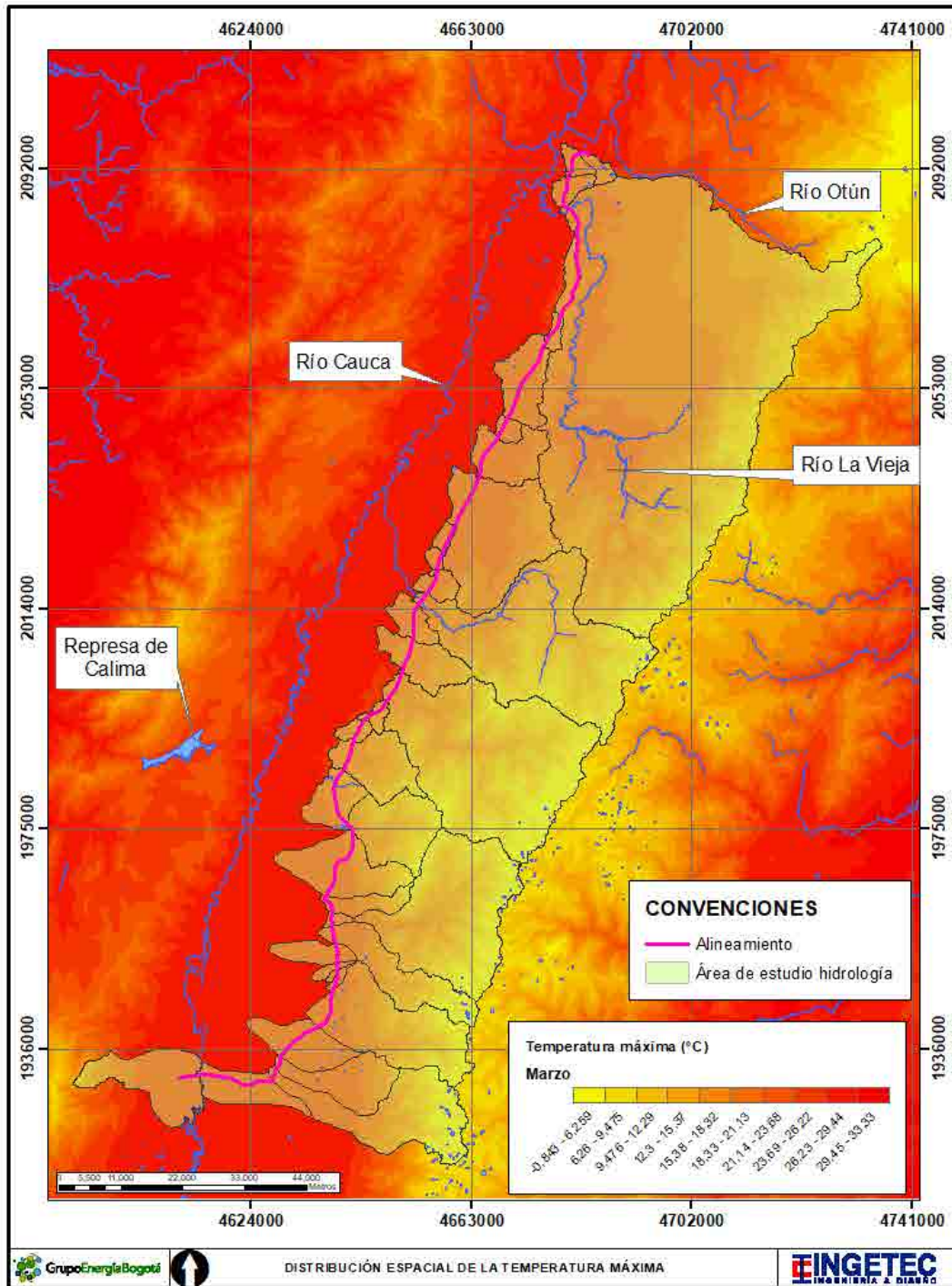


Figura 105. Distribución espacial de la temperatura máxima en marzo.

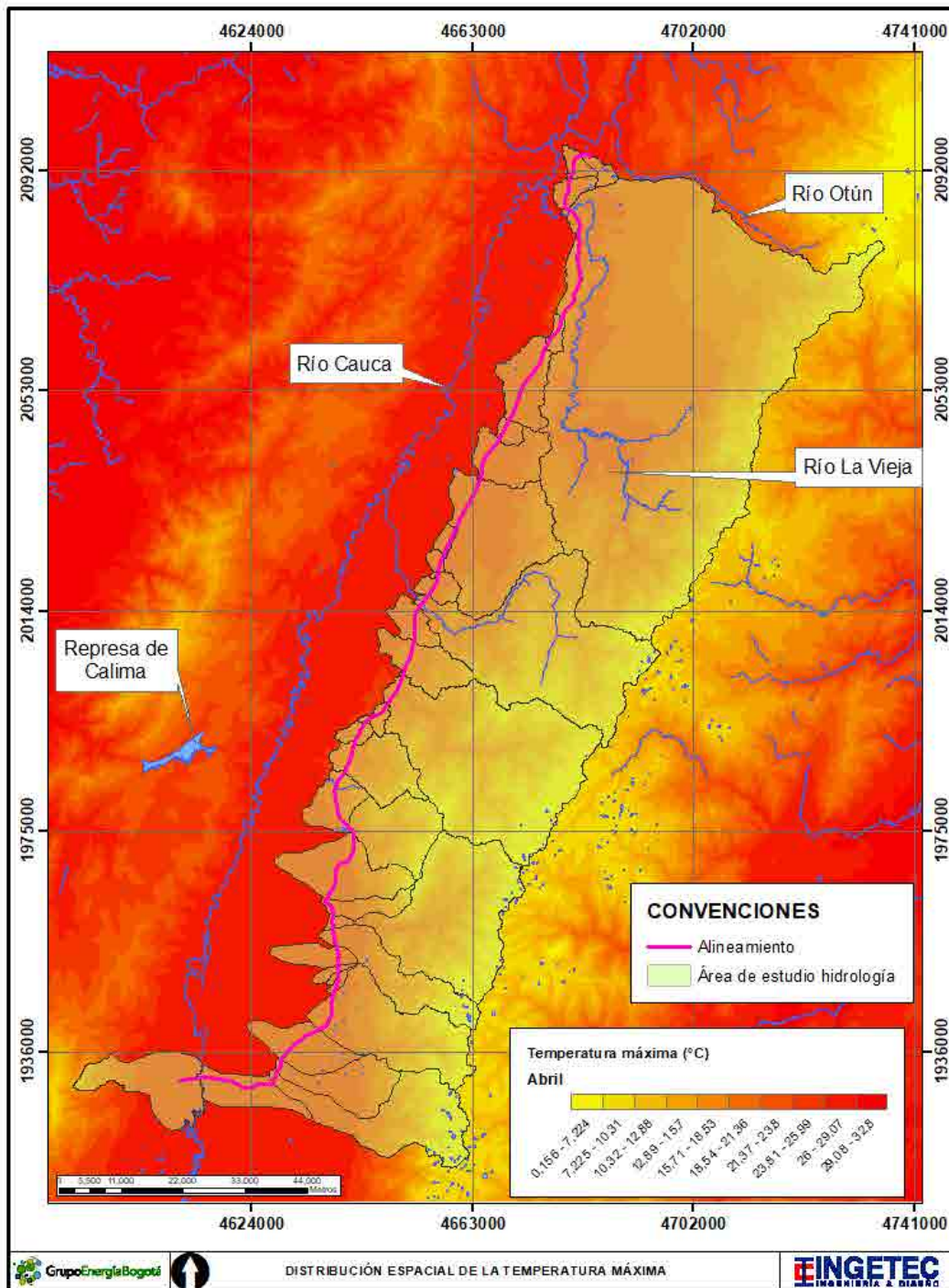


Figura 106. Distribución espacial de la temperatura máxima en abril.



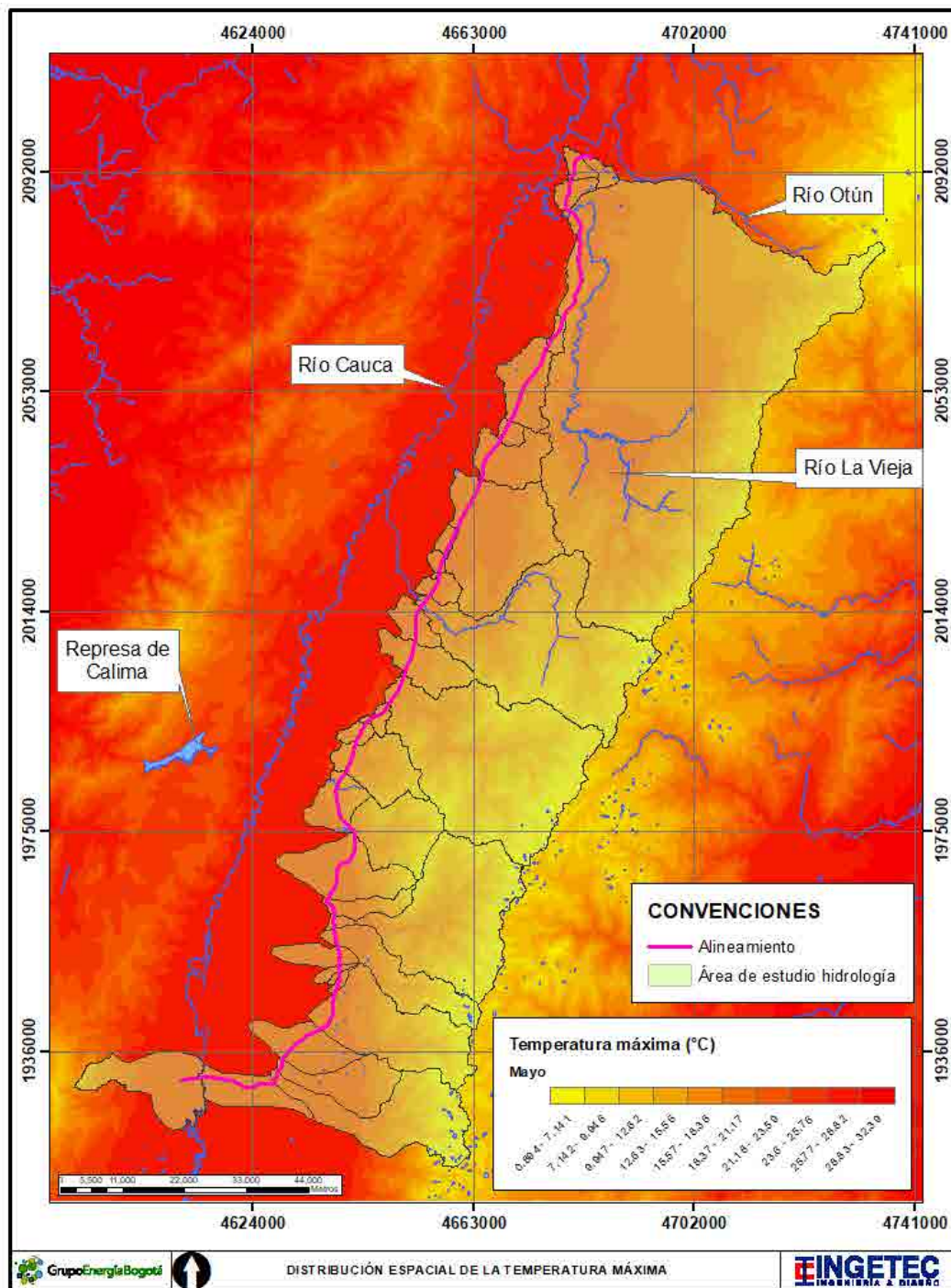


Figura 107. Distribución espacial de la temperatura máxima en mayo.

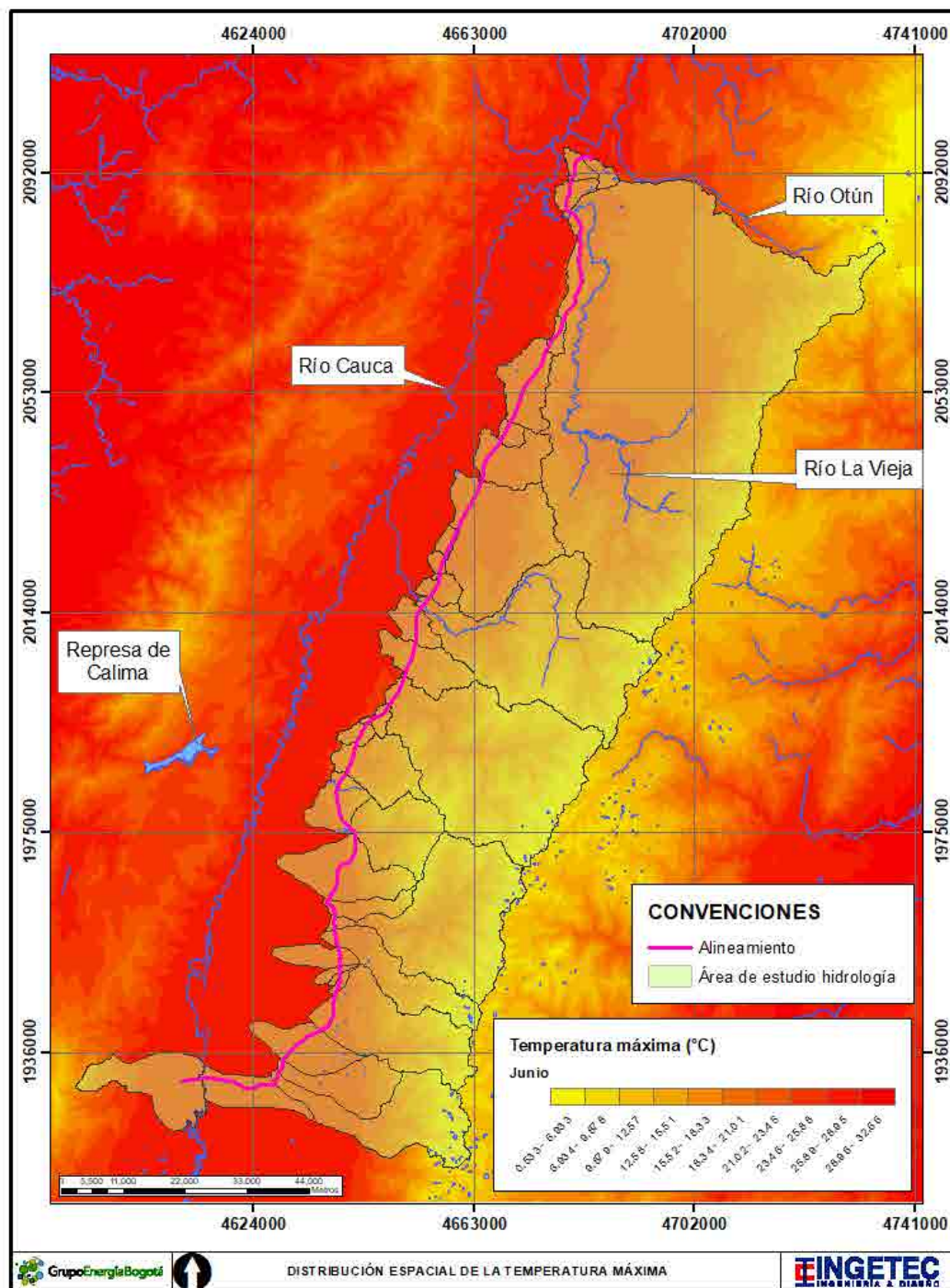


Figura 108. Distribución espacial de la temperatura máxima en junio.



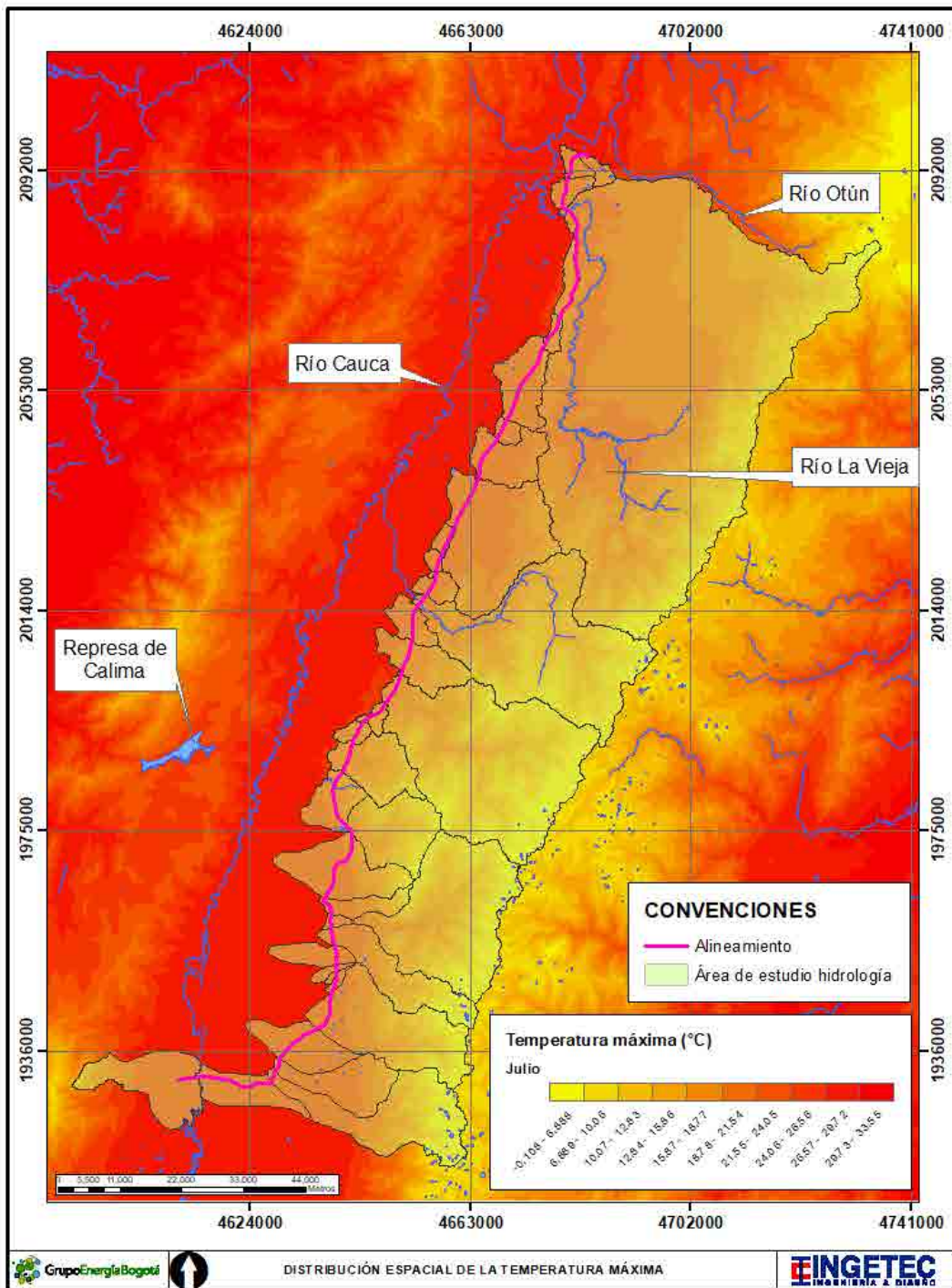


Figura 109. Distribución espacial de la temperatura máxima en julio.

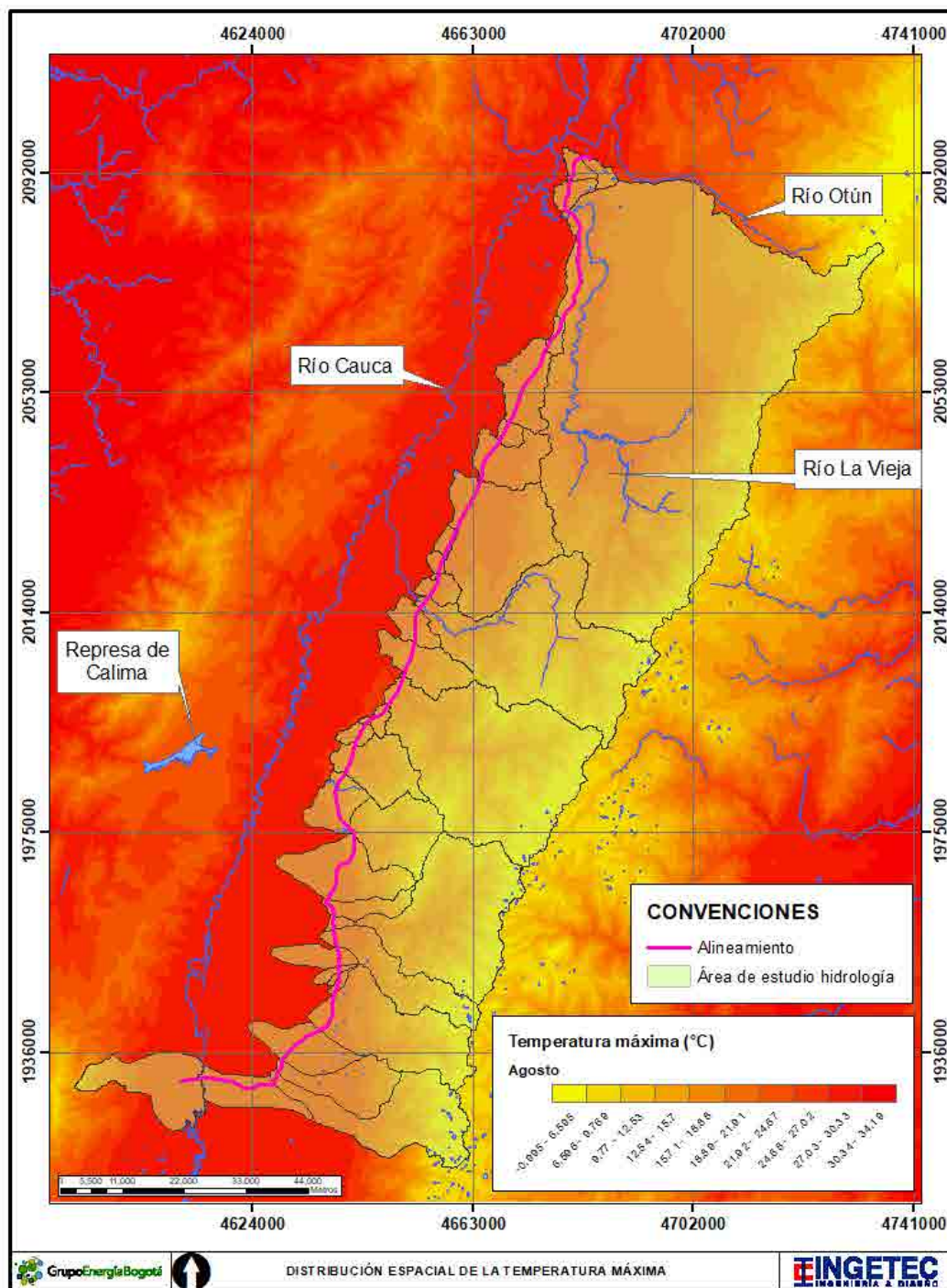


Figura 110. Distribución espacial de la temperatura máxima en agosto.



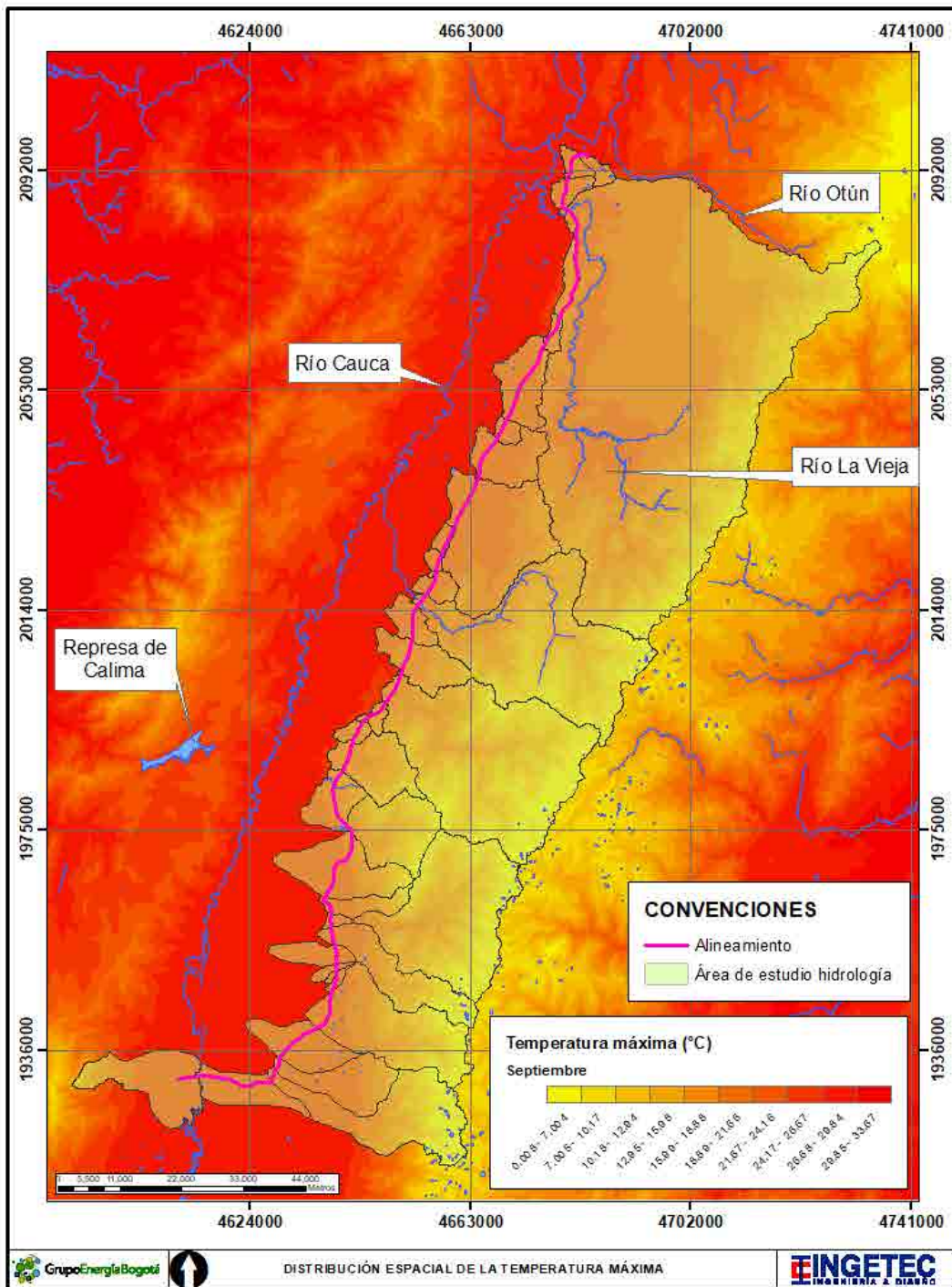


Figura 111. Distribución espacial de la temperatura máxima en septiembre.

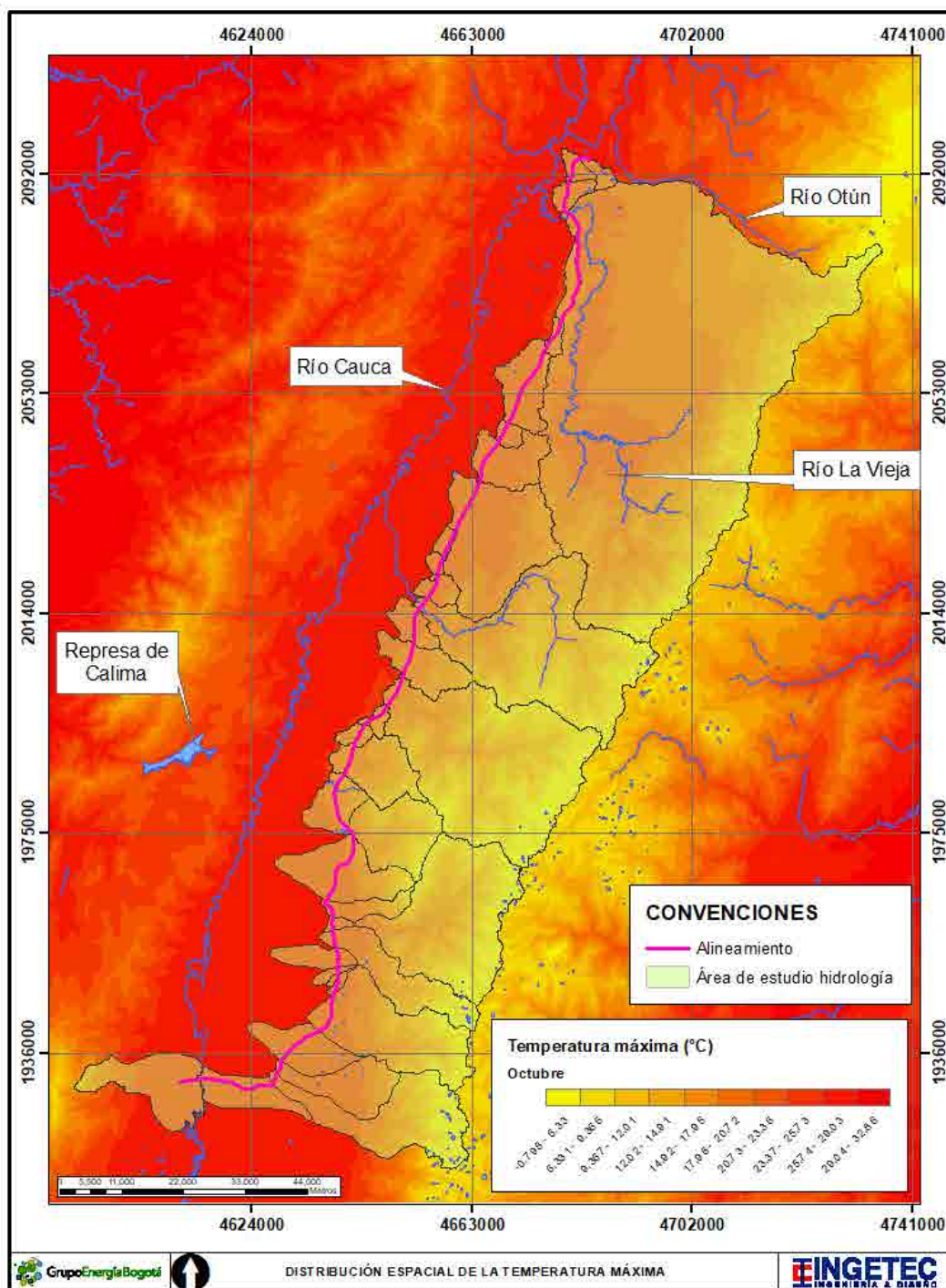


Figura 112. Distribución espacial de la temperatura máxima en octubre.



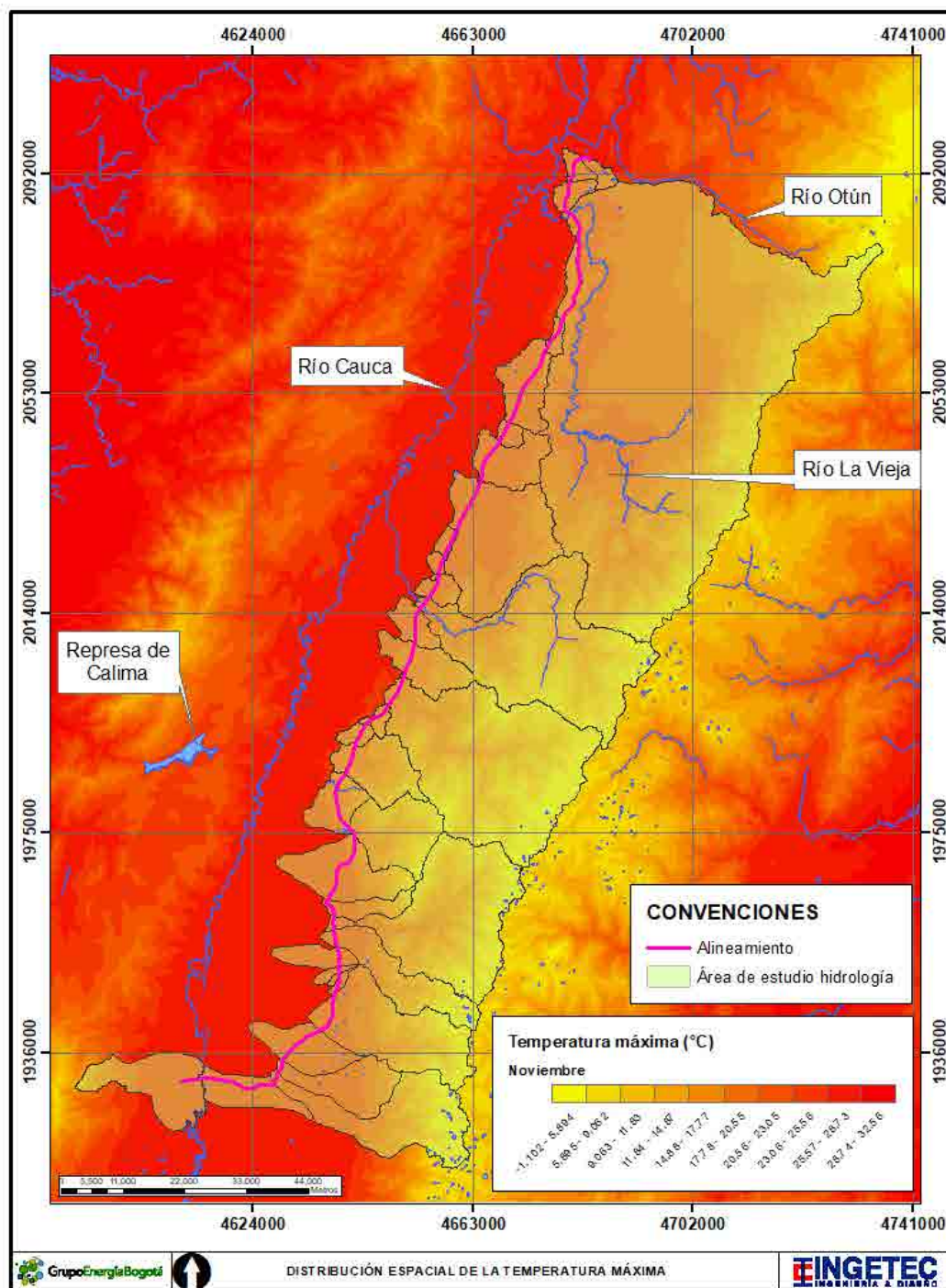


Figura 113. Distribución espacial de la temperatura máxima en noviembre.

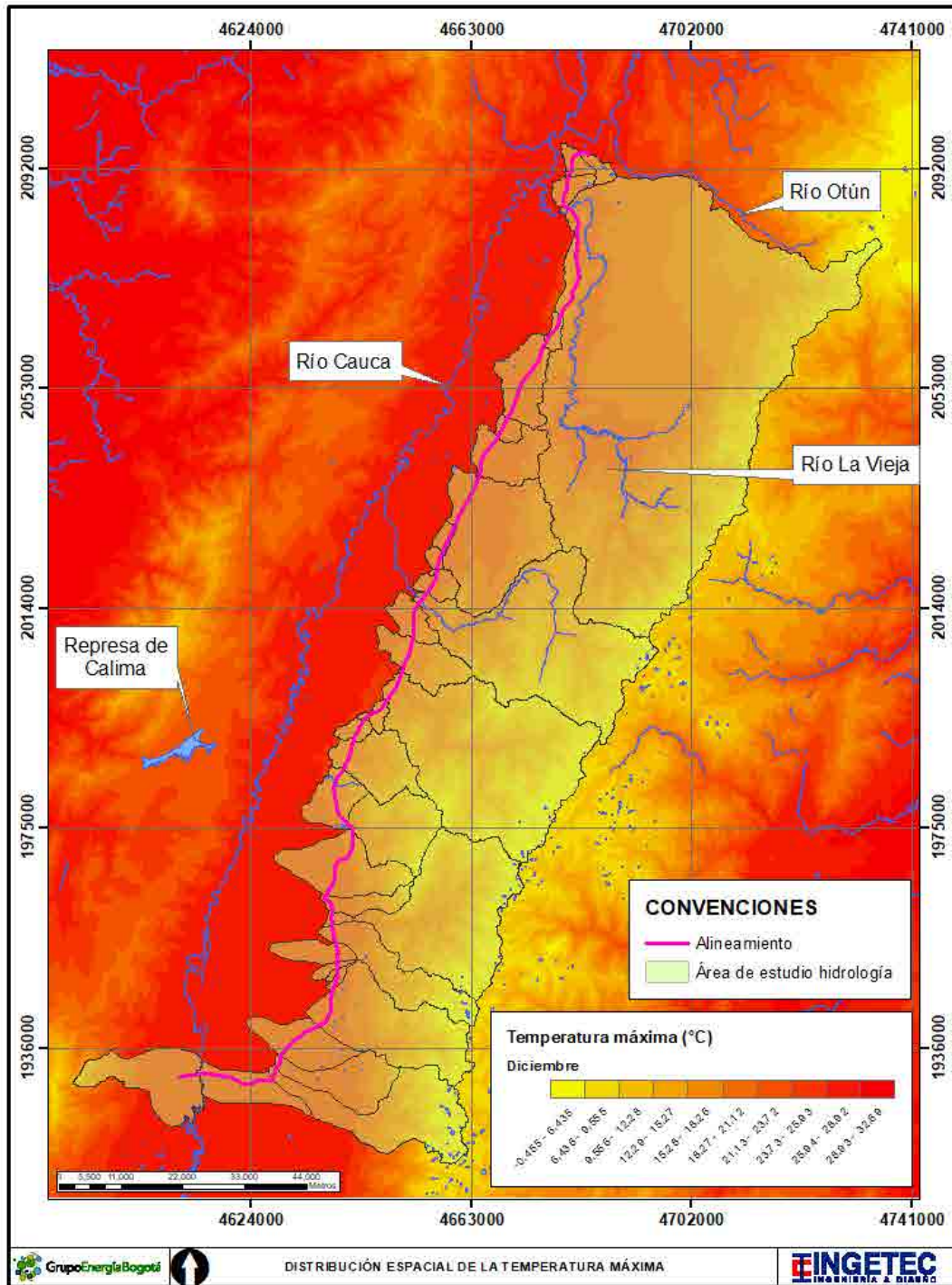


Figura 114. Distribución espacial de la temperatura máxima en diciembre.



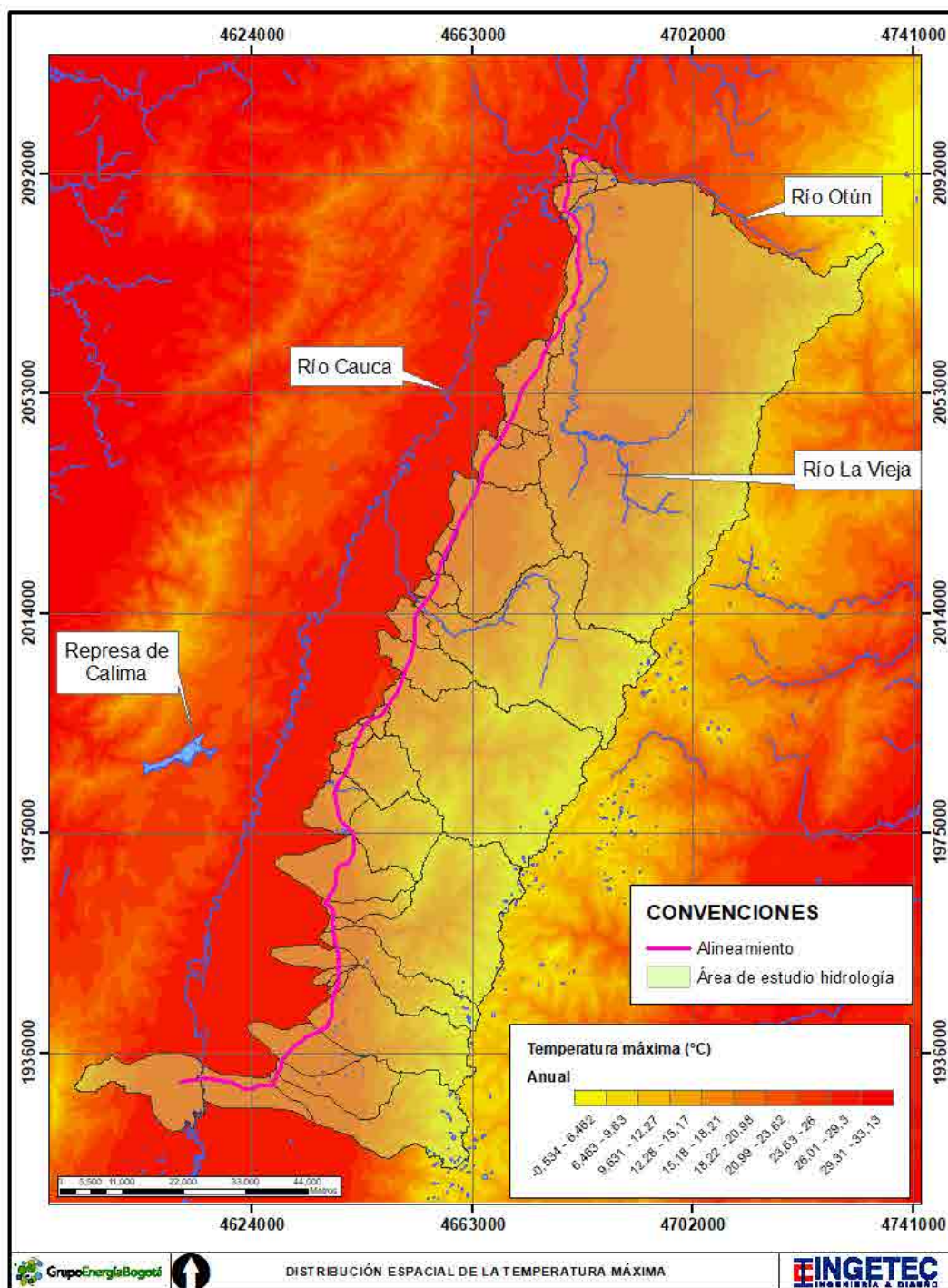


Figura 115. Distribución espacial de la temperatura máxima anual.

### 5.1.6.10.2.3. Temperatura mínima

Se analizaron los registros de temperatura mínima en 11 estaciones cercanas al área de influencia, encontrando que la temperatura se encuentra relacionada con la altitud a la cual se encuentran instaladas las estaciones de monitoreo. Se empleó el periodo 1996 – 2019 para definir en cada mes la relación existente entre la temperatura y la elevación del terreno. Los mapas de distribución de temperatura mensual para el área de influencia fueron construidos a partir de las curvas de elevación de la cartografía IGAC 100 000. En la Tabla 64 se presentan los promedios de temperatura mínima mensual multianual para cada estación analizada.

Tabla 64. Temperatura mínima mensual multianual (°C) en las estaciones cercanas al área de influencia.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Apt. Matecana	18,40	18,70	18,60	18,70	18,80	18,60	18,50	18,50	18,50	18,40	18,40	18,50
Barragán	10,30	10,40	10,60	10,90	11,20	10,90	10,60	10,60	10,60	10,40	10,50	10,50
Bohemia La	20,10	20,20	20,40	20,60	20,60	20,50	20,20	20,20	20,20	20,20	20,30	20,20
Cumbarco	16,70	16,70	16,80	16,90	17,00	17,00	17,10	17,10	16,80	16,60	16,60	16,80
Mateguadua	18,90	19,20	19,20	19,30	19,40	19,50	19,10	19,20	19,30	19,20	19,20	19,10
Palmira ICA	20,00	20,20	20,30	20,40	20,50	20,20	20,10	20,10	20,30	20,20	20,20	20,20
Riomanso	14,00	14,20	14,30	14,60	14,60	14,40	14,10	14,20	14,50	14,60	14,50	14,20
San José Palmar	19,40	19,50	19,60	19,80	19,90	19,80	19,70	19,80	19,70	19,40	19,40	19,60
San Marcos	19,30	19,50	19,80	20,10	20,20	19,90	19,40	19,30	19,60	19,70	19,90	19,70
San Antonio	18,10	18,20	18,40	18,60	18,80	18,90	18,70	18,80	18,90	18,30	18,30	18,20
Santa Isabel	10,70	10,80	11,00	11,30	11,60	11,70	11,40	11,30	11,20	11,10	11,10	11,10

En la Figura 116 se presenta el comportamiento mensual promedio de la temperatura mínima. La temperatura más baja se registró en la estación Barragan (10,30°C), localizada a una altitud de 3014 msnm y la temperatura más alta se registró en la estación La Bohemia (20,60°C), localizada a una altura de 962 msnm. Las temperaturas más altas se registran en el mes de agosto y en general se observa poca variación a lo largo del año.



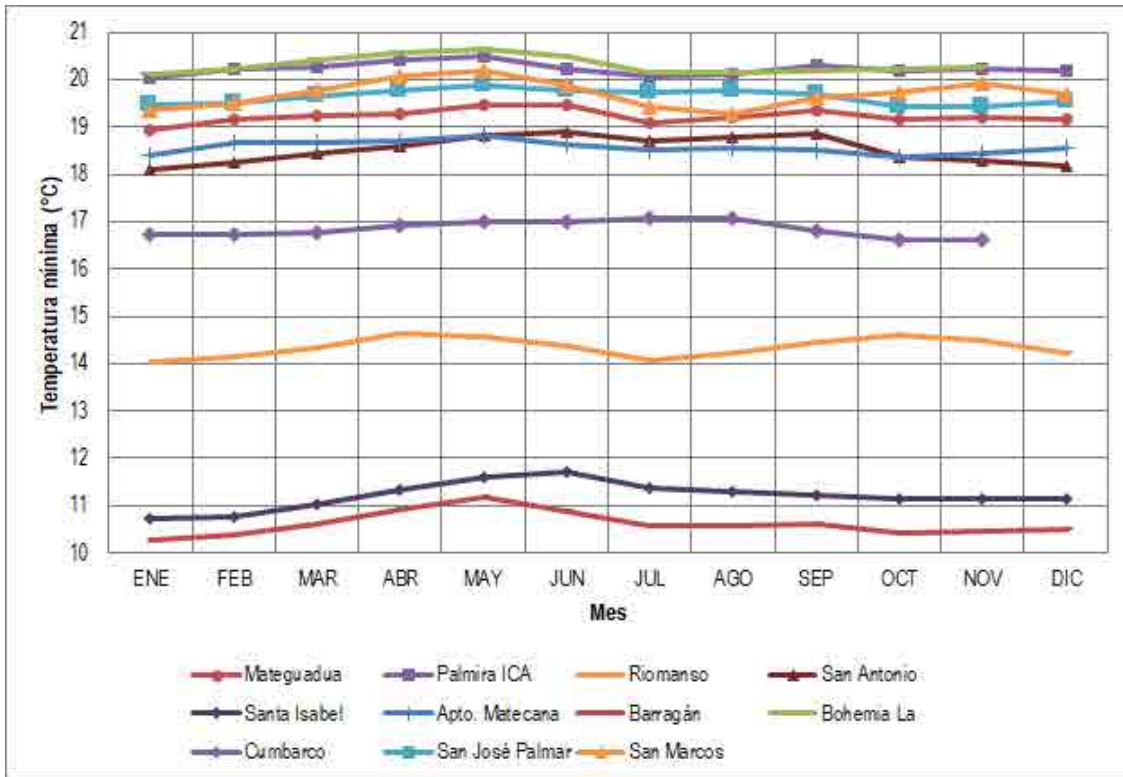
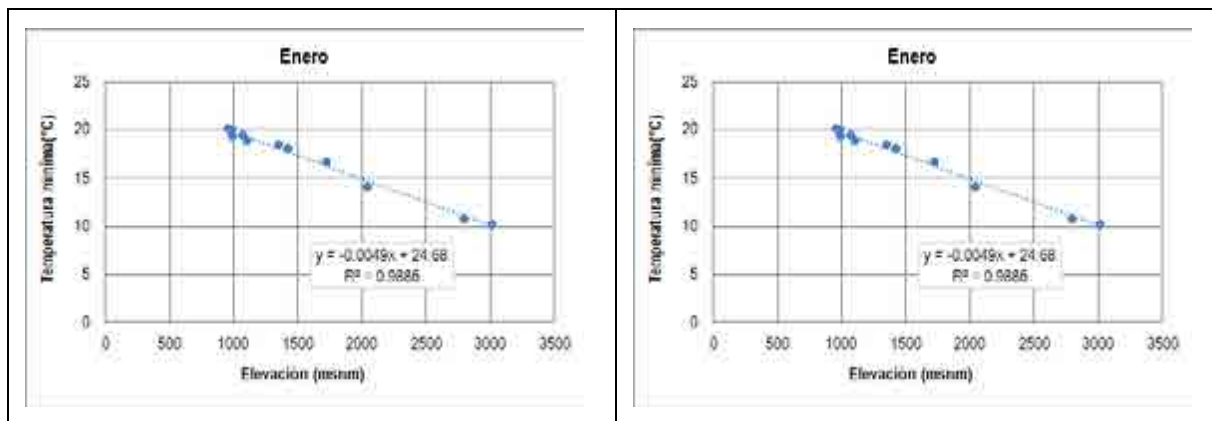
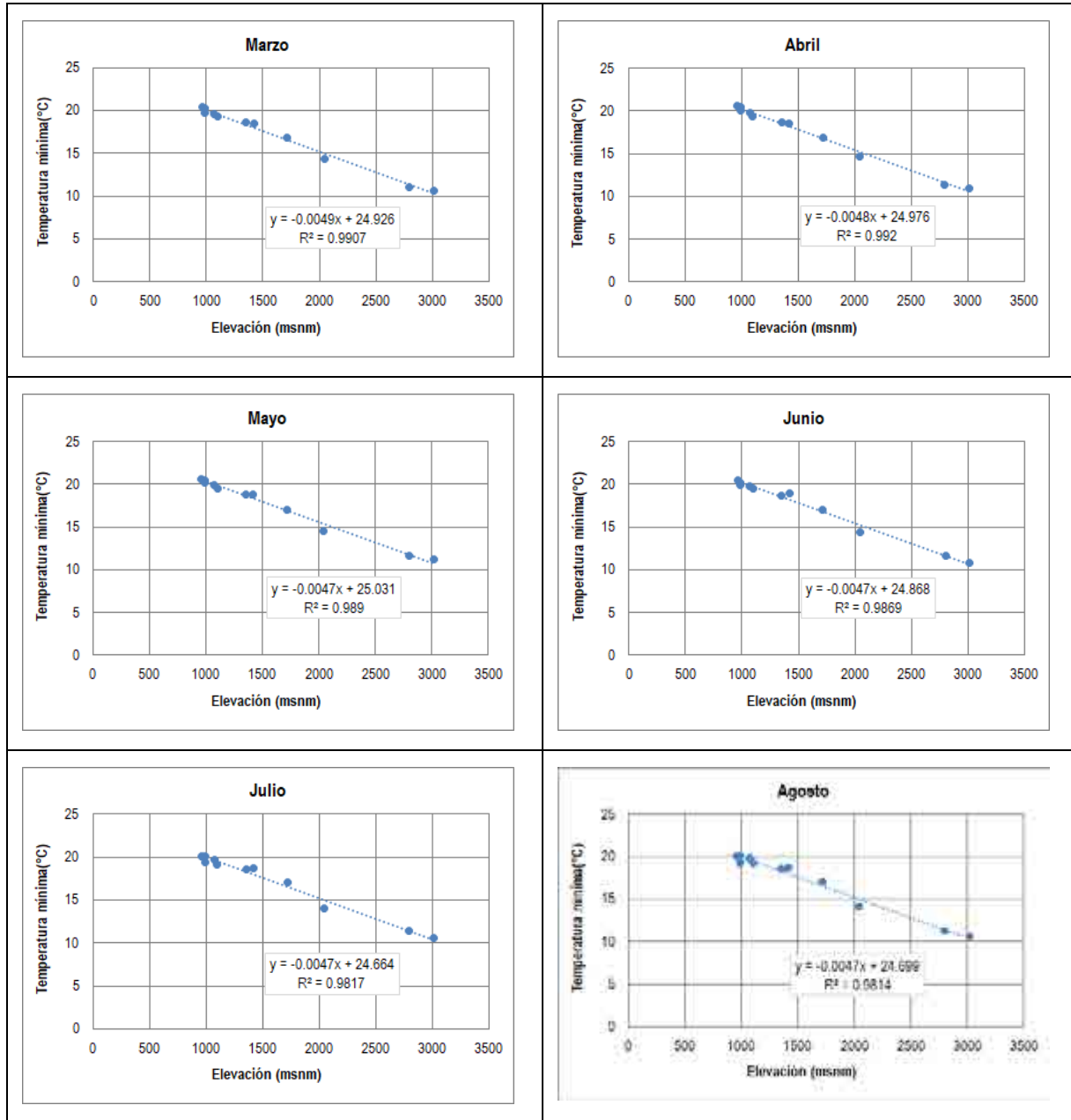


Figura 116. Variación mensual de la temperatura mínima en las estaciones.

En la Figura 117 se presentan las relaciones encontradas a nivel mensual con las cuales se construyeron los mapas de distribución espacial de la temperatura mínima para el área de influencia. La distribución espacial se presenta desde la Figura 119 hasta la Figura 130. (Anexo D4 - Hidrología/D.4.5 Variación espacial parámetros).





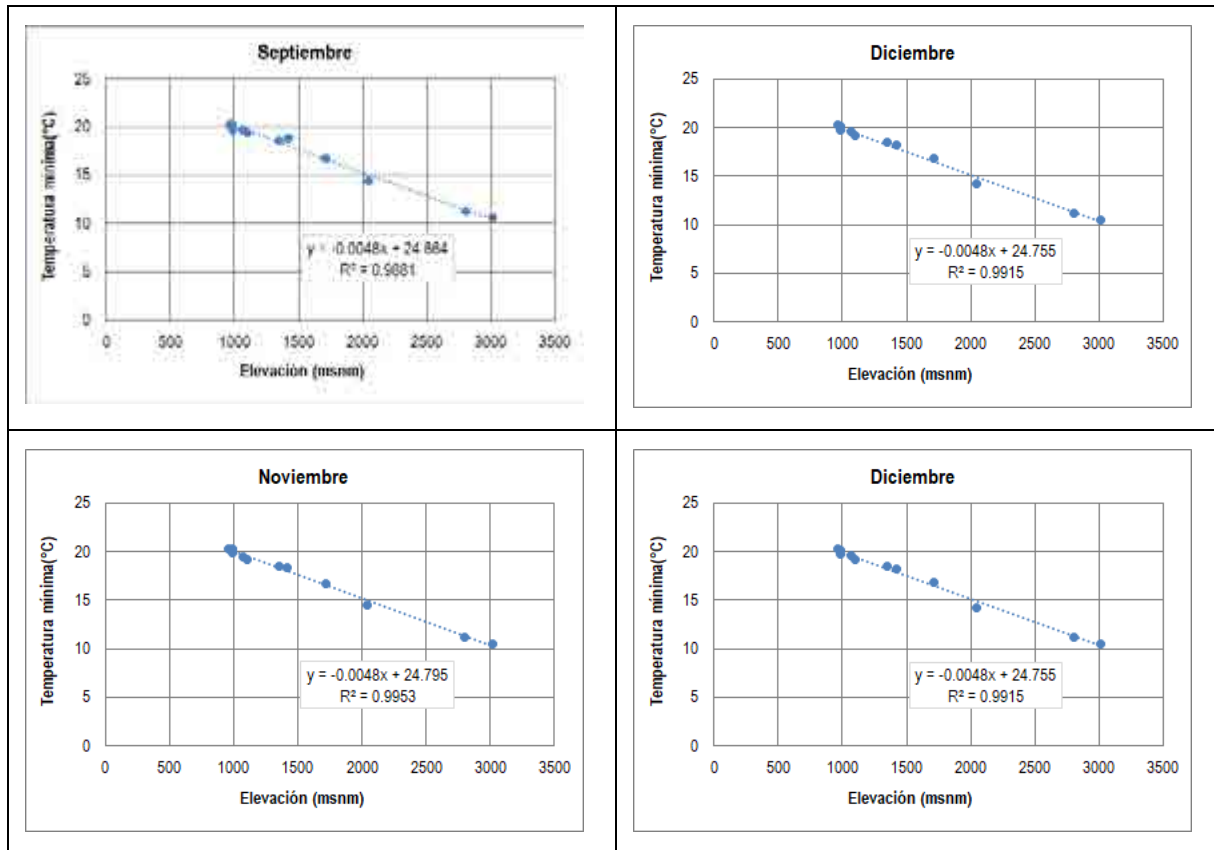


Figura 117. Relación entre la temperatura mínima y la elevación para cada mes.

A nivel anual se determinó la variación de la temperatura mínima en función de la elevación en la Figura 118 y se construyó el mapa incluido de la Figura 131.

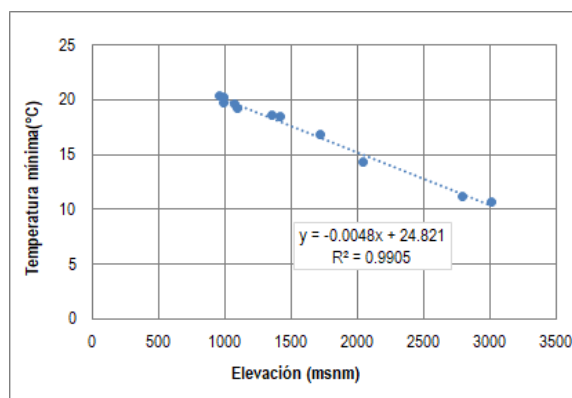


Figura 118. Relación entre la temperatura mínima anual y la elevación.

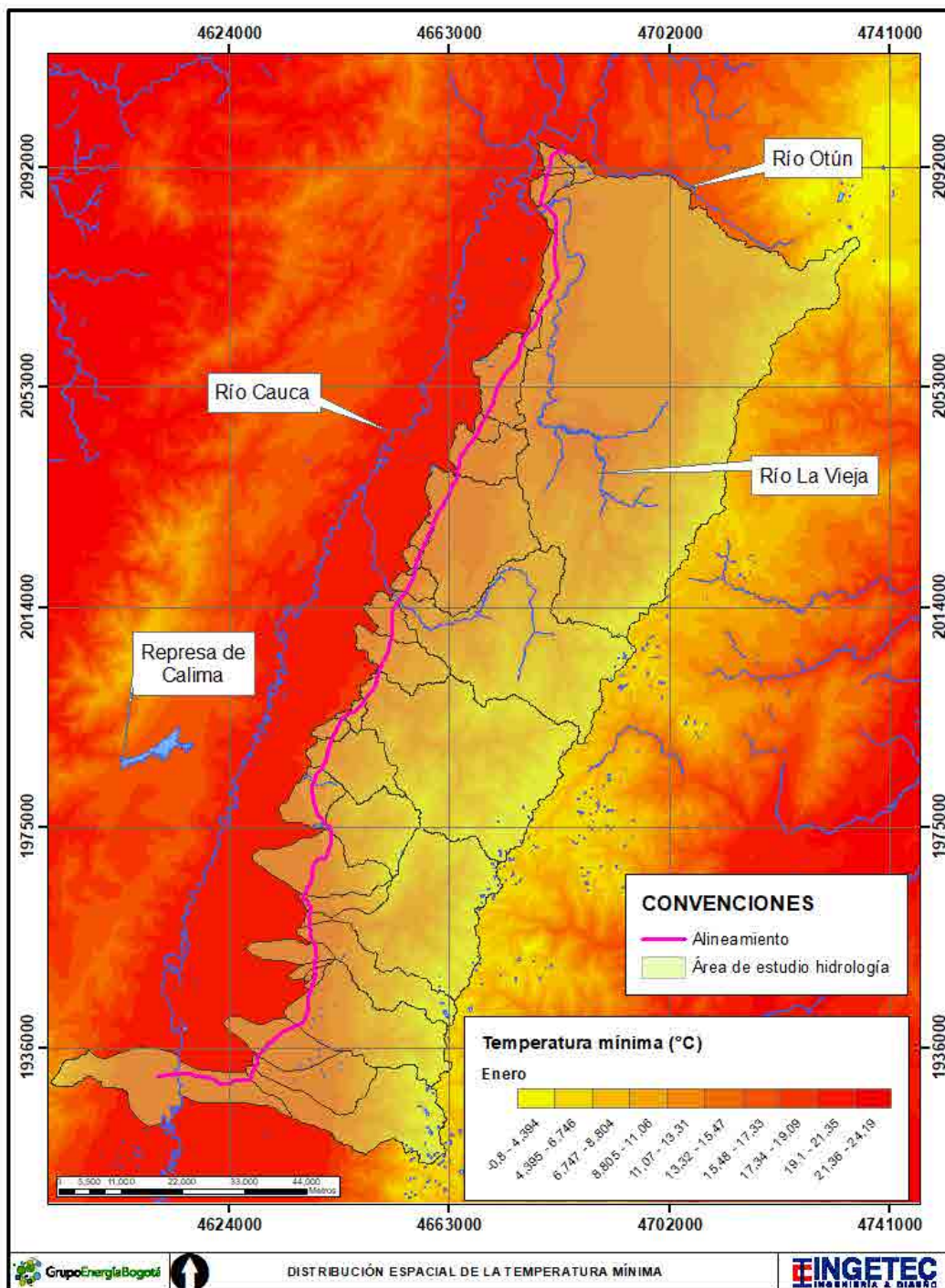


Figura 119. Distribución espacial de la temperatura mínima en enero.



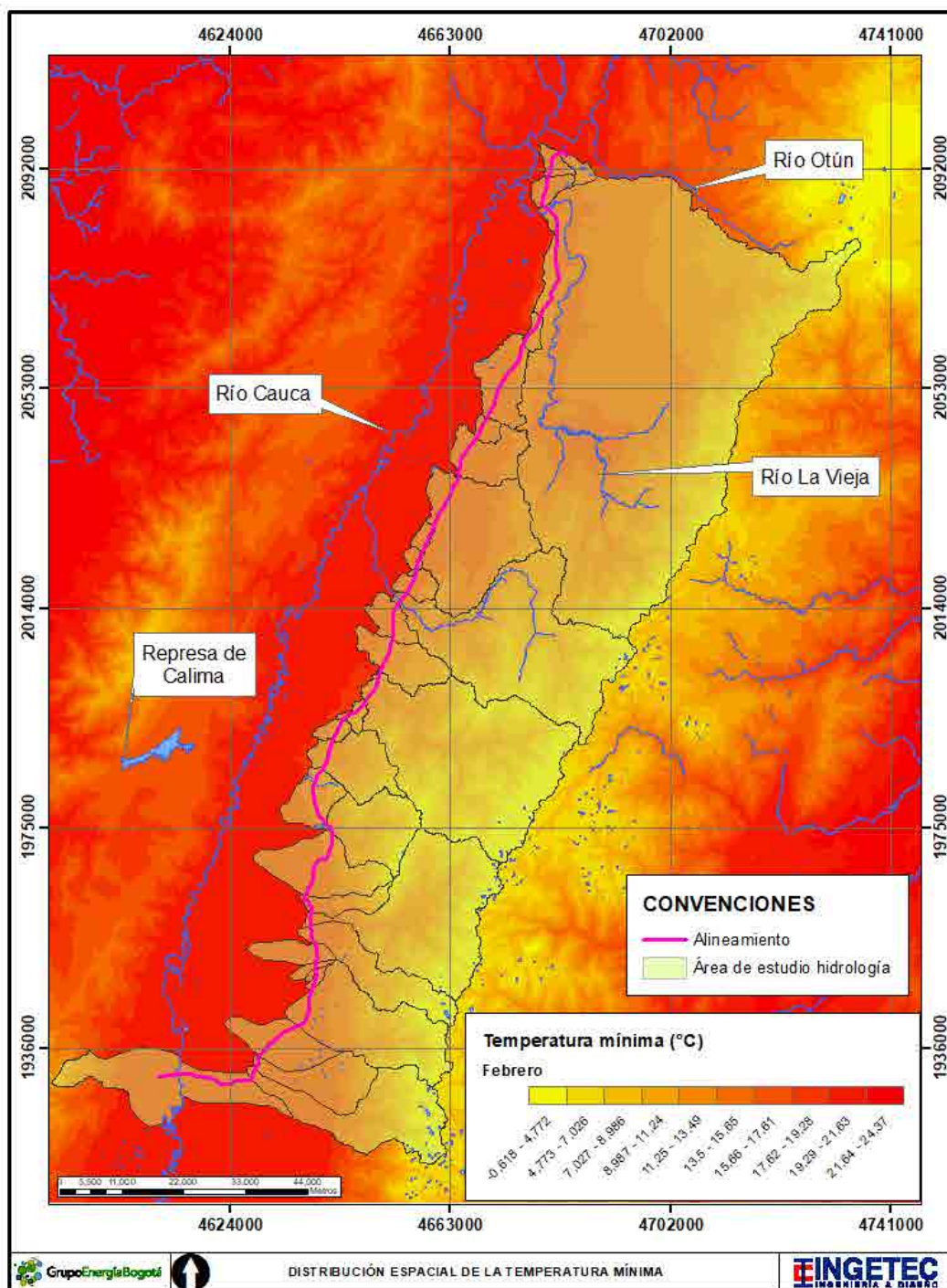


Figura 120. Distribución espacial de la temperatura mínima en febrero.

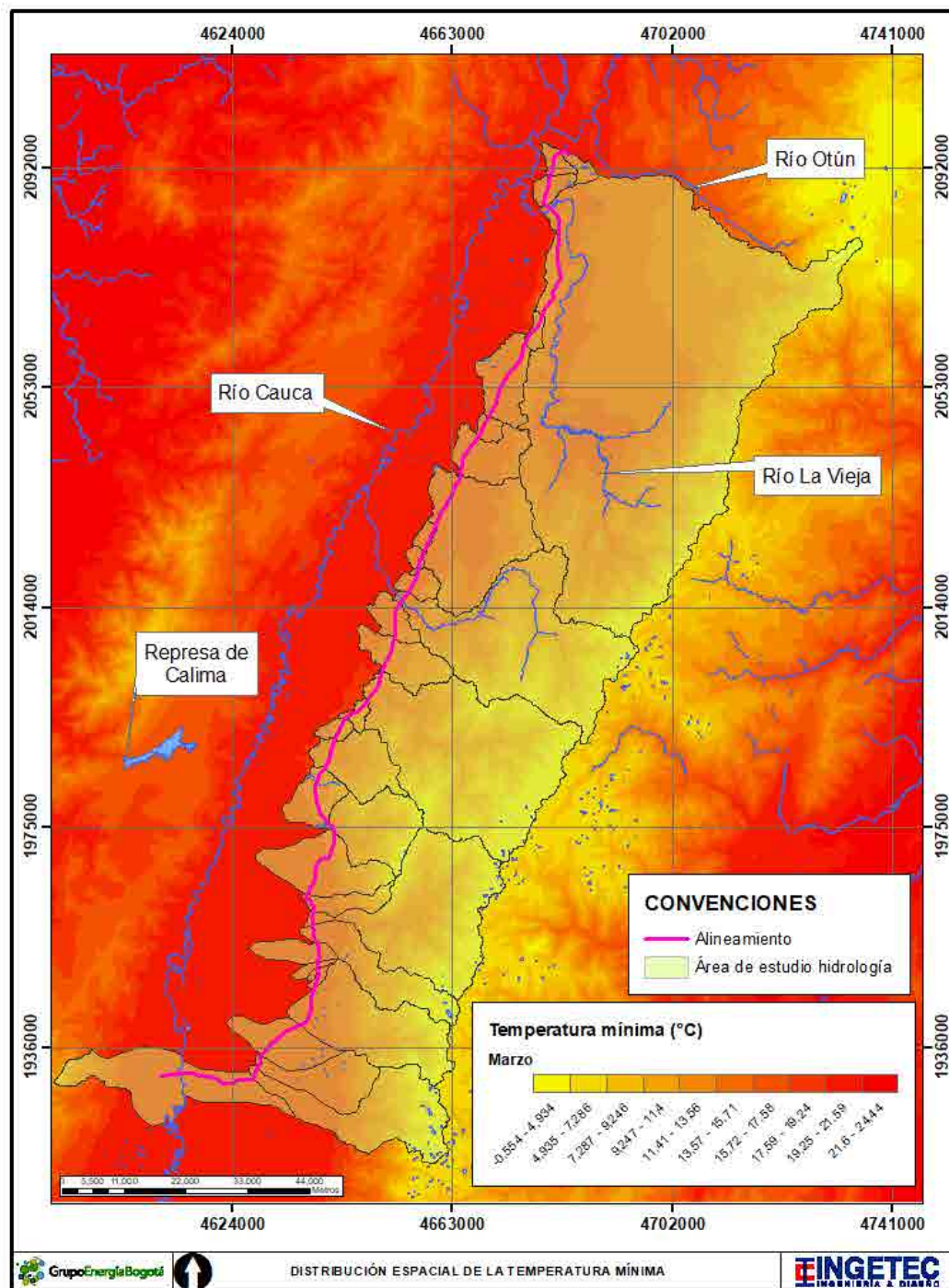


Figura 121. Distribución espacial de la temperatura mínima en marzo.



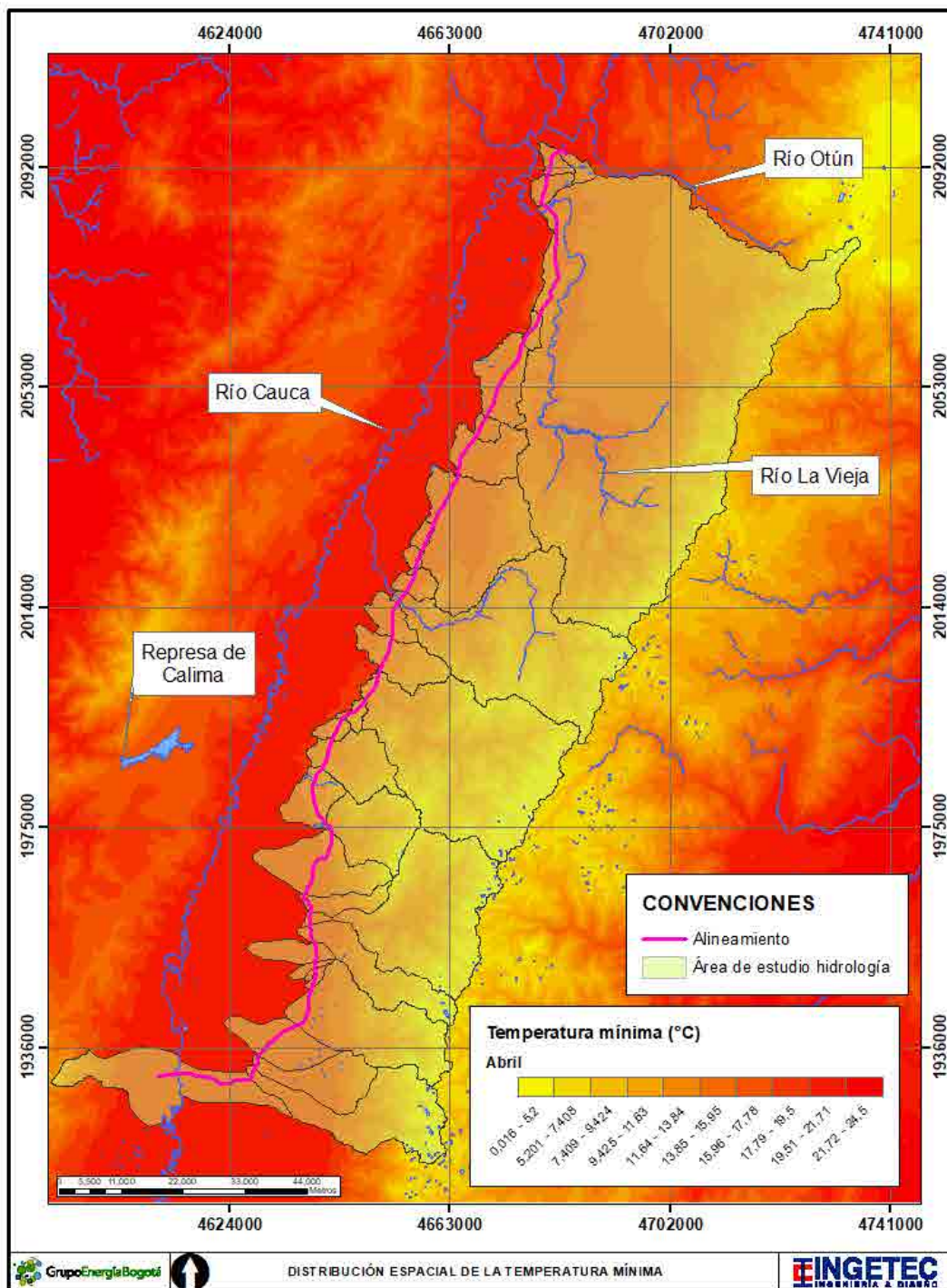


Figura 122. Distribución espacial de la temperatura mínima en abril.

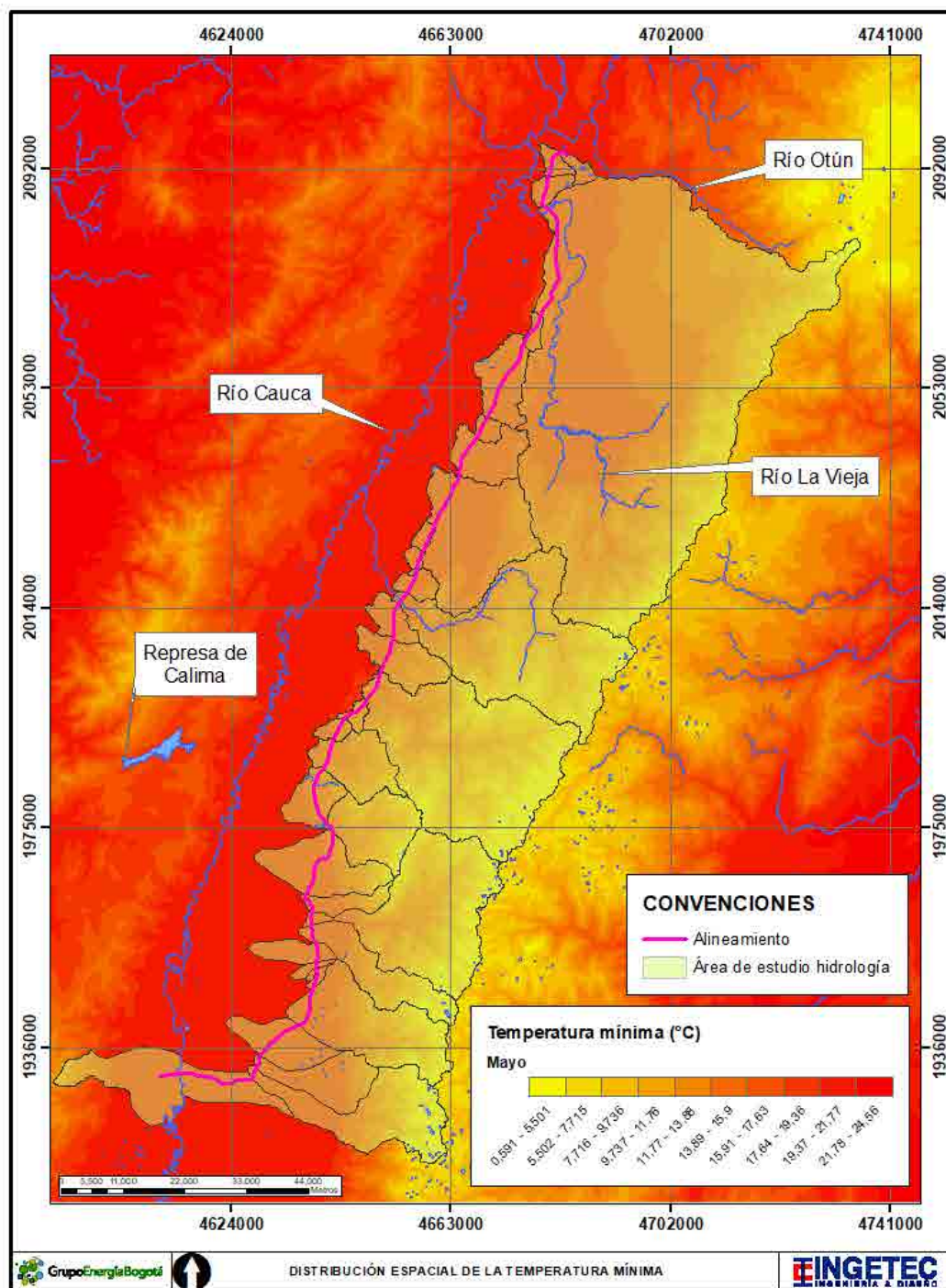


Figura 123. Distribución espacial de la temperatura mínima en mayo.



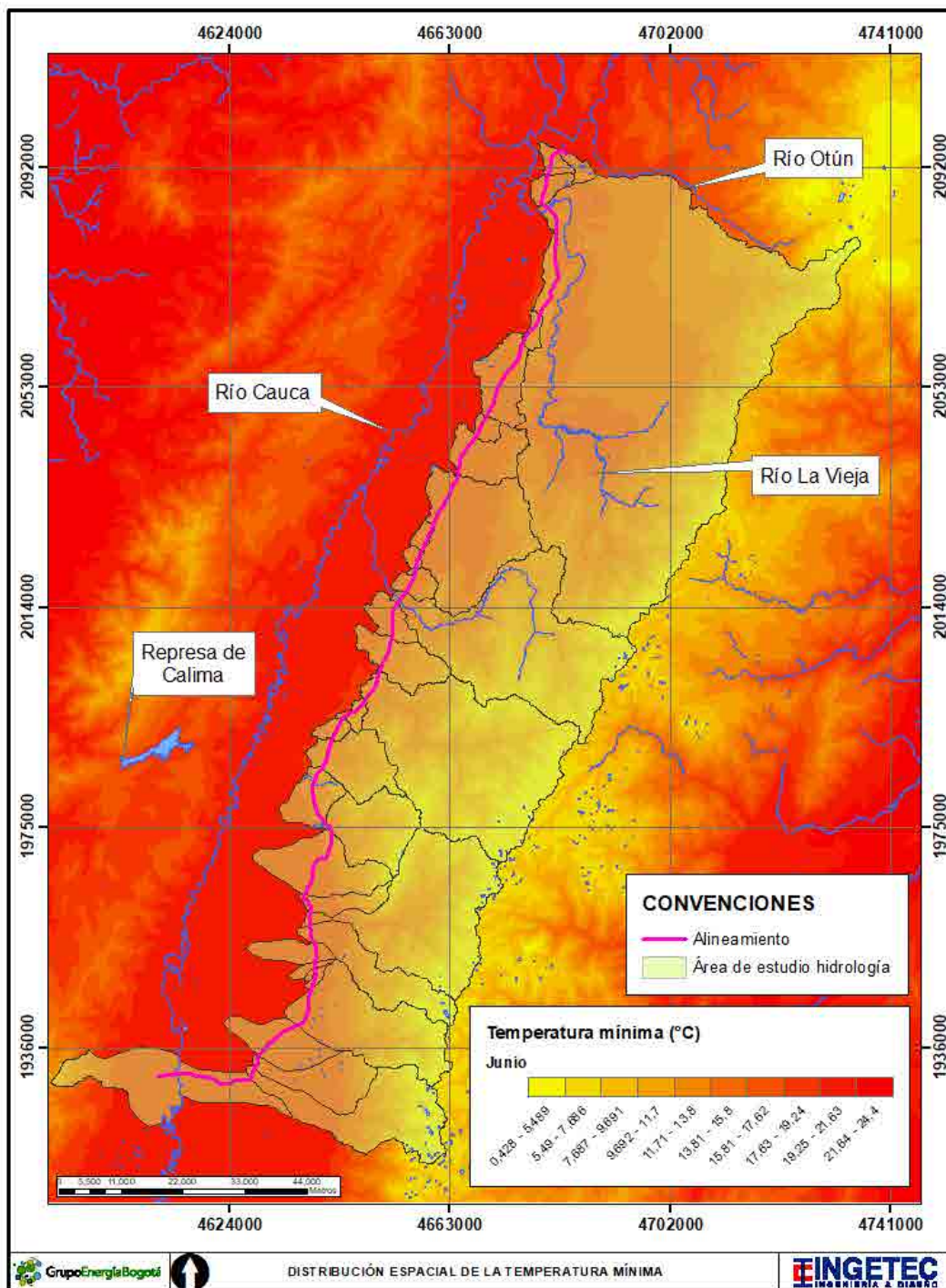


Figura 124. Distribución espacial de la temperatura mínima en junio.

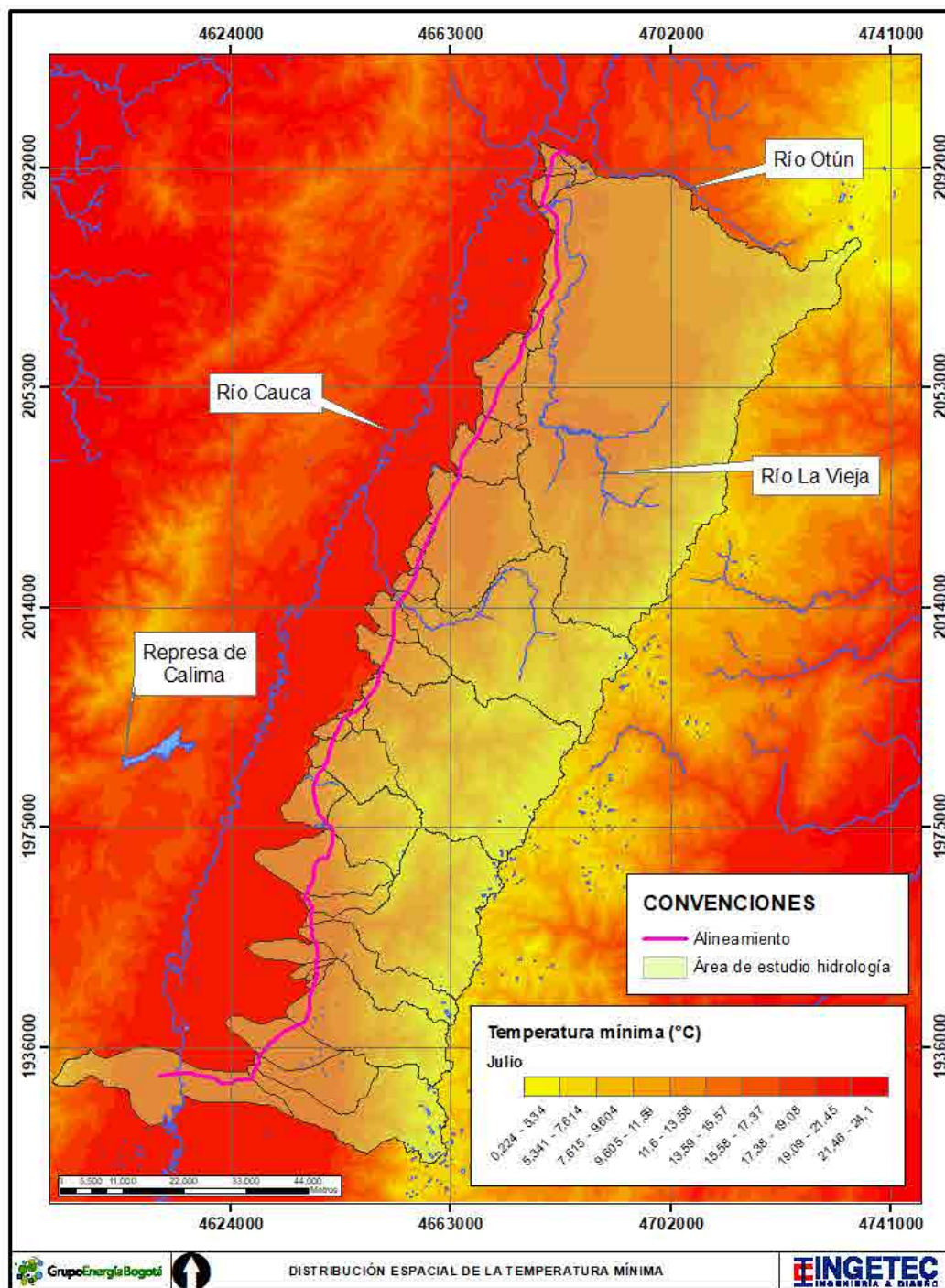


Figura 125. Distribución espacial de la temperatura mínima en julio.



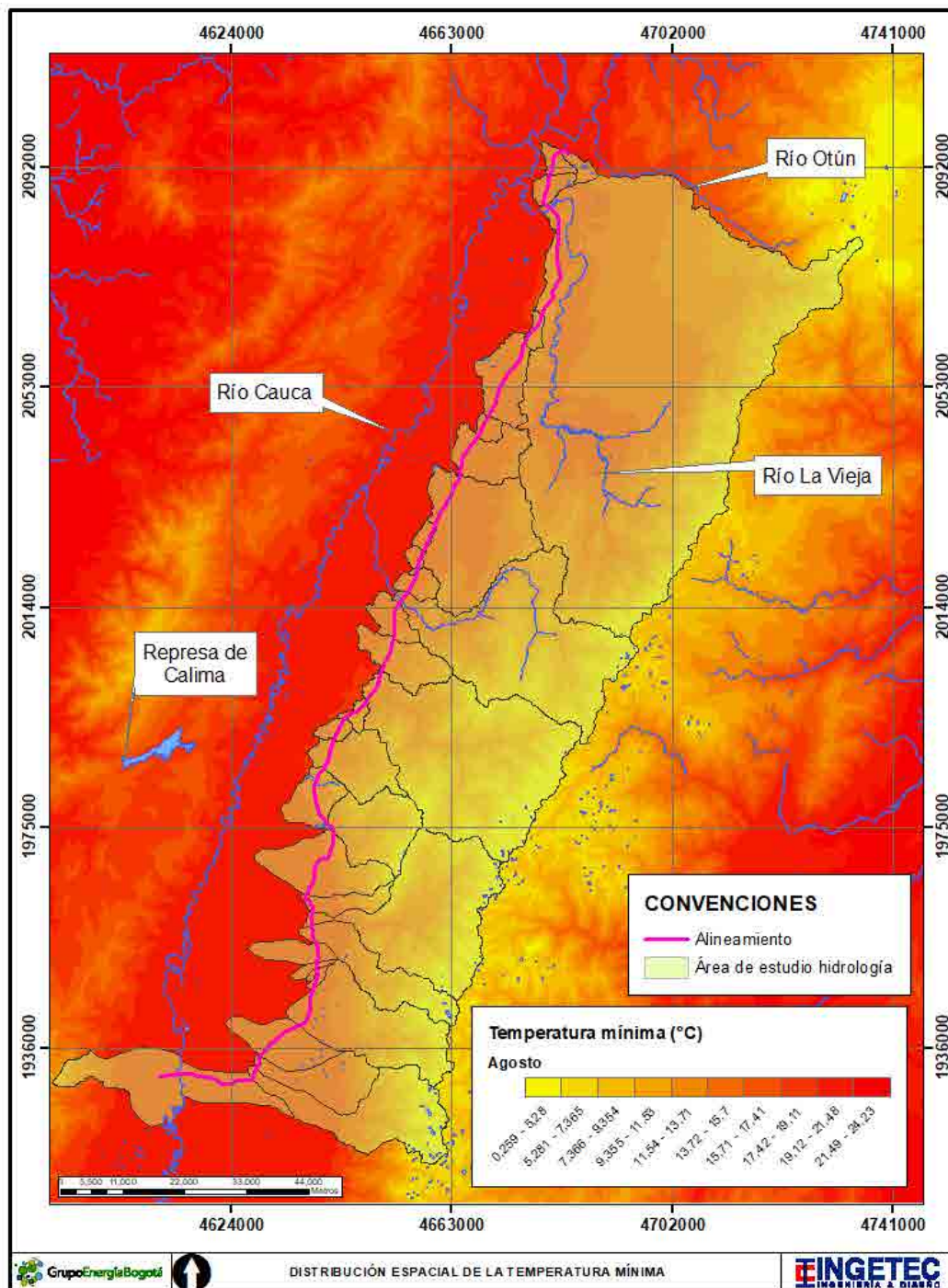


Figura 126. Distribución espacial de la temperatura mínima en agosto.

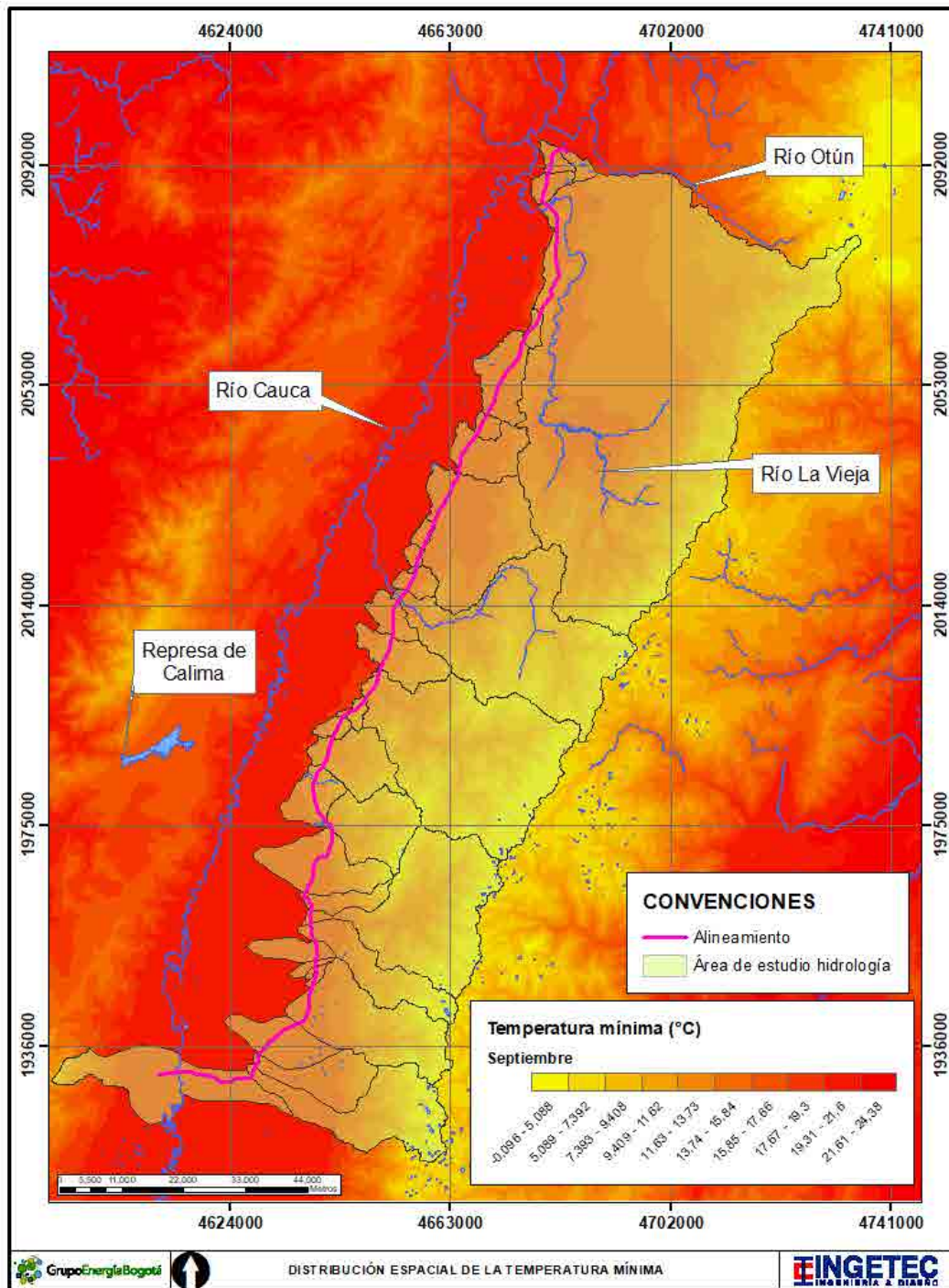


Figura 127. Distribución espacial de la temperatura mínima en septiembre.



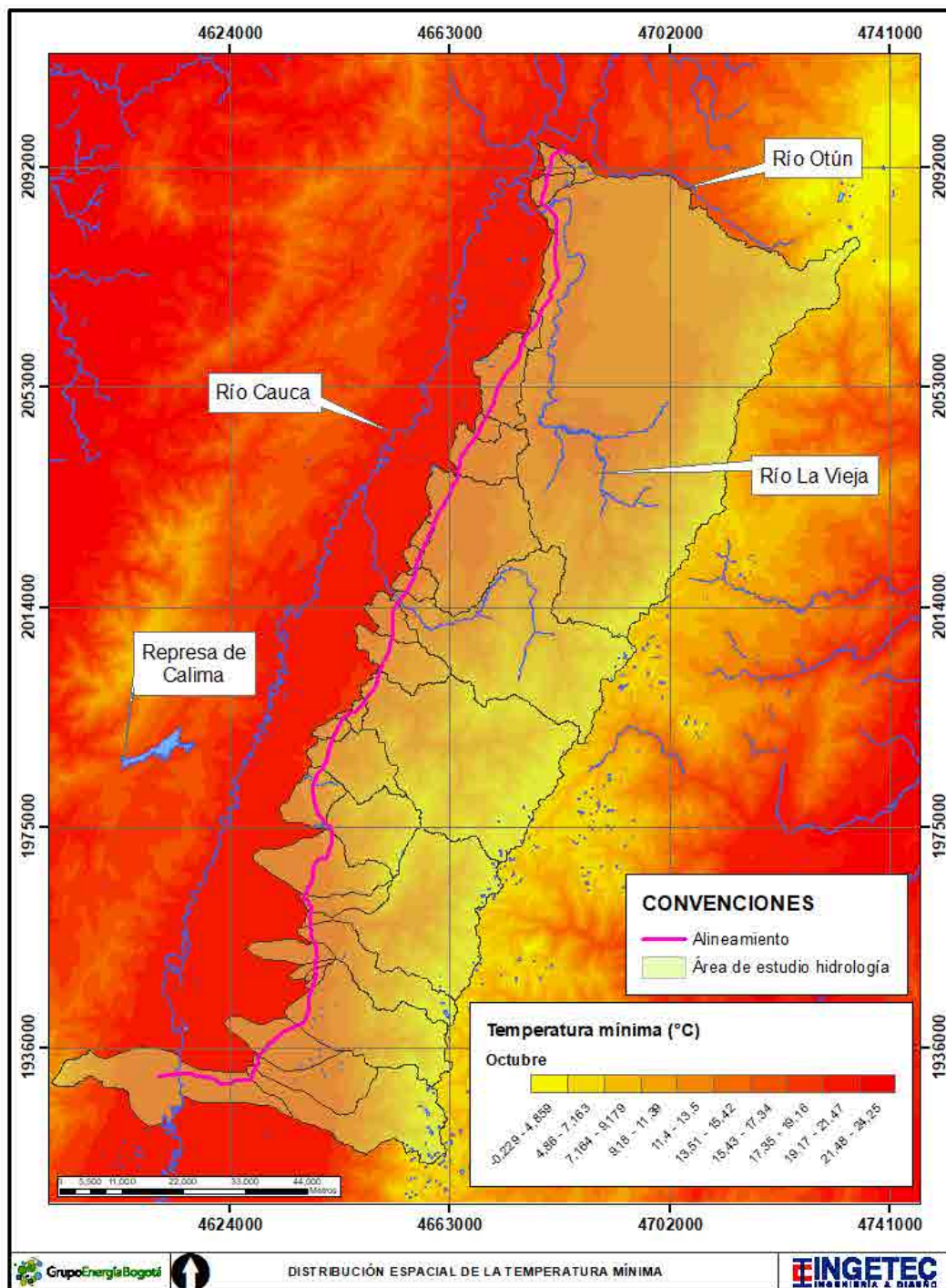


Figura 128. Distribución espacial de la temperatura mínima en octubre.

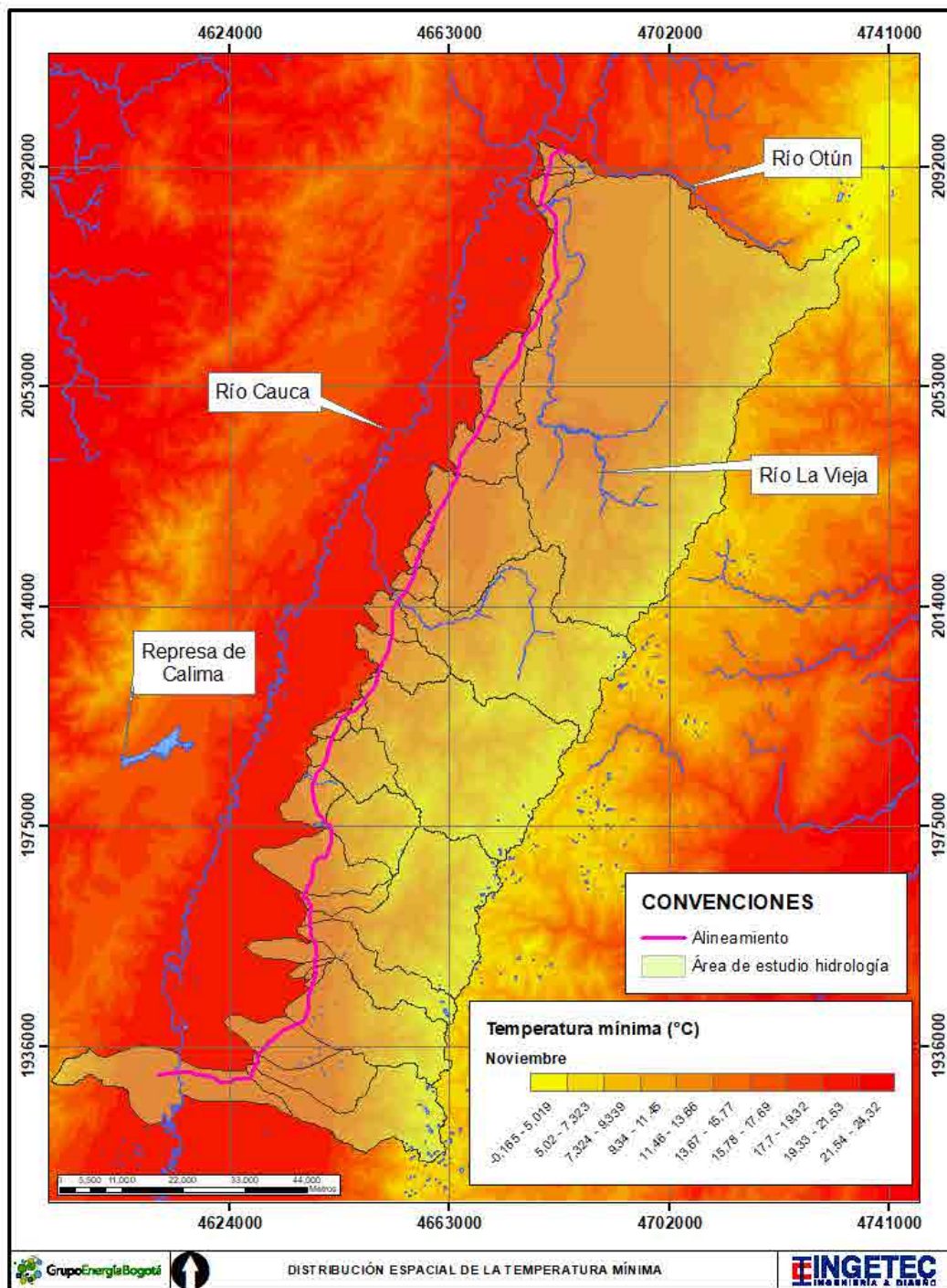


Figura 129. Distribución espacial de la temperatura mínima en noviembre.



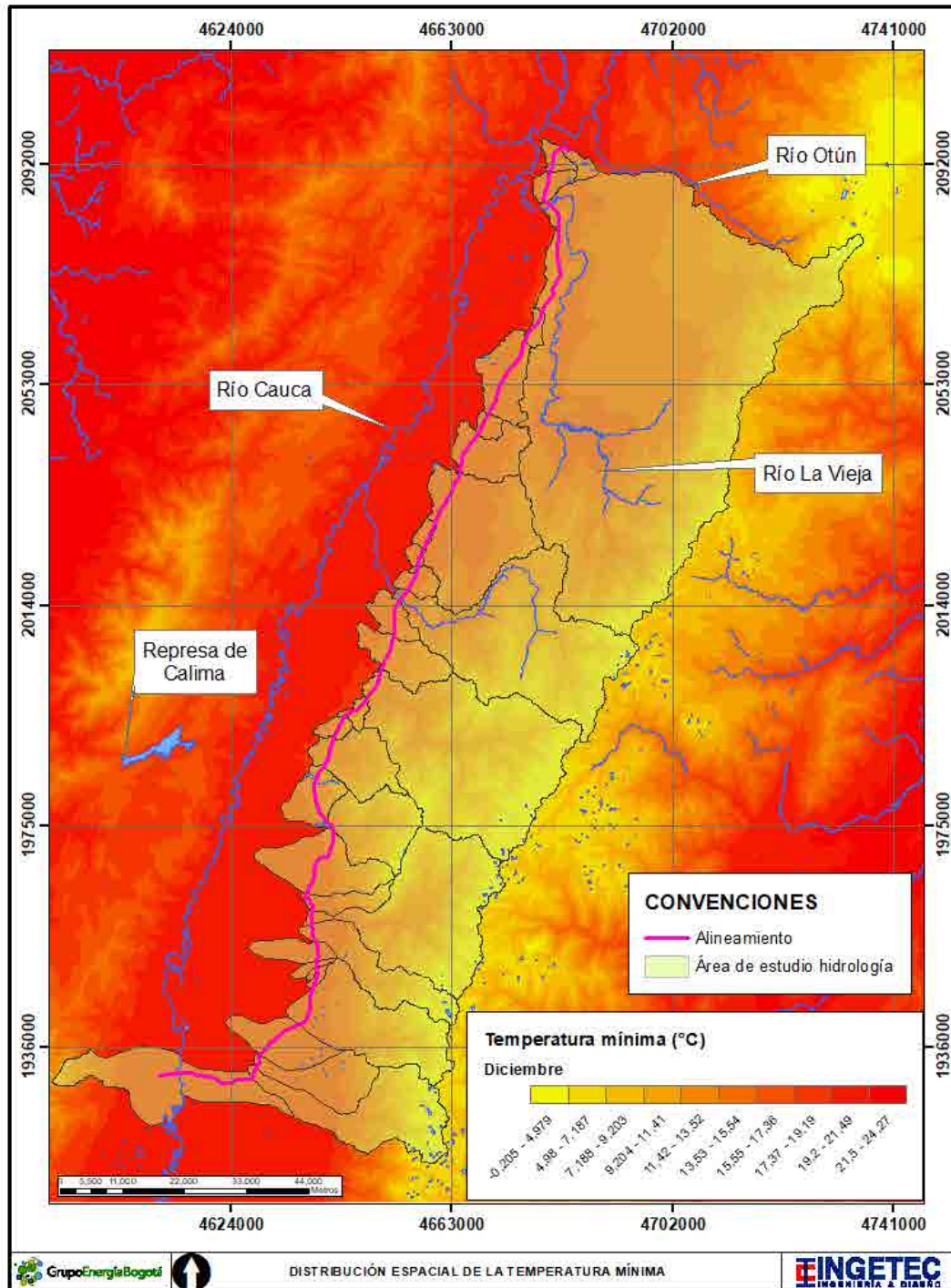


Figura 130. Distribución espacial de la temperatura mínima en diciembre.

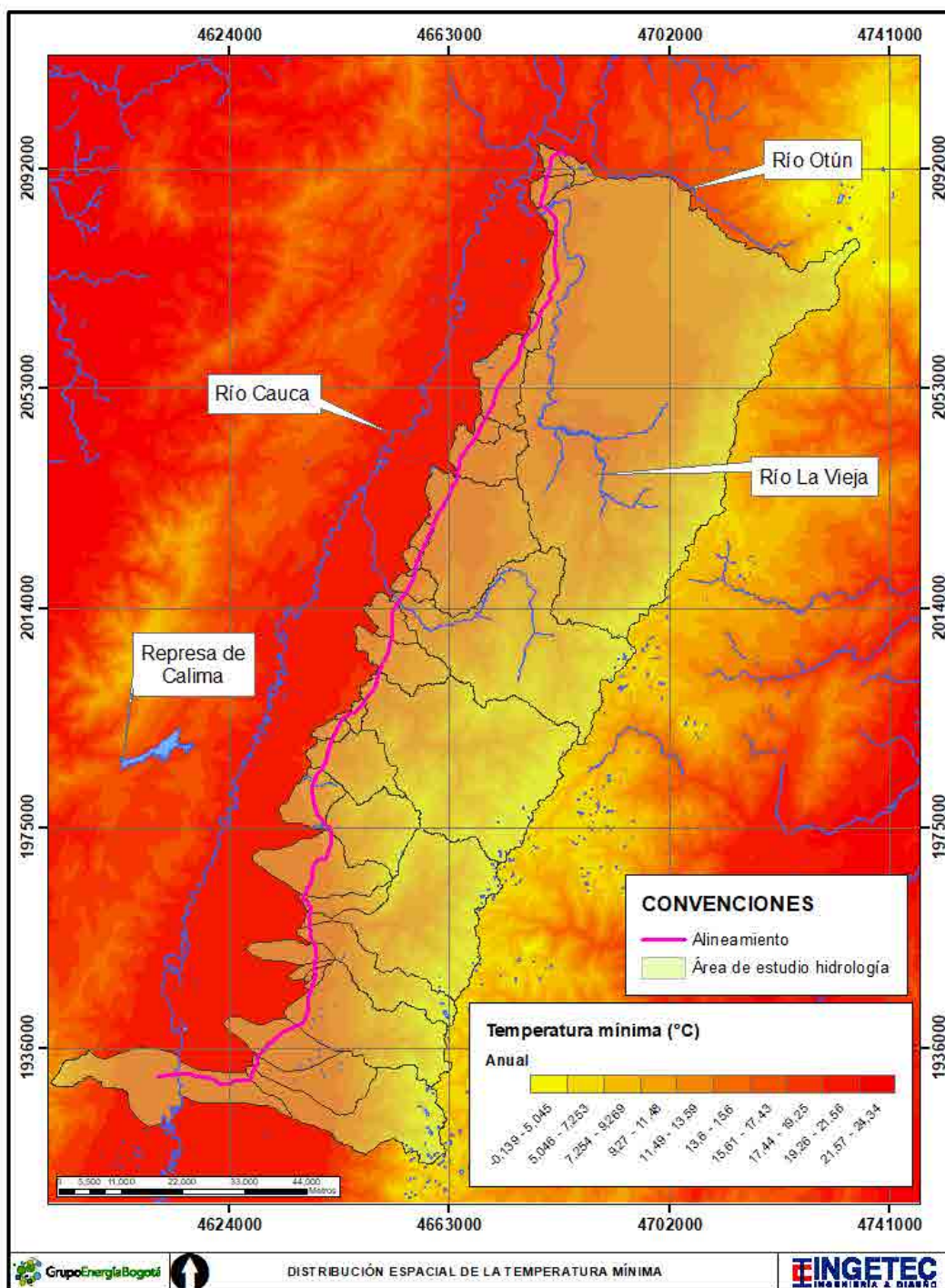


Figura 131. Distribución espacial de la temperatura mínima anual.

### 5.1.6.11. Caracterización hidrológica

La caracterización hidrológica se realizó a partir de los registros de caudales diarios complementados en el numeral [5.1.1.5.3.2.](#) y los caudales máximos instantáneos registrados en las diez estaciones hidrométricas localizadas en las subcuencas cercanas al área de estudio (Tabla 65).

Tabla 65. Estaciones utilizadas en el análisis hidrológico

Código	Nombre	Tipo	Corriente	Entidad	Coordenadas	
					Este	Norte
2612800403	Amaime	LM	Amaime	CVC	4636614	1957503
2612720401	Bolo Arriba	LM	Bolo	CVC	4633644	1942381
26077060	Buchitolo	LM	Fraile	IDEAM	4627839	1931492
26127040	Cartago	LG	La Vieja	IDEAM	4678483	2084385
26127010	El Alambrado	LG	La Vieja	IDEAM	4680977	2045945
2614400403	El Placer	LG	Bugalagrande	CVC	4656264	2011398
26097040	El Vergel	LG	Guadalajara	IDEAM	4637557	1988353
2614500402	La Sorpresa	LM	Paila	CVC	4660069	2037203
26077110	Los Minchos	LG	Bolo	IDEAM	4647388	1936467
26107130	Mateguadua	LG	Tuluá	IDEAM	4649417	2002359

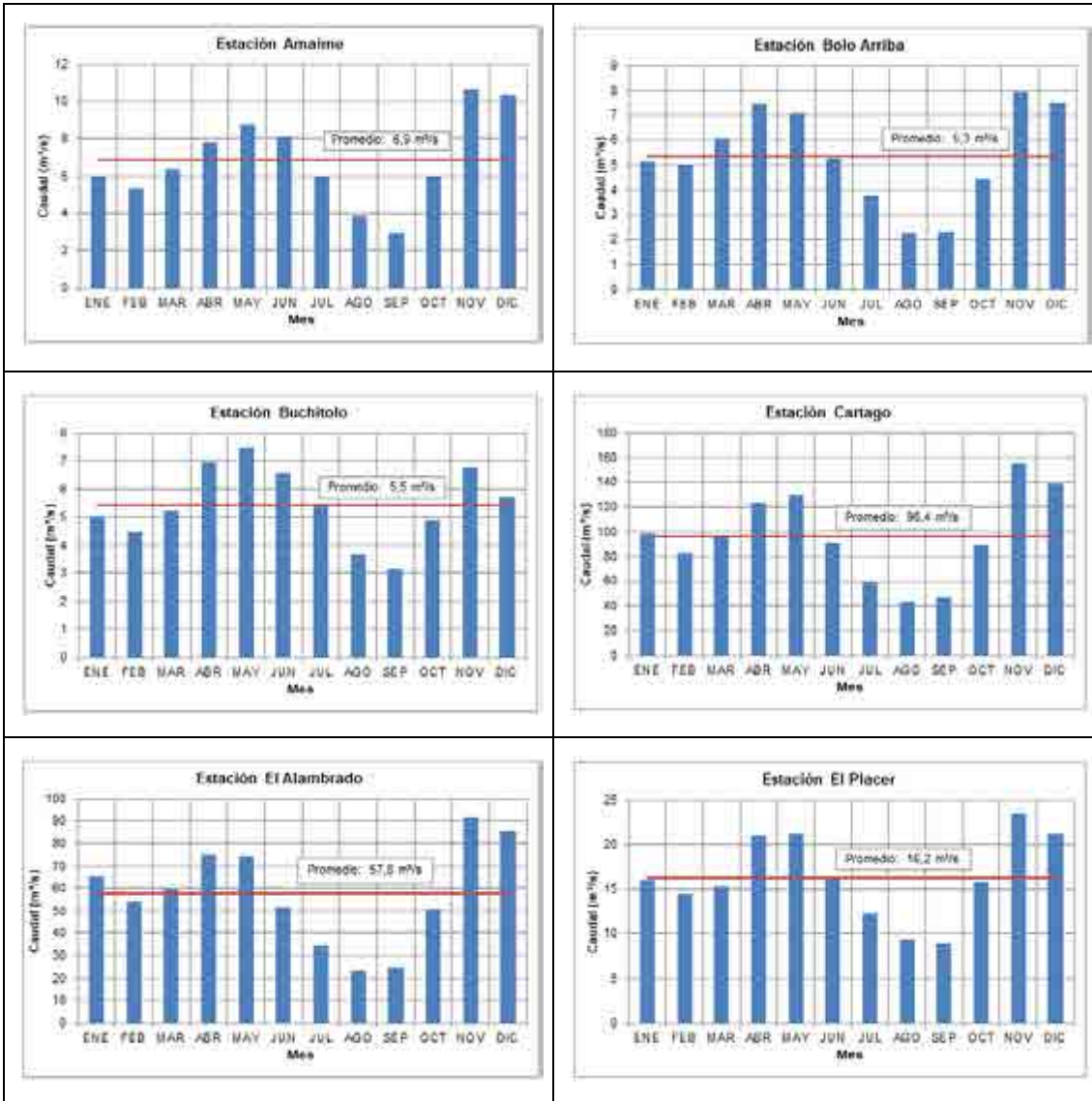
LG: Limnigráfica  
LM: Limnimétrica

Fuente: Tomada y adaptada. IDEAM y CVC.

#### 5.1.6.11.1. Caudales medios en las estaciones identificadas

De acuerdo con la Figura 132 el régimen de caudales en las estaciones identificadas es de tipo bimodal. En términos generales, el periodo de caudales por encima del promedio ocurre de abril a junio y de noviembre a diciembre, siendo el mes de noviembre el que presenta mayor caudal. El periodo de caudales bajos se presenta en los meses restantes, donde el mes de agosto y septiembre presentan el caudal mensual multianual más bajo. El caudal presentado en cada mes y el caudal promedio estimado en cada estación se relaciona en la Tabla 66.







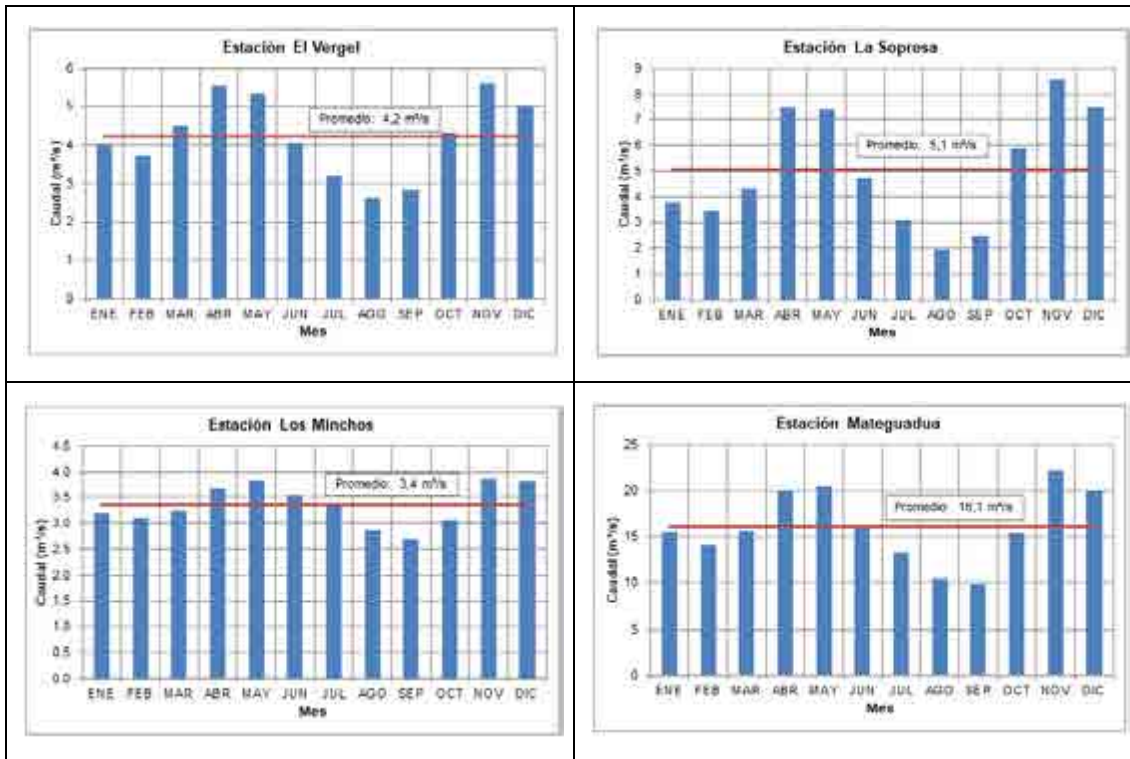


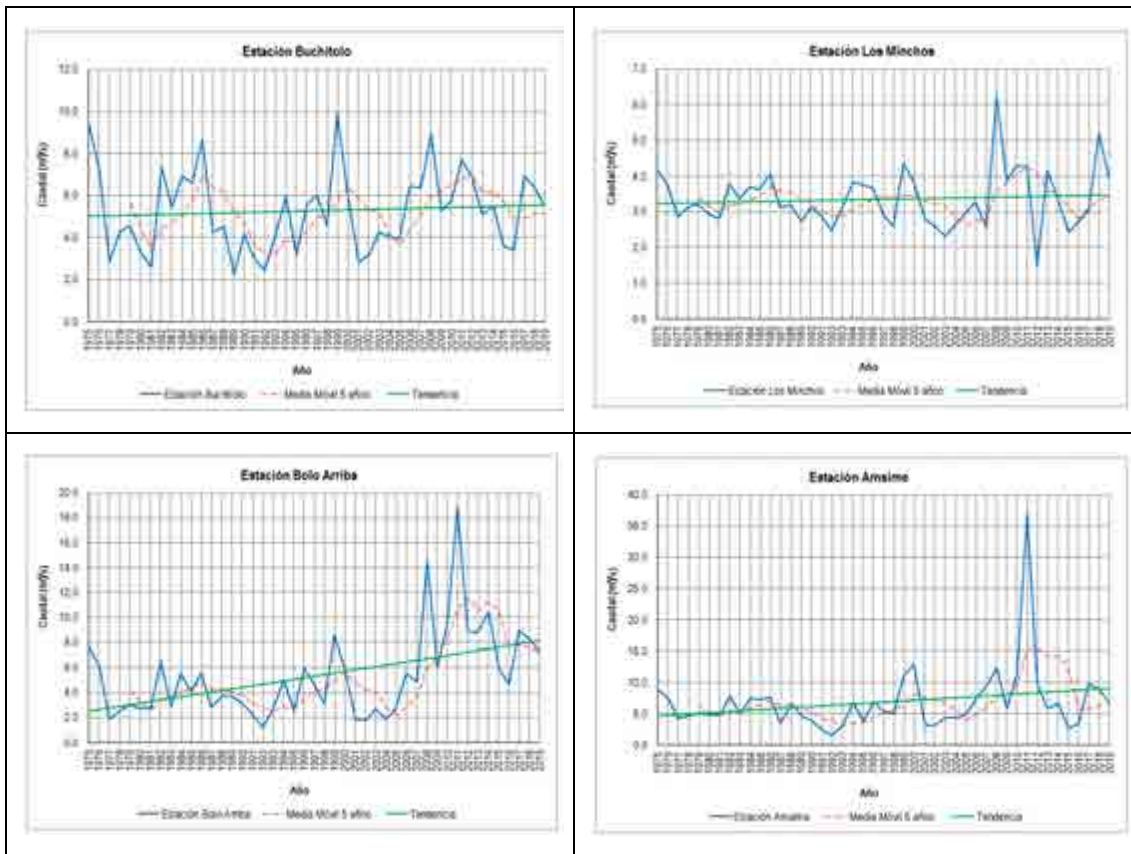
Figura 132. Distribución temporal de caudales medios mensuales en las estaciones hidrométricas identificadas en el área de estudio.

Tabla 66. Caudal medio mensual multianual en m³/s en las estaciones hidrométricas identificadas en el área de estudio. Periodo 1975-2019.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Bolo Arriba	5,2	5,0	6,1	7,5	7,1	5,2	3,8	2,3	2,3	4,4	7,9	7,5	5,4
Los Minchos	3,2	3,1	3,2	3,7	3,8	3,5	3,4	2,9	2,7	3,1	3,9	3,8	3,4
Amaime	6,0	5,4	6,4	7,8	8,8	8,1	6,0	3,9	3,0	6,0	10,7	10,3	6,9
Buchitolo	5,0	4,5	5,2	7,0	7,5	6,6	5,5	3,7	3,1	4,9	6,8	5,7	5,5
El Vergel	4,0	3,7	4,5	5,5	5,3	4,1	3,2	2,6	2,8	4,3	5,6	5,0	4,2
Mateguadua	15,5	14,1	15,7	20,1	20,4	16,2	13,3	10,5	9,8	15,4	22,3	20,0	16,1
El Alabrado	65,5	54,3	59,7	75,2	74,9	51,6	34,6	23,8	24,9	50,6	92,2	86,0	57,8
Cartago	98,6	82,9	95,9	123,7	130,2	91,1	59,6	43,2	46,9	89,8	155,7	138,8	96,4
La Sorpresa	3,8	3,4	4,3	7,5	7,4	4,7	3,1	1,9	2,5	5,9	8,6	7,5	5,1
El Placer	15,9	14,5	15,3	21,0	21,2	16,1	12,2	9,3	9,0	15,7	23,5	21,2	16,2

### 5.1.6.11.1.1. Análisis de tendencia

Con el fin de establecer los ciclos de años húmedos y secos, se realizó un análisis sobre la evolución en el tiempo del caudal medio anual de las estaciones identificadas en la zona de estudio. En la Figura 133 se muestra dicha variación utilizando una media móvil para períodos de cinco años.



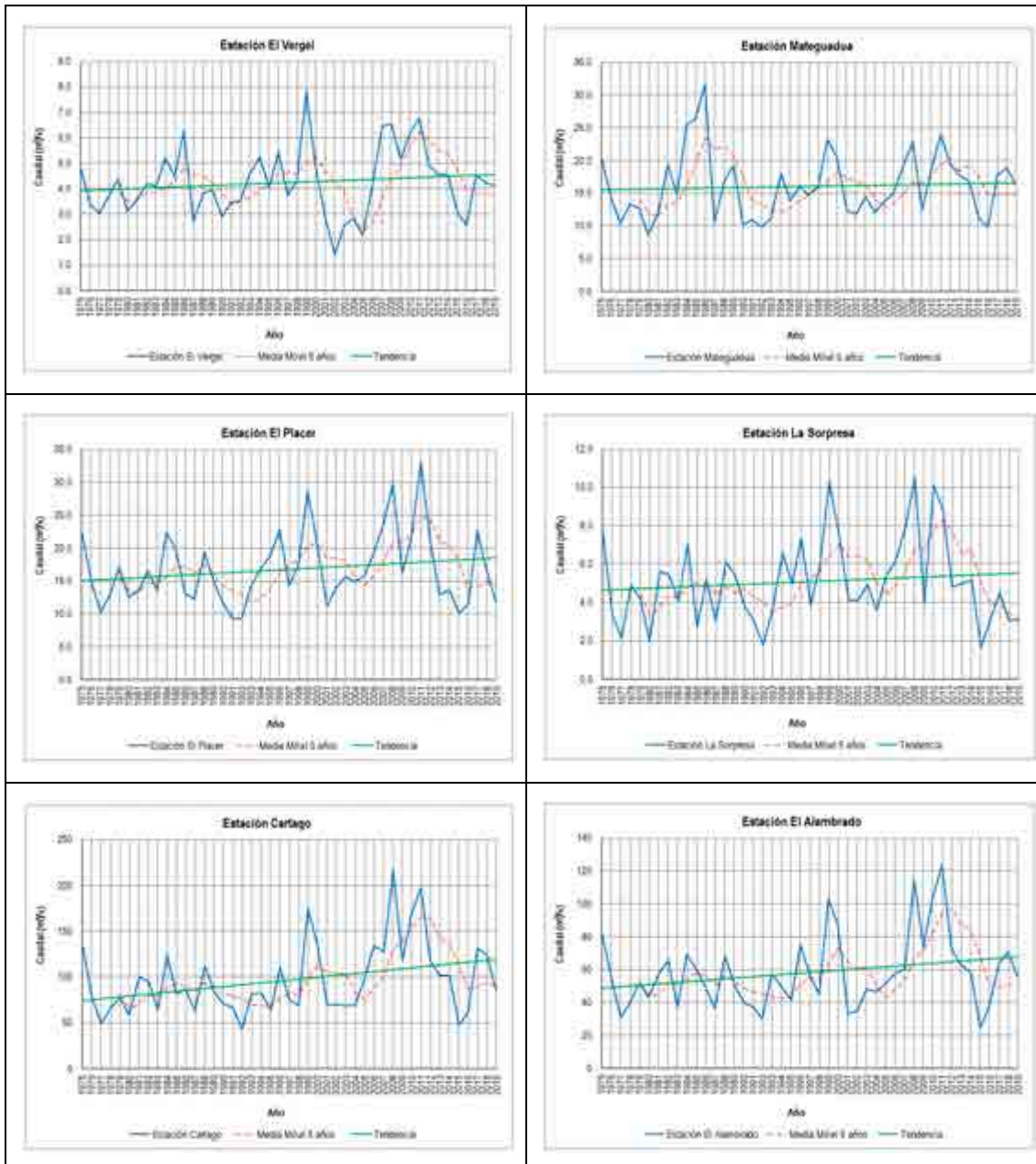


Figura 133. Variación de caudales medios anuales en las estaciones hidrométricas analizadas.

En general, el caudal medio máximo se presenta en los años 1999, 2008 y 2011 y el caudal medio más bajo se presenta en el año 1992 y 2015. Según la clasificación de Jan Null estos

años se encuentran posiblemente influenciados por el fenómeno ENSO en su fase niña y niño respectivamente.

La tendencia de los caudales es creciente, la ciclicidad anual de los caudales, definida entre los años que corta la línea de tendencia con la serie anual de caudales, oscila entre mínimo dos años y seis años. (Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales).

#### 5.1.6.11.2. Caudales medios en los cuerpos de agua de interés

Para estimar los caudales medios en las cuencas y subcuencas identificadas se construyó una curva envolvente de caudales medios relacionando el caudal medio registrado en  $m^3/s$  de las estaciones analizadas versus el área de drenaje de la cuenca en  $km^2$  hasta el sitio de la estación.

De los mapas de isolíneas de precipitación media anual multianual presentados en la Figura 83, se identificó que las estaciones Buchitolo, Los Minchos, Bolo Arriba, Amaime, el Vergel y Mateguadua presentan una precipitación total anual entre los 1433 mm y 1500 mm, mientras que en las estaciones El Placer, La Sorpresa, Cartago y El Alambrado varía entre los 1600 mm y 2256 mm. Por lo tanto, se elaboraron dos curvas envolventes de caudales medios. Una para las estaciones Buchitolo, Los Minchos, Bolo Arriba, Amaime, el Vergel y Mateguadua que se denominó zona sur y otra envolvente para las estaciones El Placer, La Sorpresa, Cartago y El Alambrado que se denominó zona norte (Figura 134).



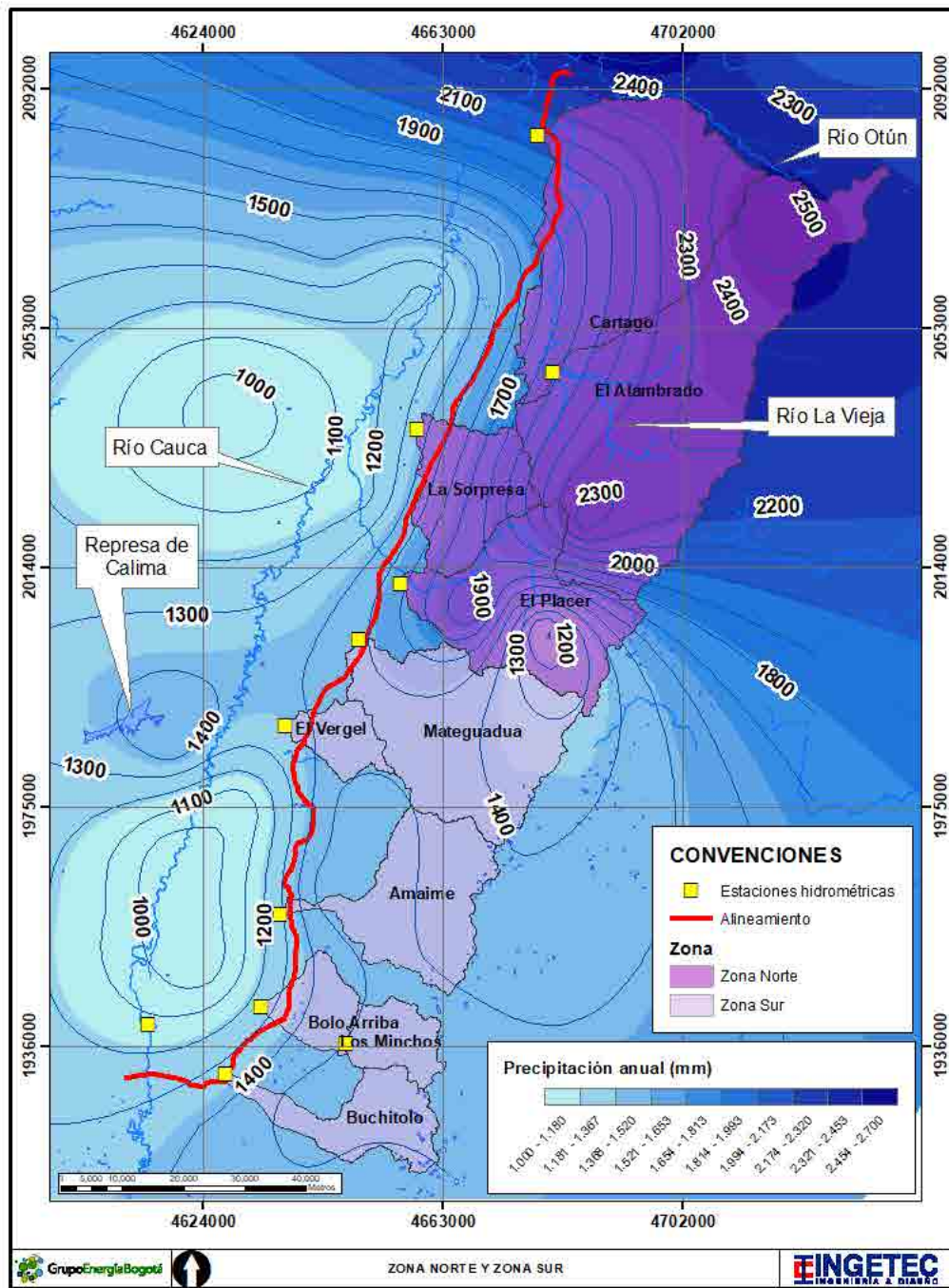


Figura 134. Regionalización. Zona sur y zona norte.

En la Tabla 67, se presenta la información utilizada para generar las envolventes y la precipitación total anual de la cuenca aferente a cada estación. En la Figura 135 y Figura 136, se presentan las envolventes generadas.

Tabla 67. Caudal medio mensual multianual en m<sup>3</sup>/s en las estaciones hidrométricas identificadas en el área de estudio. Periodo 1975-2019.

Estación	Corriente	Área (km <sup>2</sup> )	Qmedio (m <sup>3</sup> /s)	Precipitación anual (mm)
Buchitolo	Fraile	273,1	5,5	1494,4
Los Minchos	Bolo	154,4	3,4	1499,9
Bolo Arriba	Bolo	306,4	5,3	1457,5
Amaime	Amaime	487,2	6,9	1482,9
El Vergel	Guadalajara	129,7	4,2	1446,0
Mateguadua	Tuluá	768,3	16,1	1433,3
El Placer	Bugalagrande	644,8	16,2	1600,5
La Sorpresa	Paila	354,1	5,1	1693,9
Cartago	La Vieja	2779,3	96,4	2194,3
El Alambrado	La Vieja	1651,6	57,8	2256,8

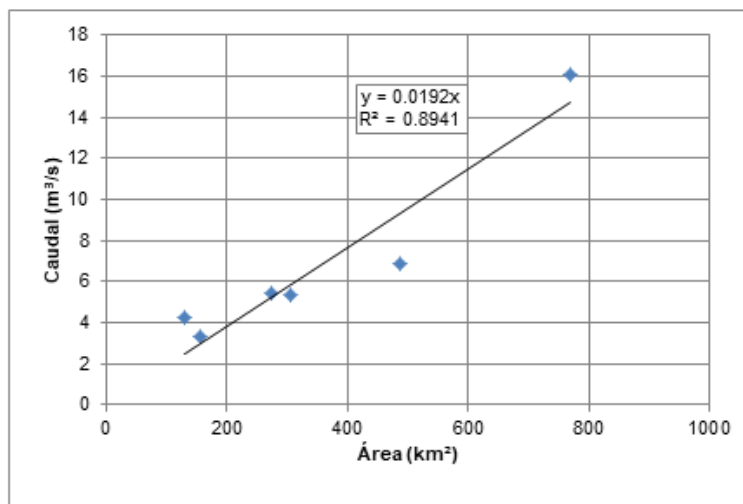


Figura 135. Curva regionalizada área de drenaje vs caudal medio - Zona sur.



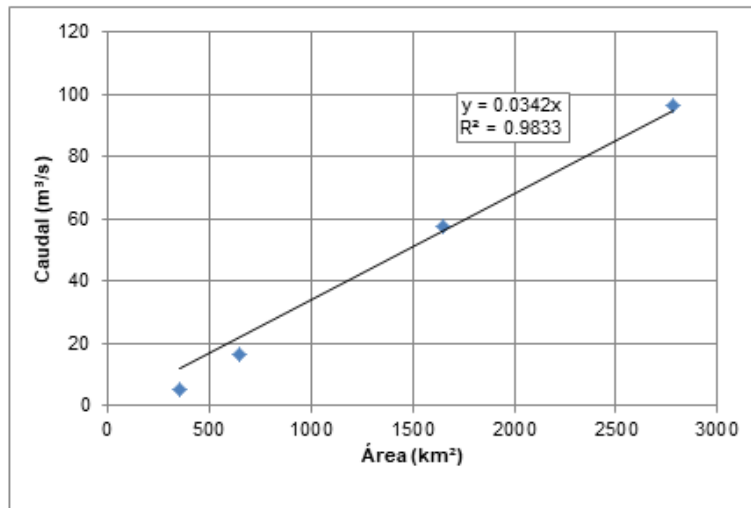


Figura 136. Curva regionalizada área de drenaje vs caudal medio - Zona norte.

Con las envolventes obtenidas, se determinó el caudal medio, tanto en las subcuencas detalladas para la zona de proyecto como en las cuencas regionales hasta el río Cauca, que no cuentan con estación de caudal.

En la Tabla 68 se presentan los caudales medios multianuales de las cuencas regionales delimitadas hasta el río Cauca.

Tabla 68. Caudal medio en las cuencas regionales.

No. cuenca	Nombre	Área (km²)	P anual (mm)	Qmedio (m³/s)
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	173,8	1254,8	3,3
2	Río Fraile	1256,1	1355,3	20,4
3	Río Amaime	943,7	1357,8	21,6
4	El Cerrito	74,3	1327,4	1,4
5	Río Zabaletas	182,8	1322,8	3,5
6	Río Guabas	194,3	1434,4	3,7
7	Río Sonso	121,7	1250,2	2,3
8	Río Guadalajara	148,1	1435,7	4,8
9	Zanjón Burriga	257,5	1390,5	4,9
10	Río Tuluá	799,4	1431,1	16,7

No. cuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	P anual (mm)	Qmedio (m <sup>3</sup> /s)
11	Río Morales	204,3	1469,6	3,9
12	Río Bugalagrande	829,4	1529,3	20,0
13	Río Paila	510,3	1571,8	6,8
14	Quebrada Las Cañas	136,3	1535,4	4,7
15	Quebrada Pan de Azúcar	78,2	1400,9	2,7
16	Quebrada Yucatán	129,6	1500,7	4,4
17	Quebrada Obando	280,5	1717,1	9,6
18	Río La Vieja	2834,7	2193,3	98,7
19	Quebrada Hato Viejo	68,6	2347,6	2,3

Para las subcuencas detalladas en la zona del proyecto, en las subcuencas 1 a 16, 37 y 38 se utilizó la curva regional de la zona sur y para las subcuencas 17 a 36, 39 y 40 la curva regional de la zona norte (Tabla 69).

Tabla 69. Caudal medio en las subcuencas detalladas.

No. subcuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	P anual (mm)	Qmedio (m <sup>3</sup> /s)
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	173,8	1254,8	3,34
2	Directos al Cauca costado este	89,6	1333,2	1,72
4	Río Párraga	124,6	1478,1	2,39
5	Quebrada Chontaduro	107,9	1328,2	2,07
7	Acequia Beringuito	6,9	1344,2	0,13
8	Acequia Morrocroy	2,9	1320,3	0,06
9	Río Palmira	10,4	1303,7	0,20
10	Zanjón Poma	48,1	1219,7	0,93
11	Río Nima	165,0	1476,5	3,17
13	Río Cerrito	47,6	1478,4	0,91
14	Río Zabaletas	166,2	1353,0	3,19
15	Río Guabas	165,3	1489,4	3,17

No. subcuenca	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	P anual (mm)	Qmedio (m <sup>3</sup> /s)
16	Río Sonso	76,9	1317,8	1,48
18	Quebrada Chambimbal	19,2	1419,7	0,37
19	Quebrada Los Mates	2,2	1434,8	0,04
20	Quebrada San Pedro	14,1	1454,8	0,27
22	Cañada La Mina	0,6	1489,0	0,02
23	Río Morales	101,3	1558,1	3,47
24	Quebrada Sabaletas	46,8	1476,3	1,60
26	Quebrada San Miguel	31,1	1503,4	1,07
27	Quebrada San Rosa	1,4	1437,6	0,05
28	Quebrada El Overo	10,2	1402,4	0,35
29	Quebrada Murillo	13,5	1410,0	0,46
31	Quebrada Los Ángeles	5,3	1437,1	0,18
32	Quebrada Las Cañas	103,0	1609,9	3,52
33	Quebrada Pan de Azúcar	18,0	1543,7	0,62
34	Quebrada Yucatán	108,3	1539,4	3,70
35	Quebrada Obando	15,4	1665,2	0,53
37	Quebrada del Bosque	27,8	2198,9	0,95
38	Quebrada La Pedregosa	0,6	2262,1	0,02
39	Quebrada Hato Viejo	20,0	2330,0	0,68
40	Quebrada Grande	17,2	2337,8	0,59
41	OC20 - Q. La Honda	12,6	1558,0	0,43
42	OC23 - Q. Pan de Azúcar	18,0	1544,2	0,62

Para generar la serie de caudales diarios en las cuencas y subcuencas identificadas, se utilizaron los registros diarios adimensionados de las estaciones Buchitolo, Bolo Arriba, Amaime, El Vergel y La Sorpresa como se presenta en la Ecuación 10.

$$Q_{di} = \frac{Q_{de}}{Q_{me}} * Q_{mi}$$

Ecuación 10. Caudal diario en la cuenca de interés.

Fuente: Sanchez San Román. Curvas de caudales clasificados. (2013).

Donde:

$Q_{di}$  es el caudal diario de la cuenca de interés

$Q_{de}$  es el caudal diario registrado en la estación seleccionada

$Q_{mi}$  es el caudal medio mensual de la cuenca de interés

$Q_{me}$  es el caudal medio mensual en la estación seleccionada

Se seleccionaron estas estaciones considerando la localización de las cuencas analizadas en relación a las cuencas de las estaciones y la menor variación entre la precipitación total anual de la cuenca analizada y la cuenca aferente hasta el sitio de la estación. En la Tabla 70 se presentan las estaciones hidrométricas base para generar las series de caudales medios en las cuencas regionales hasta el río Cauca y en la Tabla 71 las estaciones hidrométricas base para las subcuencas detalladas.

Tabla 70. Estaciones hidrométricas utilizadas para generar series diarias de caudal en las cuencas regionales.

No. cuenca	Nombre cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Estación utilizada para estimar caudales diarios	Variación de la precipitación (%)
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	173,83	Buchitolo	19,1
2	Río Fraile	1256,15	Bolo Arriba	10,3
3	Río Amaime	943,77	Buchitolo	10,1
4	El Cerrito	74,34	Amaime	11,7
5	Río Zabaletas	182,87	El Vergel	9,3
6	Río Guabas	194,36	El Vergel	0,8
7	Río Sonso	121,70	El Vergel	15,7
8	Río Guadalajara	148,14	El Vergel	0,7
9	Zanjon Burriga	257,55	El Vergel	4
10	Río Tuluá	799,48	Mateguadua	0,2

No. cuenca	Nombre cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Estación utilizada para estimar caudales diarios	Variación de la precipitación (%)
11	Río Morales	204,35	Mateguadua	2,5
12	Río Bugalagrande	829,41	El Placer	4,7
13	Río Paila	510,36	La Sorpresa	7,8
14	Quebrada Las Cañas	136,37	La Sorpresa	10,3
15	Quebrada Pan de Azúcar	78,28	La Sorpresa	20,9
16	Quebrada Yucatán	129,62	La Sorpresa	12,9
17	Quebrada Obando	280,54	La Sorpresa	1,3
18	Río La Vieja	2834,72	Cartago	0,0
19	Quebrada Hato Viejo	68,62	La Sorpresa	27,8

(\*) Se utilizaron los registros diarios de las estaciones.

Tabla 71. Estaciones hidrométricas utilizadas para generar series diarias de caudal en las subcuencas detalladas.

No. subcuenca	Nombre subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Estación utilizada para estimar caudales diarios	Variación de la precipitación (%)
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	173,8	Buchitolo	19,1
2	Directos al Cauca costado este	89,6	Buchitolo	12,1
3	Río Fraile	275,5	Transposición desde Buchitolo	0,1
4	Río Párraga	124,6	Buchitolo	1,1
5	Quebrada Chontaduro	107,9	Bolo Arriba	9,7
6	Río Bolo(*)	306,4	Bolo Arriba	0,0
7	Acequia Beringuito	6,9	Bolo Arriba	8,4
8	Acequia Morrocoy	2,9	Bolo Arriba	10,4
9	Río Palmira	10,4	Bolo Arriba	11,8
10	Zanjón Poma	48,1	Bolo Arriba	19,5
11	Río Nima	165,0	Amaimé	0,4

No. subcuenca	Nombre subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Estación utilizada para estimar caudales diarios	Variación de la precipitación (%)
12	Río Amaime(*)	487,2	Amaime	0,0
13	Río Cerrito	47,6	Amaime	0,3
14	Río Zabaletas	166,2	El Vergel	6,9
15	Río Guabas	165,3	Amaime	0,4
16	Río Sonso	76,9	El Vergel	9,7
17	Río Guadalajara(*)	129,7	El Vergel	0,0
18	Quebrada Chambimbal	19,2	El Vergel	1,9
19	Quebrada Los Mates	2,2	El Vergel	0,8
20	Quebrada San Pedro	14,1	El Vergel	0,6
21	Río Tuluá(*)	768,3	Mateguadua	0,0
22	Cañada La Mina	0,6	La Sorpresa	3,7
23	Río Morales	101,3	La Sorpresa	8,7
24	Quebrada Sabaletas	46,8	La Sorpresa	14,7
25	Río Bugalagrande	666,5	Transposición desde El Placer	0,1
26	Quebrada San Miguel	31,1	La Sorpresa	12,7
27	Quebrada San Rosa	1,4	La Sorpresa	17,8
28	Quebrada El Overo	10,2	La Sorpresa	20,8
29	Quebrada Murillo	13,5	La Sorpresa	20,1
30	Río Paila(*)	354,1	La Sorpresa	0,0
31	Quebrada Los Ángeles	5,4	La Sorpresa	17,9
32	Quebrada Las Cañas	102,3	La Sorpresa	5,2
33	Quebrada Pan de Azúcar	18,0	La Sorpresa	9,7
34	Quebrada Yucatán	108,3	La Sorpresa	10,0
35	Quebrada Obando	15,4	La Sorpresa	1,7
36	Río La Vieja(*)	2779,3	Cartago	0,0
37	Quebrada del Bosque	27,8	La Sorpresa	23,0



No. subcuenca	Nombre subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Estación utilizada para estimar caudales diarios	Variación de la precipitación (%)
38	Quebrada La Pedregosa	0,6	La Sorpresa	25,1
39	Quebrada Hato Viejo	20,0	La Sorpresa	27,3
40	Quebrada Grande	17,2	La Sorpresa	27,5
41	OC20	12,6	La Sorpresa	8,7
42	OC23	18,0	La Sorpresa	9,7

(\*) Se utilizaron los registros diarios de las estaciones.

Para la subcuenca del río Fraile y la subcuenca del río Bugalagrande, la estimación de caudales diarios se realizó implementando el método de transposición área - caudal - precipitación a partir de los registros de las estaciones hidrométricas Buchitolo y El Placer respectivamente (Tabla 71).

El procedimiento para obtener las series representativas de caudales medios diarios, está basado en el cálculo a partir de los registros de precipitación en las subcuencas analizadas y los registros de caudal de la estación que se seleccionó como referencia (Buchitolo y El Placer) Ecuación 11.

$$Q_x = Q_e * \frac{Ax \cdot Px}{Ae \cdot Pe}$$

Ecuación 11. Transposición de caudales.

Fuente: Duitama, Moreno, & Zamudio. Estimación de caudales en la cuenca media del Río Magdalena empleando el método de transposición de caudales. (2015)

Donde:

Px es la precipitación en la cuenca hasta el sitio de interés en mm.

Ax es el área de la cuenca hasta el sitio de interés en km<sup>2</sup>.

Qx es el caudal medio diario hasta el sitio de interés en m<sup>3</sup>/s.

Pe es la precipitación media en la cuenca hasta la estación de referencia en mm.

Ae es el área de la cuenca hasta la estación de referencia en km<sup>2</sup>.

Qe es el caudal medio diario hasta la estación de referencia en m<sup>3</sup>/s.

Los caudales medios diarios estimados en los cuerpos de agua se presentan en el Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales.



---

El resumen de caudales medios mensuales obtenidos a partir de los caudales medios diarios se presenta en la Tabla 72 para las cuencas regionales hasta el río Cauca y en la Tabla 73 para las subcuencas detalladas en la zona del proyecto.

Tabla 72. Caudal medio mensual en m<sup>3</sup>/s en las cuencas regionales hasta el río Cauca.

No. cuenca	Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	2,98	2,64	3,09	4,16	4,68	4,30	3,45	2,23	1,86	2,92	4,20	3,59	3,34
2	Río Fraile	19,75	19,07	23,19	28,43	26,95	19,95	14,44	8,61	8,84	16,86	30,08	28,56	20,39
3	Río Amaime	19,00	16,82	20,05	24,56	27,52	25,53	18,84	12,14	9,39	18,84	33,52	32,48	21,56
4	El Cerrito	1,26	1,11	1,33	1,62	1,82	1,69	1,25	0,80	0,62	1,25	2,22	2,15	1,43
5	Río Zabaletas	3,32	3,09	3,73	4,60	4,42	3,37	2,64	2,16	2,36	3,60	4,67	4,18	3,51
6	Río Guabas	3,52	3,29	3,97	4,88	4,70	3,58	2,81	2,30	2,51	3,82	4,96	4,44	3,73
7	Río Sonso	2,21	2,06	2,48	3,06	2,94	2,24	1,76	1,44	1,57	2,39	3,11	2,78	2,34
8	Río Guadalajara	4,53	4,22	5,10	6,28	6,04	4,60	3,61	2,96	3,22	4,91	6,38	5,71	4,80
9	Zanjón Burriga	4,67	4,35	5,26	6,47	6,23	4,74	3,72	3,05	3,32	5,07	6,58	5,88	4,94
10	Río Tuluá	16,13	14,60	16,27	20,86	21,22	16,79	13,79	10,96	10,21	15,82	23,14	20,79	16,71
11	Río Morales	3,78	3,43	3,82	4,90	4,98	3,94	3,24	2,57	2,40	3,71	5,43	4,88	3,92
12	Río Bugalagrande	19,59	17,77	18,81	25,77	26,02	19,84	15,04	11,43	11,02	19,28	28,81	26,05	19,95
13	Río Paila	5,03	4,60	5,80	10,02	9,92	6,33	4,16	2,60	3,32	7,89	11,43	10,02	6,76
14	Quebrada Las Cañas	3,46	3,17	4,00	6,91	6,84	4,36	2,87	1,79	2,29	5,44	7,88	6,91	4,66
15	Quebrada Pan de Azúcar	31,27	39,70	33,90	42,05	56,32	36,43	42,18	13,66	25,30	50,11	55,45	59,55	40,49
16	Quebrada Yucatán	3,29	3,02	3,80	6,57	6,50	4,15	2,72	1,70	2,18	5,17	7,49	6,57	4,43
17	Quebrada Obando	7,13	6,53	8,23	14,22	14,07	8,97	5,90	3,68	4,71	11,19	16,21	14,21	9,59

No. cuenca	Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
18	Río La Vieja	100,99	84,97	97,97	126,06	132,41	92,65	60,57	44,09	47,80	91,86	159,59	145,02	98,66
19	Quebrada Hato Viejo	1,74	1,60	2,01	3,48	3,44	2,19	1,44	0,90	1,15	2,74	3,97	3,48	2,35

Tabla 73. Caudal medio mensual en m<sup>3</sup>/s en las subcuencas detalladas en la zona del proyecto.

No. subcuenca	Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	2,98	2,64	3,09	4,16	4,68	4,30	3,45	2,23	1,86	2,92	4,20	3,59	3,34
2	Directos al Cauca costado este	1,53	1,36	1,59	2,14	2,40	2,21	1,77	1,15	0,96	1,50	2,16	1,85	1,72
3	Río Fraile	4,70	4,15	4,87	6,55	7,36	6,77	5,43	3,51	2,93	4,59	6,61	5,65	5,26
4	Río Párraga	2,13	1,89	2,21	2,98	3,34	3,08	2,47	1,60	1,33	2,09	3,00	2,57	2,39
5	Quebrada Chontaduro	2,01	1,93	2,36	2,89	2,74	2,03	1,47	0,88	0,90	1,71	3,06	2,90	2,07
6	Río Bolo	5,18	4,99	6,08	7,46	7,07	5,23	3,79	2,26	2,32	4,42	7,89	7,49	5,35
7	Acequia Beringuito	0,13	0,12	0,15	0,19	0,18	0,13	0,09	0,06	0,06	0,11	0,20	0,19	0,13
8	Acequia Morrocoy	0,06	0,05	0,06	0,08	0,08	0,06	0,04	0,02	0,02	0,05	0,08	0,08	0,06
9	Río Palmira	0,19	0,19	0,23	0,28	0,26	0,19	0,14	0,08	0,09	0,16	0,29	0,28	0,20
10	Zanjón Poma	0,90	0,87	1,06	1,29	1,23	0,91	0,66	0,39	0,40	0,77	1,37	1,30	0,93
11	Río Nima	2,79	2,46	2,94	3,61	4,04	3,75	2,77	1,78	1,38	2,77	4,92	4,77	3,16
12	Río Amaime	6,05	5,34	6,39	7,82	8,76	8,13	6,00	3,87	2,99	6,00	10,67	10,34	6,86
13	Río Cerrito	0,80	0,71	0,85	1,04	1,17	1,08	0,80	0,51	0,40	0,80	1,42	1,38	0,91
14	Río Zabaletas	3,01	2,81	3,39	4,18	4,02	3,06	2,40	1,97	2,14	3,27	4,25	3,80	3,19

No. subcuenca	Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
15	Río Guabas	2,80	2,47	2,95	3,61	4,05	3,76	2,77	1,79	1,38	2,77	4,93	4,78	3,17
16	Río Sonso	1,40	1,30	1,57	1,93	1,86	1,42	1,11	0,91	0,99	1,51	1,97	1,76	1,48
17	Río Guadalajara	3,99	3,72	4,50	5,54	5,33	4,05	3,18	2,61	2,84	4,33	5,63	5,03	4,23
18	Quebrada Chambimbal	0,35	0,32	0,39	0,48	0,46	0,35	0,28	0,23	0,25	0,38	0,49	0,44	0,37
19	Quebrada Los Mates	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,05	0,04
20	Quebrada San Pedro	0,26	0,24	0,29	0,36	0,34	0,26	0,20	0,17	0,18	0,28	0,36	0,32	0,27
21	Río Tuluá	15,52	14,05	15,66	20,08	20,42	16,16	13,27	10,55	9,83	15,36	22,27	20,01	16,10
22	Cañada La Mina	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,03	0,02
23	Río Morales	2,57	2,36	2,97	5,13	5,08	3,24	2,13	1,33	1,70	4,04	5,86	5,13	3,46
24	Quebrada Sabaletas	1,19	1,09	1,37	2,37	2,35	1,50	0,98	0,61	0,79	1,87	2,70	2,37	1,60
25	Río Bugalagrande	16,46	14,91	15,80	21,65	21,85	16,67	12,64	9,60	9,26	16,19	24,31	21,88	16,77
26	Quebrada San Miguel	0,79	0,72	0,91	1,58	1,56	1,00	0,66	0,41	0,52	1,24	1,80	1,58	1,06
27	Quebrada San Rosa	0,04	0,03	0,04	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,06	0,08	0,07	0,05
28	Quebrada El Overo	0,26	0,24	0,30	0,52	0,51	0,33	0,22	0,13	0,17	0,41	0,59	0,52	0,35
29	Quebrada Murillo	0,34	0,31	0,40	0,68	0,68	0,43	0,28	0,18	0,23	0,54	0,78	0,68	0,46
30	Río Paila	3,76	3,44	4,34	7,50	7,42	4,73	3,11	1,94	2,49	5,90	8,55	7,50	5,06
31	Quebrada Los Ángeles	0,14	0,12	0,16	0,27	0,27	0,17	0,11	0,07	0,09	0,21	0,31	0,27	0,18
32	Quebrada Las Cañas	2,62	2,39	3,02	5,22	5,16	3,29	2,16	1,35	1,73	4,11	5,95	5,22	3,52
33	Quebrada Pan de Azúcar	0,46	0,42	0,53	0,91	0,90	0,58	0,38	0,24	0,30	0,72	1,04	0,91	0,62

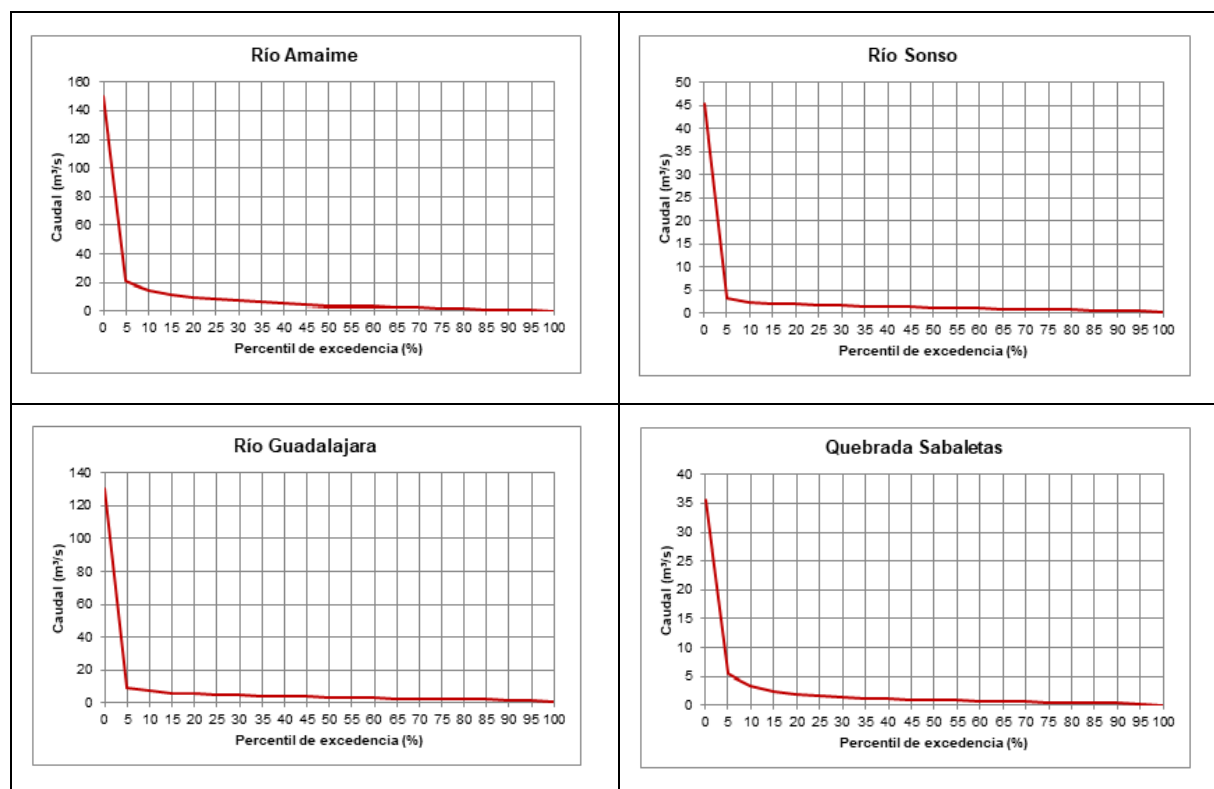
No. subcuenca	Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
34	Quebrada Yucatán	2,75	2,52	3,18	5,49	5,43	3,46	2,28	1,42	1,82	4,32	6,26	5,49	3,70
35	Quebrada Obando	0,39	0,36	0,45	0,78	0,77	0,49	0,32	0,20	0,26	0,62	0,89	0,78	0,53
36	Río La Vieja	99,06	83,19	96,09	123,65	129,88	90,88	59,41	43,25	46,88	90,11	156,54	142,24	96,77
37	Quebrada del Bosque	0,71	0,65	0,81	1,41	1,39	0,89	0,58	0,36	0,47	1,11	1,61	1,41	0,95
38	Quebrada La Pedregosa	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,03	0,02
39	Quebrada Hato Viejo	0,51	0,47	0,59	1,01	1,00	0,64	0,42	0,26	0,34	0,80	1,16	1,01	0,68
40	Quebrada Grande	0,44	0,40	0,51	0,87	0,86	0,55	0,36	0,23	0,29	0,69	1,00	0,87	0,59
41	OC20 - Q. La Honda	0,32	0,29	0,37	0,64	0,63	0,40	0,27	0,17	0,21	0,50	0,73	0,64	0,43
42	OC23 - Q. Pan de Azúcar	0,46	0,42	0,53	0,91	0,90	0,58	0,38	0,24	0,30	0,72	1,04	0,91	0,62



### 5.1.6.11.2.1. Curva de duración de caudales

A partir de la serie de caudales diarios se elaboró la curva de duración de caudales diarios en las subcuencas detalladas la cual permite establecer la probabilidad de que un valor de caudal sea igualado o excedido.

En la Figura 137 se presenta como ejemplo la curva de duración de caudales del río Amaime, río Sonso, río Guadalajara, la quebrada Sabaletas y las CDQs de las subcuencas asociadas a las ocupaciones de cauce OC20 y OC23 donde se observa que las curvas presentan una fuerte pendiente lo que indica que los cuerpos de agua presentan caudales extremos (altos y bajos) frecuentemente, al contrario de una curva que tiende a ser plana lo cual indica que un río es autorregulado y presenta baja frecuencia de caudales muy altos o muy bajos. En la Tabla 74 se presentan los caudales esperados a diferentes confiabilidades para estos cuerpos de agua y en el Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales, la CDQ de cada subcuenca identificada en el área de estudio.



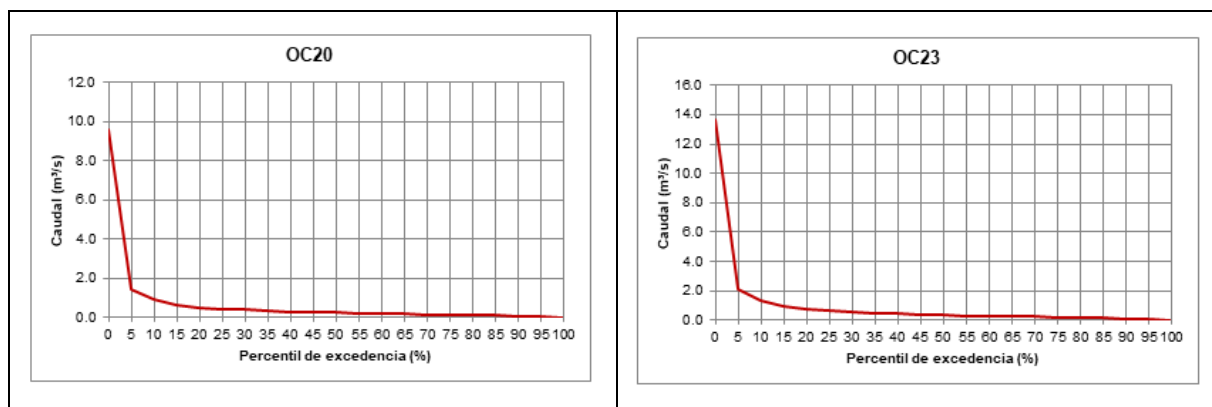


Figura 137. Curva de duración de caudales diarios en ocho subcuencas.

Tabla 74. Caudales esperados en m<sup>3</sup>/s a diferentes confiabilidades en ocho subcuencas detalladas.

Percentil	Río Amaime	Río Sonso	Río Guadalajara	Quebrada Sabaletas	OC20 Q. La Honda	OC23 Q. Pan de Azúcar
0	149,71	45,47	130,20	35,58	9,58	13,69
5	21,53	3,18	9,10	5,43	1,46	2,09
10	14,56	2,47	7,06	3,34	0,90	1,29
15	11,73	2,14	6,12	2,48	0,67	0,95
20	9,87	1,94	5,55	1,95	0,52	0,75
25	8,35	1,77	5,08	1,64	0,44	0,63
30	7,14	1,61	4,62	1,43	0,39	0,55
35	6,14	1,53	4,39	1,26	0,34	0,49
40	5,35	1,42	4,08	1,12	0,30	0,43
45	4,70	1,32	3,77	1,00	0,27	0,38
50	4,13	1,23	3,51	0,89	0,24	0,34
55	3,66	1,15	3,28	0,81	0,22	0,31
60	3,28	1,04	2,99	0,73	0,20	0,28
65	2,97	0,95	2,72	0,65	0,18	0,25
70	2,48	0,88	2,51	0,58	0,16	0,22
75	1,90	0,81	2,33	0,52	0,14	0,20
80	1,38	0,74	2,12	0,46	0,12	0,18

Percentil	Río Amaime	Río Sonso	Río Guadalajara	Quebrada Sabaletas	OC20 Q. La Honda	OC23 Q. Pan de Azúcar
85	0,94	0,67	1,93	0,40	0,11	0,15
90	0,57	0,59	1,70	0,32	0,09	0,12
95	0,30	0,46	1,33	0,25	0,07	0,10
100	0,00	0,15	0,44	0,01	0,00	0,00

#### 5.1.6.11.2.2. Distribución temporal de caudales en el río Cauca

Considerando que la línea de transmisión en el municipio de Cali se superpone con este cuerpo de agua y que la subestación Alférez se localiza en Cali, se realizó la caracterización temporalmente del caudal medio del río Cauca a partir de los registros de caudales medios mensuales de la estación Juanchito operada por la CVC.

La subestación La Virginia se localiza en el municipio de Pereria, en esta zona se utilizaron los registros de caudal medio mensual de la estación La Virginia operada por la CVC para conocer el comportamiento a nivel temporal del río Cauca.

Dado que el embalse Salvajina inició operaciones en el año 1985 sobre el río Cauca, se analizó el periodo anterior y posterior a partir del inicio de operaciones de la central. Para ello se realizó la distribución temporal a nivel medio mensual multianual antes y después del funcionamiento de la central.

De manera general, puede mencionarse que el régimen natural de caudales en el río Cauca es influenciado por la regulación del embalse (Figura 138 y Figura 139).

Para la estación Juanchito, el régimen de caudales presentaba los picos de caudal en el mes de mayo y en el mes de noviembre y el caudal más bajo se presentaba entre los meses de agosto y septiembre. En la estación La Virginia, los picos de caudal se presentaban en noviembre y diciembre y el caudal más bajo en septiembre. El caudal medio del río variaba entre los 278,5 m<sup>3</sup>/s registrados en la estación Juanchito hasta los 551,6 m<sup>3</sup>/s registrados en la estación La Virginia.

Una vez iniciadas las operaciones en el Embalse Salvajina, se observa que el régimen de caudales en el río Cauca presenta el pico de caudal en el mes de abril y diciembre en la estación Juanchito y se conserva en noviembre y diciembre para la estación La Virginia y el caudal más bajo se presenta en el mes de agosto para las dos estaciones. El caudal medio



del río varía entre los 282,6 m<sup>3</sup>/s registrado en la estación Juanchito hasta los 529,5 m<sup>3</sup>/s registrado en la estación La Virginia.

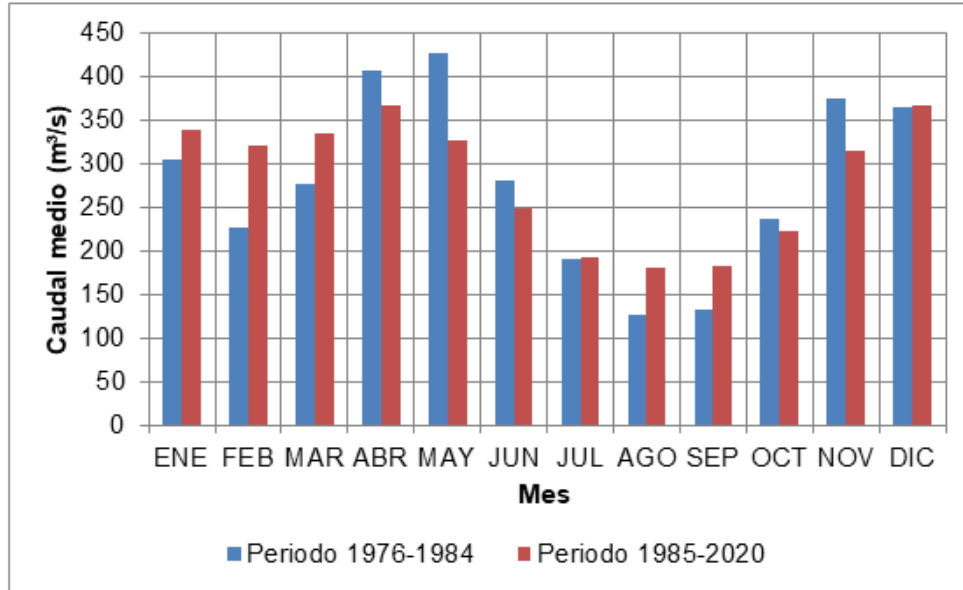


Figura 138. Distribución temporal de caudales medios mensuales estación Juanchito. Periodo 1976 - 2020.

Tabla 75. Caudales medios mensuales en m<sup>3</sup>/s para la estación Juanchito. Periodo 1976 - 2020.

Periodo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1976-1984	303,8	225,4	277,1	405,7	425,7	280,4	189,5	127,1	131,7	237,1	374,4	363,9	278,5
1985-2020	339,1	321,1	333,7	365,5	325,7	247,9	191,8	180,0	182,5	222,0	314,4	367,3	282,6

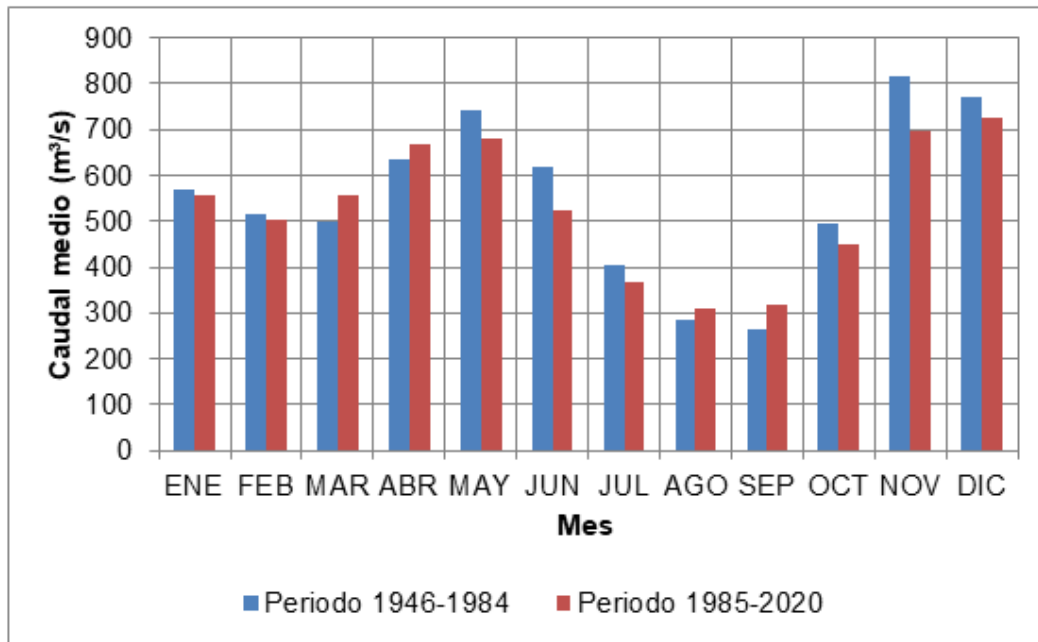


Figura 139. Distribución temporal de caudales medios mensuales estación La Virginia. Periodo 1946 - 2020.

Tabla 76. Caudales medios mensuales en m³/s para la estación La Virginia. Periodo 1946 - 2020

Periodo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1946-1984	570,4	514,3	500,3	637,1	742,5	618,9	403,2	285,8	264,9	493,2	816,0	772,8	551,6
1985-2020	555,7	503,8	557,3	666,4	679,5	524,8	368,0	308,1	317,6	448,6	697,7	726,7	529,5

Dado el cambio en el régimen de caudales por la construcción del embalse, se observa una atenuación en los caudales máximos y un aumento en los caudales mínimos.

### 5.1.6.11.3. Balance hídrico

Para el análisis de balance hídrico se consideraron las características climatológicas de la estación Centro Administrativo La Unión y Palmira ICA las cuales cuentan con registros de evaporación y los registros de precipitación la estación Corozal y El Paraíso, con el fin de evaluar las condiciones de disponibilidad en la parte sur y norte del proyecto. Con el balance

se determinaron los excedentes por medio del Balance Hídrico a nivel mensual, este método se basa en el principio de continuidad el cual se resume mediante la Ecuación 12.

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \text{Almacenamiento}$$

Ecuación 12. Principio de continuidad.

Fuente: Monsalve Sáenz. Hidrología en la ingeniería. (1995).

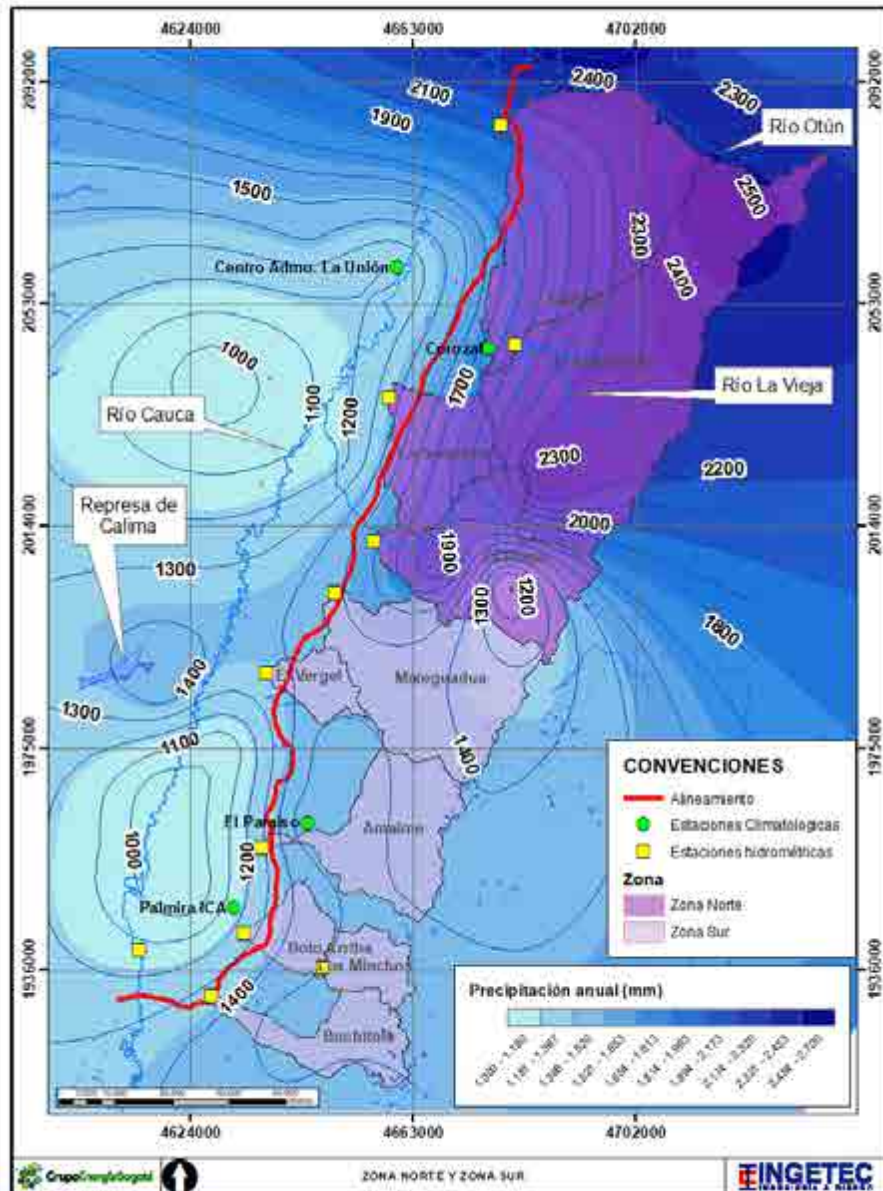


Figura 140. Regionalización. Zona sur y zona norte.



Donde en forma general las entradas corresponden a la precipitación ( $P$ ) total media de la cuenca; las salidas corresponden a la combinación de la evaporación y la transpiración de las plantas, denominada evapotranspiración ( $ET$ ); el almacenamiento corresponde al volumen de agua almacenado en las diferentes capas del subsuelo ( $S$ ). Teniendo en cuenta las anteriores definiciones la formulación replanteada del balance hídrico, es como se muestra en la Ecuación 13, la cual se representa esquemáticamente en la Figura 141.

$$P = ET + S$$

Ecuación 13. Balance hídrico

Fuente: Monsalve Sáenz. Hidrología en la ingeniería. (1995).

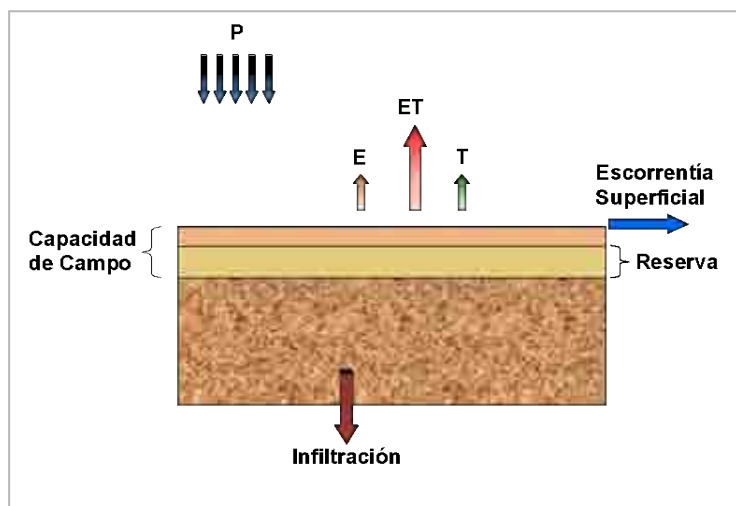


Figura 141. Esquema conceptual del balance hídrico.

La forma de conocer la disponibilidad hídrica es generalmente mediante el cálculo de un balance hídrico, el cual tiene como información inicial tres parámetros fundamentales: la precipitación media, la evapotranspiración potencial (estimada de acuerdo con la disponibilidad de las variables climáticas) y el almacenamiento en función de las propiedades físicas del suelo<sup>57</sup>.

El balance hídrico se realizó por el método directo, el cual supone que el agua precipitada es almacenada en el suelo y se va perdiendo mes a mes hasta agotar la reserva para poder cubrir las necesidades de agua (evapotranspiración). Dicho balance consiste en definir a nivel mensual los siguientes parámetros (en mm).

<sup>57</sup> Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Balance hídrico y sus aplicaciones. Bogotá. 2021. p. 3.

#### 5.1.6.11.3.1. Precipitación media mensual (P)

Se utilizaron los registros mensuales de precipitación de la estación Corozal para la zona norte y la estación El Paraíso para la zona sur. Se utilizaron estos registros dada su cercanía a las estaciones con registros de evaporación (Centro Administrativo La Unión y Corozal) y la similitud entre la precipitación total anual de estas estaciones y la precipitación total anual promedio de las 31 estaciones analizadas (1605 mm).

Tabla 77. Precipitación mensual multianual estación Corozal y El Paraíso.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
El Paraíso	107,9	118,2	184,1	191,1	128,3	60,8	33,9	44,4	109,7	225,1	232,7	159,7	1595,9
Corozal	91,2	107,1	170,9	220,5	188,1	118,2	89,1	85,9	148,1	224,0	186,8	125,9	1755,5

#### 5.1.6.11.3.2. Evapotranspiración potencial (ETP)

Se utilizaron los valores de evapotranspiración potencial estimados con el método del tanque evaporímetro presentado en el numeral 5.1.11.2.9. del capítulo 5.1.11 Atmósfera. (Tabla 78).

Tabla 78. Evapotranspiración potencial en mm.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Palmira ICA	97,3	93,2	99,6	89,4	85,3	82,8	98,4	104,4	99,0	96,3	85,8	89,3	1120,8
Centro Admo	106,1	107,8	113,8	96,4	94,3	93,8	110,5	120,8	109,9	102,1	93,9	93,1	1242,6

#### 5.1.6.11.3.3. Diferencia entre Precipitación (P) y Evapotranspiración (ETP)

Es el balance mensual de entradas y salidas potenciales de agua del suelo. Esta diferencia clasifica los meses en secos ( $P - ETP < 0$ ) y en húmedos ( $P - ETP > 0$ ).

#### 5.1.6.11.3.4. Almacenamiento del suelo (R)

El almacenamiento o reserva de agua del suelo es la cantidad de agua que un suelo contiene en un momento dado, dicha reserva varía entre un valor de cero (suelo seco) y la capacidad de campo, la cual corresponde a la cantidad de agua que queda en el suelo después de que un exceso de agua ha drenado.

Para la Capacidad de Campo (CC) en la zona de interés, se tomó como referencia climática un valor de 100 mm (100 l/m<sup>2</sup>), valor recomendado por autores como Thornthwaite & Mather y se asumen independientemente del suelo y la vegetación<sup>58</sup>.

#### 5.1.6.11.3.5. Almacenamiento en el balance hídrico

En el cálculo del balance hídrico, el almacenamiento del mes "i" (en función de la del mes anterior "i - 1") será:

$$\begin{array}{lll}
 R_i = R_{i-1} + (P_i - ETP_i) & \text{si} & 0 < R_{i-1} + (P_i - ETP_i) < CC \\
 R_i = CC & \text{si} & R_{i-1} + (P_i - ETP_i) > CC \\
 R_i = 0 & \text{si} & 0 > R_{i-1} + (P_i - ETP_i)
 \end{array}$$

Ecuación 13 Almacenamiento del mes.

Fuente: IDEAM. Índice de disponibilidad hídrica, metodología de cálculo y aplicación en Colombia. (2006).

Donde:

$R_i$  es el almacenamiento en el mes i en mm

$R_{i-1}$  es el almacenamiento en el mes i en mm

$P_i$  es la precipitación total en el mes i en mm

$ETP_i$  es la evapotranspiración potencial en el mes i en mm

Como se aprecia en la Ecuación 13, se necesita la reserva del mes anterior para comenzar el cálculo de la reserva, por ello, se supone que en el mes siguiente al más húmedo el suelo se encuentra saturado y por lo tanto la Reserva es igual a la Capacidad de Campo.

<sup>58</sup> Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Balance hídrico y sus aplicaciones. Bogotá. 2021. p. 5.

#### 5.1.6.11.3.6. Excedentes (Ex)

Cuando el suelo está totalmente saturado o a la capacidad de campo y existe un aporte adicional del balance de P-ETP se genera un excedente de agua que puede transformarse en escorrentía o en agua de infiltración al acuífero. Por tanto Ecuación 14.

$$\begin{aligned} Ex &= R_{i-1} - R_i + (P_i - ETP_i) & \text{si} & \quad R_{i-1} - R_i + (P_i - ETP_i) > 0 \\ Ex &= 0 & \text{si} & \quad R_{i-1} - R_i + (P_i - ETP_i) \leq 0 \end{aligned}$$

Ecuación 14. Excedentes de agua

Fuente: IDEAM. Índice de disponibilidad hídrica, metodología de cálculo y aplicación en Colombia. (2006).

Donde:

Ex es excedente en mm

$R_i$  es el almacenamiento en el mes i en mm

$R_{i-1}$  es el almacenamiento en el mes i en mm

$P_i$  es la precipitación total en el mes i en mm

$ETP_i$  es la evapotranspiración potencial en el mes i en mm

#### 5.1.6.11.3.7. Utilización de almacenamiento (UA)

Si el suelo se encuentra totalmente saturado o, a capacidad de campo y en los meses siguientes se presenta un balance negativo de P-ETP se utiliza el almacenamiento hasta agotarlo. Ver Ecuación 15.

$$\begin{aligned} UA_i &= 0 & \text{si} & \quad (P_i - ETP_i) > 0 \\ UA_i &= I(P_i - ETP_i) & \text{si} & \quad (P_i - ETP_i) < 0 \\ UA_i &= R_{i-1} & \text{si} & \quad R_i < \sum((P_{i-n} - ETP_{i-n}) < 0) \end{aligned}$$

Ecuación 15. Utilización de almacenamiento

Fuente: IDEAM. Índice de disponibilidad hídrica, metodología de cálculo y aplicación en Colombia. (2006).

Donde:

$UA_i$  es la utilización del almacenamiento en el mes  $i$  en mm

$R_i$  es el almacenamiento en el mes  $i$  en mm

$R_{i-1}$  es el almacenamiento en el mes  $i-1$  en mm

$P_i$  es la precipitación total en el mes  $i$  en mm

$ETP_i$  es la evapotranspiración potencial en el mes  $i$  en mm

#### 5.1.6.11.3.8. Déficit de agua ( $D$ )

Es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (Evapotranspiración). Por tanto, el déficit de agua se expresa como en la Ecuación 16.

$$D_i = 0 \quad \text{si} \quad (P_i - ETP_i) > 0$$
$$D_i = |(P_i - ETP_i)| - UA_i \quad \text{si} \quad (P_i - ETP_i) < 0$$

Ecuación 16. Déficit de agua

Fuente: IDEAM. Índice de disponibilidad hídrica, metodología de cálculo y aplicación en Colombia. (2006).

Donde:

$D_i$  es el déficit de agua en el mes  $i$  en mm

$UA$  es la utilización del almacenamiento en el mes  $i$  en mm

$P_i$  es la precipitación total en el mes  $i$  en mm

$ETP_i$  es la evapotranspiración potencial en el mes  $i$  en mm

#### 5.1.6.11.3.9. Evapotranspiración Real ( $ETR$ )

La  $ETR$  es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes, dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la  $ETP$  o de referencia o no, por tanto, la  $ETP_i$  es siempre mayor o igual que la  $ETR_i$ . (Ver Ecuación 17).

$$ETR_i = ETP_i - D_i$$

Ecuación 17. Evapotranspiración real

Fuente: IDEAM. Índice de disponibilidad hídrica, metodología de cálculo y aplicación en Colombia. (2006).

Donde:

$ETR_i$  es la evapotranspiración real en el mes  $i$  en mm

$ETP_i$  es la evapotranspiración potencial en el mes  $i$  en mm

$D_i$  es el déficit de agua en el mes  $i$  en mm

#### 5.1.6.11.3.10. Resultados del balance hídrico

Definida la metodología para estimar los parámetros a nivel mensual, se realizó el balance hídrico para una capacidad de almacenamiento del suelo de 100 mm.

De acuerdo con la Tabla 79 y Tabla 80 el excedente de agua estimado en la zona sur es de 521,8 mm de la precipitación total anual promedio de 1595,9 mm que equivale al 32,7% de la precipitación total anual y en la zona norte es de 512,9 mm de la precipitación total anual promedio de 1755,5 mm que equivale al 29,2% de la precipitación total anual. En el Anexo D4. Hidrología/D.4.8 Balance, se presenta el balance hídrico realizado.

Tabla 79. Balance hídrico en la zona sur (mm).

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación	107,9	118,2	184,1	191,1	128,3	60,8	33,9	44,4	109,7	225,1	232,7	159,7	1595,9
Evapotranspiración	97,2	93,2	99,6	89,3	85,3	82,8	98,4	104,4	99,0	96,3	85,8	89,3	1120,5
P-ETP	10,6	25,1	84,5	101,8	43,0	-21,9	-64,5	-59,9	10,7	128,9	146,9	70,4	
Almacenamiento	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	78,1	13,5	0,0	10,7	100,0	100,0	100,0	
Excedente	10,6	25,1	84,5	101,8	43,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,5	146,9	70,4	521,8
Utilización Almacenamiento	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,9	64,5	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Déficit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,4	0,0	0,0	0,0	0,0	46,4
ETR	97,2	93,2	99,6	89,3	85,3	82,8	98,4	58,0	99,0	96,3	85,8	89,3	1074,1

Tabla 80. Balance hídrico en la zona norte (mm).

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación	91,2	107,1	170,9	220,5	188,1	118,2	89,1	85,9	148,1	224,0	186,8	125,9	1755,5
Evapotranspiración	106,1	107,8	113,8	96,4	94,3	93,8	110,5	120,8	109,9	102,1	93,9	93,1	1242,6
P-ETP	-14,9	-0,7	57,1	124,1	93,8	24,4	-21,4	-35,0	38,1	121,9	92,8	32,8	



Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Almacenamiento	85,1	0,0	57,1	100,0	100,0	100,0	78,6	43,6	81,7	100,0	100,0	100,0	
Excedente	0,0	84,4	0,0	81,2	93,8	24,4	0,0	0,0	0,0	103,6	92,8	32,8	512,9
Utilización Almacenamiento	14,9	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	21,4	35,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,0
Déficit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ETR	106,1	107,8	113,8	96,4	94,3	93,8	110,5	120,8	109,9	102,1	93,9	93,1	1242,6

#### 5.1.6.11.4. Caudales máximos

Previo al ajuste estadístico de los registros de caudales máximos anuales se realizó la prueba estadística de datos dudosos, la cual es un método del Water Resources Council de los Estados Unidos, recomendado para detectar los puntos que se alejan de la tendencia de los valores máximos por encima o por debajo y facilitar la toma de decisiones de retención o eliminación de datos que puedan afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos. Esta metodología determina los valores de los límites superior e inferior a partir de los cuales se eliminan los valores que no se consideran estadísticamente aceptables. Los límites se calculan a partir de los parámetros estadísticos de desviación estándar y coeficiente de asimetría de la serie de caudales máximos. El límite inferior y el límite superior se calculan con la Ecuación 18 y la Ecuación 19.

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y$$

Ecuación 18. Límite superior.

Fuente: WASA-GN. Diseño hidrológico. (2011).

$$y_L = \bar{y} - K_n S_y$$

Ecuación 19. Límite inferior.

Fuente: WASA-GN. Diseño hidrológico. (2011).

Donde:

$y_H$ , es el límite superior.

$y_L$ , es el límite inferior.



---

$\bar{y}$ , es el promedio de los logaritmos de la muestra, incluyendo los dudosos (logaritmos decimales).

$K_n$ , es el parámetro del test adoptado según el tamaño de la muestra

$S_y$ , es la desviación estándar de los logaritmos de la muestra

De las series de caudales máximos mensuales reportadas en la CVC y el IDEAM, en las estaciones Bolo Arriba, Mateguadua se detectaron datos anómalos; 5,2 m<sup>3</sup>/s y 325 m<sup>3</sup>/s respectivamente, los cuales fueron retirados de la serie. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales, se presenta la prueba realizada para las diez estaciones analizadas.



Tabla 81. Prueba de datos dudosos de caudales máximos. Estación Mateguada.

Año	Caudal	$y = \log x$	$(y - \bar{y})^2$	$(y - \bar{y})$
	m <sup>3</sup> /s			
1968	138.8	2.1424	0.0105	0.0011
1969	112.5	2.0512	0.0001	0.0000
1970	224.3	2.3508	0.0366	0.0300
1971	178.7	2.2521	0.0450	0.0095
1972	122.7	2.0888	0.0024	0.0001
1973	75.8	1.8797	0.0257	-0.0041
1974	221.4	2.3452	0.0331	0.0284
1975	207.4	2.3168	0.0766	0.0212
1976	142.0	2.1523	0.0126	0.0014
1977	120.0	2.0792	0.0015	0.0001
1978	31.0	1.9590	0.0066	-0.0005
1979	104.8	2.0204	0.0004	0.0000
1980	105.9	2.0249	0.0002	0.0000
1981	87.8	1.9435	0.0093	-0.0009
1982	150.3	2.1770	0.0188	0.0026
1983	120.0	2.0792	0.0015	0.0001
1984	325.0	2.5119	0.2227	0.1051
1985	129.5	2.1123	0.0052	0.0004
1986	101.9	2.0082	0.0010	0.0000
1987	36.4	1.9642	0.0031	-0.0002
1988	32.1	1.9643	0.0057	-0.0004
1989	77.2	1.8873	0.0233	-0.0036
1990	87.2	1.9407	0.0099	-0.0010
1991	70.4	1.8476	0.0370	-0.0071
1992	46.2	1.6646	0.1409	-0.0529
1993	73.8	1.8678	0.0296	-0.0051
1994	152.0	2.1818	0.0201	0.0029
1995	78.0	1.8921	0.0219	-0.0032
1996	104.4	2.0187	0.0005	0.0000
1997	108.5	2.0354	0.0000	0.0000
1998	100.1	2.0004	0.0016	-0.0001
1999	140.4	2.1474	0.0115	0.0012
2000	101.8	2.0077	0.0010	0.0000
2001	64.3	1.8081	0.0538	-0.0125
2002	88.1	1.9451	0.0090	-0.0009
2003	106.1	2.0257	0.0002	0.0000
2004	37.4	1.9886	0.0026	-0.0001
2005	78.0	1.8921	0.0219	-0.0032
2006	76.2	1.8818	0.0250	-0.0040
2007	102.5	2.0107	0.0009	0.0000
2008	136.9	2.1364	0.0093	0.0009
2009	89.0	1.9493	0.0082	-0.0007
2010	121.8	2.0856	0.0021	0.0001
2011	147.0	2.1673	0.0162	0.0021
2017	34.1	1.9736	0.0044	-0.0003

#### 5.1.6.11.4.1. Estimación de caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno

Para la estimación de caudales máximos a diferentes periodos de retorno y considerando que las estaciones Bolo Arriba, Amaime y Buchitolo son de tipo limnimétrico, se aplicó el método de Fuller para inicialmente estimar los caudales máximos instantáneos a partir de los caudales máximos diarios. La expresión de Fuller se presenta en la Ecuación 20.

$$Q_{inst} = Q_{max} * \left(1 + \frac{2,66}{S^{0,3}}\right)$$

Ecuación 20. Expresión de Fuller

Fuente: Olivera Espejo. Factor de corrección de Fuller. (2019).

Donde:

Donde  $Q_{inst}$  es el caudal máximo instantáneo en  $m^3/s$ .

Donde  $Q_{max}$  es el caudal máximo anual en  $m^3/s$ .

Donde  $S$  es el área de la cuenca en  $Km^2$

En la Tabla 82, se presentan los caudales máximos instantáneos para cada estación.

Tabla 82. Caudales máximos instantáneos en  $m^3/s$ .

Nombre	Bolo Arriba	Los Minchos	Amaime	Buchitolo	El Vergel	Mateguadua	El Alambrado	Cartago	La Sorpresa	El Placer
Tipo de estación	LM	LG	LM	LM	LG	LG	LG	LG	LG	LG
Área (km <sup>2</sup> )	306,38	154,41	487,20	273,07	129,65	768,28	1651,64	2779,30	354,13	644,76
Año/Índice de Fuller	1,48		1,42	1,49						
1960	29,9									
1961	76,4									
1962	76,4			90,1						
1963	76,4			64,3						
1964	20,6			51						
1965	42,5			106,8						
1966	20,9			46,8						
1967	47,3			69,3						
1968	79,5			65		138,8				
1969	86,5			74,4		112,5				

Nombre	Bolo Arriba	Los Minchos	Amaima	Buchitolo	El Vergel	Mateguadua	El Alambrado	Cartago	La Sorpresa	El Placer
1970	115,7			45,6		224,3		556		
1971	73,1			60,1		178,7	665,1	981		
1972	117,9			61,6	155	122,7	460	513	79	
1973	61			52,3	86,8	75,8	667	826	148,8	
1974	175,8			79,9	170	221,4	496	854	142,3	
1975	155,1			55,1	115	207,4	790	647	122,9	
1976	65,7			58,4	68,8	142	540	487,2	79	56,4
1977	107,8			31,5	40	120	252	369,6	94,5	40,2
1978	49,3			48,3	49,8	91	388	468,5	183	73,9
1979	73,6			55,9	61,3	104,8	468	521,6	138,2	96,8
1980	72,7			35,2	54,4	105,9	232,2	250	57,8	101,1
1981	169,9			46,3	116,6	87,8	429,3	515,6	164,7	81,2
1982	333,8			53,5	68,8	150,3	455	501,2	130,8	68,2
1983	123,3			42,3	34	120	173,4	330,4	150,7	74,8
1984	177,1		281,5	41,7	67,3	325	499,4	687,2	168	81,8
1985	91,3		118,5	45,1	86,3	129,5	536,8	437	89	55,5
1986	256,4		47,3	51	127,3	101,9	529,3	464,7	198	59,2
1987	143,5		34,3	44,8	93,5	96,4	518,5	587,2	113,6	84,3
1988	69,6		70,8	40,1	133,7	92,1	466	608,4	167,6	96,8
1989	33,7		46	27,7	94,5	77,2	237,9	411,6	133	107,9
1990	27,2		80,5	49,6	74	87,2	201	574,2	190	110
1991	24,2		29,9	21,1	67	70,4	160,8	420	57,1	42,6
1992	7,7	9,6	59,5	47,4	94,5	46,2	176,8	311,8	52,8	32,4
1993	103	11,6	71,9	58	76,6	73,8	367,2	506	69,3	155,2
1994	103,4	24,9	42	46	159,9	152	370	789,6	76,3	114,5
1995	33,6	11,3	57,9	28,7	171,3	78	340,1	747,8	76,2	85,7
1996	165	16,7	47,9	48,1	252	104,4	374	1069	135,9	85,8
1997	59,1	33,8	85,7	64,5	116,6	108,5	370	676,7	129,5	82,5
1998	113,7	20,7	68,7	43,3	24,7	100,1	382	667	154,4	98,9
1999	128,6	27,6	112,2	45,6	69,9	140,4	577,3	998,6	138,3	197
2000	143,3	17,8	116,7	32,5	58,3	101,8	502,8	904,8	153,2	180

Nombre	Bolo Arriba	Los Minchos	Amaimé	Buchitolo	El Vergel	Mateguadua	El Alambrado	Cartago	La Sorpresa	El Placer
2001	77,5	32	40,7	32,5	58,3	64,3	313	547,4	96,8	61,8
2002	66,5	13,8	92,2	26,2	38,1	88,1	385	590,6	100	74,6
2003	76,8	12,2	59,2	34,5	38,1	106,1	353,5	602,6	93,7	112,2
2004	70,3	20,5	75	30,7	60,2	97,4	353,5	408,9	63,9	70,8
2005	109,3	35,3	74,3	37,3	156	78	346,7	590,6	94,1	70,8
2006	145,9	15,1	61,7	45,1	130	76,2	442,3	771,9	84,4	112,2
2007	105,8	8,1	99,4	64,5	93,9	102,5	587,5	644,4	98	104,8
2008	82,9	32,2	93,8	52,7	60,2	136,9	603,7	989,7	139,8	134,6
2009	134,3	33,5	60,9	45,6	143	89		821	76,1	233,2
2010	151,1	20,1	155,8		105,4	121,8		1061	143,8	200
2011	151,1	22,5	256,2			147		979,6	141,5	180
2012	101,3	11,7	88,8					616	119,2	118,1
2013	107,5	11	75					810,8	162,9	115,4
2014	109,3	9,8	123,1				403,7	451,9	60,8	71,6
2015	59,7	20	80,1				274,5	308,4	63,3	35,7
2016	28,3	20,7	67,5						89,4	51
2017	56,9	9,7	85,1		36,2	94,1	408,5	928,3	139	301,3
2018	53,1	16,9	97,5		25,3		408,5	662,8	69,8	108,7
2019	103,4	15,8	159,4				325,5	727,4	87,7	108,7

Los registros de caudales máximos instantáneos de las diez estaciones, se ajustaron a diferentes distribuciones de probabilidad, entre ellas Normal, Gumbel, Pearson, Log-Pearson, Log-Normal y EV3 seleccionando la distribución Log-Pearson o la distribución Gumbel al presentar el menor valor de  $\chi^2$  o los valores más conservadores (Entiéndase conservador como los valores más altos obtenidos del ajuste). La prueba  $\chi^2$  compara las frecuencias registradas en la estación contra los frecuencias esperadas teóricamente (Distribución de probabilidad) cuantificando qué tanto los valores teóricos representan los valores observados. En la Figura 142, se presenta el ajuste probabilístico de la estación Cartago y en la Tabla 83, los caudales máximos obtenidos para diferentes periodos de retorno en las diez estaciones. (Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales).



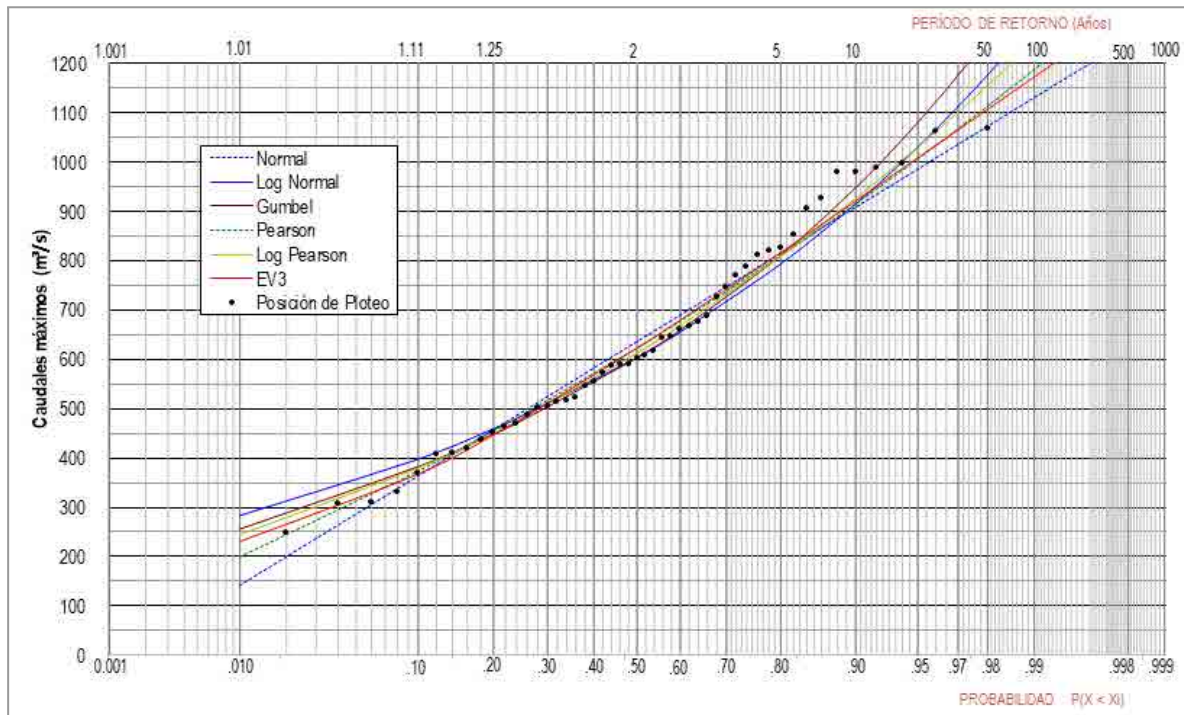


Figura 142. Ajuste probabilístico de caudales máximos. Estación Cartago.

Tabla 83. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno en m³/s.

Estación	Bolo Arriba	Los Minchos	Amaima	Buchitolo	El Vergel	Mateguadua	El Alambrado	Cartago	La Sorpresa	El Placer
Área (km²)	306,38	154,40	487,20	273,10	129,70	768,30	1651,60	2779,30	354,10	644,80
Tr (Años)	Log Pearson	Log Pearson	Log Pearson	Gumbel	Gumbel	Log Pearson	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Log Pearson
2	85,60	17,34	75,04	47,38	83,45	105,54	392,83	603,34	108,75	90,40
2,33	95,12	18,75	81,94	50,40	92,51	111,89	418,77	642,24	116,02	98,59
5	137,56	25,16	116,62	63,52	131,85	140,07	531,45	811,22	147,58	137,06
10	172,32	30,64	150,90	74,21	163,90	163,69	623,24	948,86	173,29	171,56
15	191,76	33,83	172,87	80,24	181,98	177,28	675,02	1026,51	187,79	192,24
25	215,58	37,89	202,98	87,72	204,39	194,44	739,20	1122,76	205,77	219,13
50	246,98	43,51	248,88	97,74	234,43	218,05	825,23	1251,76	229,86	257,43
100	277,54	49,31	301,51	107,68	264,25	242,29	910,63	1379,82	253,78	298,15
500	345,90	63,67	455,97	130,66	333,15	301,93	1107,96	1675,74	309,06	403,73

Estación	Bolo Arriba	Los Minchos	Amaime	Buchitolo	El Vergel	Mateguadua	El Alambrado	Cartago	La Sorpresa	El Placer
Chi <sup>2</sup>	50,81	3,95	47,06	5,36	32,84	16,91	65,82	65,75	28,81	31,37
Razón distribución seleccionada	Chi <sup>2</sup>	Chi <sup>2</sup>	Chi <sup>2</sup>	Chi <sup>2</sup>	C	Chi <sup>2</sup>	C	C	C	Chi <sup>2</sup>

C: Valores conservadores

#### 5.1.6.11.4.2. Caudal máximos en los cuerpos de agua superpuestos por la línea de transmisión

Definidos los caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno en las estaciones operadas por el IDEAM y la CVC, se generó una envolvente regional de caudales en la zona de estudio la cual permite en función del área de drenaje de la cuenca, determinar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno en un sitio de interés.

- Test de homogeneidad

Mediante el test de homogeneidad desarrollado por Lanbeing, el cual al comparar entre las estaciones analizadas las variaciones del caudal asociado a un periodo de retorno de 10 años, permite verificar que los registros de las estaciones sobre las corrientes del área en estudio correspondan a una región hidrológicamente homogénea al encontrarse variaciones pequeñas. En la Tabla 84, se presenta un resumen de los análisis desarrollados.

Tabla 84. Test de homogeneidad.

Estación	Área (km <sup>2</sup> )	Long. Registro (Años)	Qc m <sup>3</sup> /s (Tr=2,33)	Q10 m <sup>3</sup> /s (Tr=10)	Q10/Qc	KQc (Q10 estimado)	Tr para Q10 estimado	Cuerpo de agua
Bolo Arriba	306,4	59	95,1	172,3	1,8	154	7,4	Bolo
Los Minchos	154,4	28	18,8	30,6	1,6	30,4	9,8	Bolo
Amaime	487,2	36	81,9	150,9	1,8	132,7	7,3	Amaime
Buchitolo	273,1	48	50,4	74,2	1,5	81,6	16,8	Fraile
El Vergel	129,7	41	92,5	163,9	1,8	149,8	7,8	Guadalajara
Mateguadua	768,3	45	111,9	163,7	1,5	181,2	17,3	Tuluá
El Alambrado	1651,6	43	418,8	623,2	1,5	678,1	15,5	La Vieja
Cartago	2779,3	49	642,2	948,9	1,5	1040	16,4	La Vieja

Estación	Área (km <sup>2</sup> )	Long. Registro (Años)	Qc m <sup>3</sup> /s (Tr=2,33)	Q10 m <sup>3</sup> /s (Tr=10)	Q10/Qc	KQc (Q10 estimado)	Tr para Q10 estimado	Cuerpo de agua
La Sorpresa	354,1	48	116	173,3	1,5	187,9	15	Paila
El Placer	644,8	44	98,6	171,6	1,7	159,7	8,3	Bugalagrande
			Valor promedio K:		1,6			

En la Figura 143, se observa que las diez estaciones se ubican por dentro de la franja de confianza indicando que corresponden a una zona homogénea.

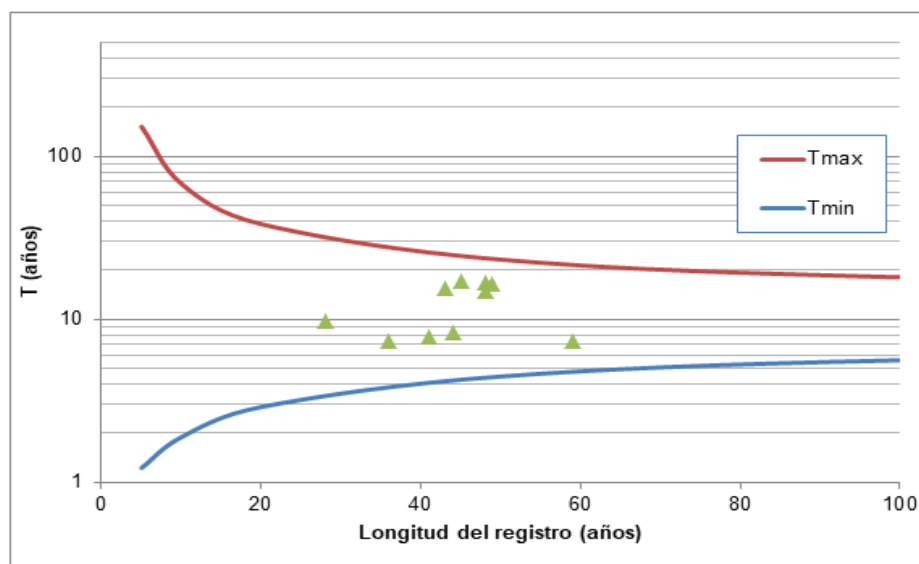


Figura 143. Test de homogeneidad estadística de las estaciones. Confianza 95%.

- Envoltente regional

Para el sistema hidrológicamente homogéneo de las estaciones analizadas se construyó una curva envolvente de caudales máximos relacionando el caudal máximo en m<sup>3</sup>/s versus el área de drenaje de la cuenca en km<sup>2</sup> para diferentes periodos de retorno.

1. Se calculó la relación entre el caudal para cada periodo de retorno definido y el caudal con periodo de retorno de 2,33 años para las diez estaciones. (Tabla 85).

**Tabla 85. Curva de regionalización.**

Estación	Área (Km <sup>2</sup> )	Qc m <sup>3</sup> /s (Tr=2,33)	Q5 m <sup>3</sup> /s (Tr=5)	Q10 m <sup>3</sup> /s (Tr=10)	Q15 m <sup>3</sup> /s (Tr=15)	Q25 m <sup>3</sup> /s (Tr=25)	Q50 m <sup>3</sup> /s (Tr=50)	Q100 m <sup>3</sup> /s (Tr=100)	Q500 m <sup>3</sup> /s (Tr=500)
Bolo Arriba	306,4	95,1	137,6	172,3	191,8	215,6	247	277,5	345,9
Los Minchos	154,4	18,8	25,2	30,6	33,8	37,9	43,5	49,3	63,7
Amaimé	487,2	81,9	116,6	150,9	172,9	203	248,9	301,5	456
Buchitolo	273,1	50,4	63,5	74,2	80,2	87,7	97,7	107,7	130,7
El Vergel	129,7	92,5	131,9	163,9	182	204,4	234,4	264,2	333,1
Mateguadua	768,3	111,9	140,1	163,7	177,3	194,4	218,1	242,3	301,9
El Alambrado	1651,6	418,8	531,5	623,2	675	739,2	825,2	910,6	1108
Cartago	2779,3	642,2	811,2	948,9	1026,5	1122,8	1251,8	1379,8	1675,7
La Sorpresa	354,1	116	147,6	173,3	187,8	205,8	229,9	253,8	309,1
El Placer	644,8	98,6	137,1	171,6	192,2	219,1	257,4	298,2	403,7
Estación			Q5/Qc	Q10/Qc	Q15/Qc	Q25/Qc	Q50/Qc	Q100/Qc	Q500/Qc
Bolo Arriba			1,45	1,81	2,02	2,27	2,6	2,92	3,64
Los Minchos			1,34	1,63	1,8	2,02	2,32	2,63	3,4
Amaimé			1,42	1,84	2,11	2,48	3,04	3,68	5,56
Buchitolo			1,26	1,47	1,59	1,74	1,94	2,14	2,59
El Vergel			1,43	1,77	1,97	2,21	2,53	2,86	3,6
Mateguadua			1,25	1,46	1,58	1,74	1,95	2,17	2,7
El Alambrado			1,27	1,49	1,61	1,77	1,97	2,17	2,65
Cartago			1,26	1,48	1,6	1,75	1,95	2,15	2,61
La Sorpresa			1,27	1,49	1,62	1,77	1,98	2,19	2,66
El Placer			1,39	1,74	1,95	2,22	2,61	3,02	4,09
Valor promedio			1,33	1,62	1,79	2	2,29	2,59	3,35

2. Se determinó la relación entre el caudal con periodo de retorno de 2,33 años y el área de drenaje de la cuenca hasta el sitio de cada estación. (Figura 144).

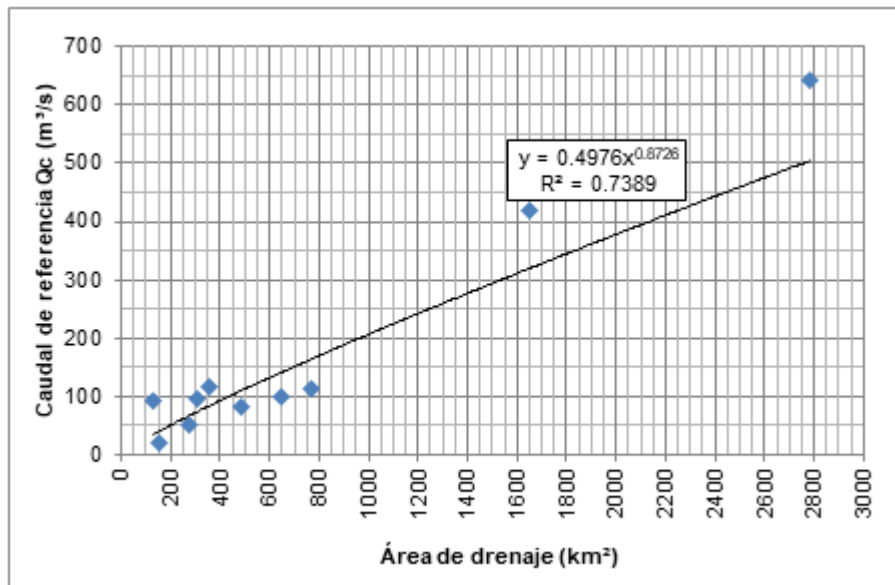


Figura 144. Curva regionalizada área de drenaje vs caudal de referencia Qc.

3. Se calculó el valor promedio de la relación  $Q_T/Q_{2,33}$  de la región para los diferentes periodos de retorno ( $T_r$ ) con base en los valores individuales para cada estación. Con esta información se establece la relación  $T_r$  vs  $Q_T/Q_{2,33}$  (Figura 145).

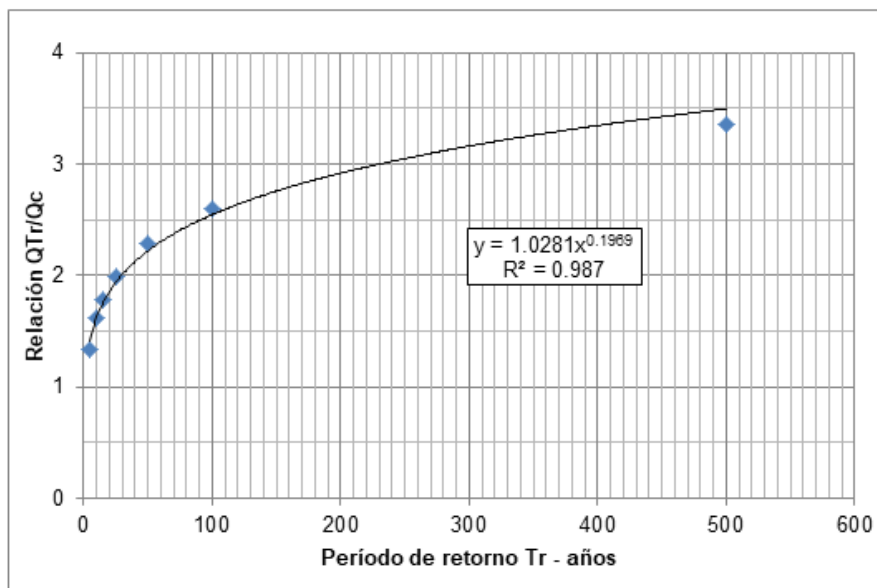


Figura 145. Curva regionalizada Período de retorno  $T_r$  vs relación  $Q_T/Q_c$ .

4. Para una cuenca no instrumentada se determina en función del área de drenaje el Q<sub>2,33</sub> con la relación establecida en la Figura 144. El caudal para diferentes periodos de retorno se determina con la relación presentada en la Figura 145.

En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales, se presenta el test de homogeneidad y la curva de regionalización para caudales máximos.

En la Tabla 86, se presentan los caudales para diferentes periodos de retorno en las subcuencas detalladas en la zona del proyecto.

Tabla 86. Caudales en m<sup>3</sup>/s para diferentes periodos de retorno en las subcuencas detalladas utilizando la envolvente regional.

No. subcuenca	Nombre	Área (Km <sup>2</sup> )	2	5	10	15	25	50	100	500
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	173,83	44,91	63,39	72,66	78,70	87,03	99,75	114,34	156,97
2	Directos al Cauca costado este	89,56	25,13	35,47	40,66	44,03	48,69	55,81	63,98	87,83
4	Río Párraga	124,59	33,53	47,32	54,24	58,75	64,97	74,47	85,35	117,18
5	Quebrada Chontaduro	107,91	29,58	41,75	47,85	51,83	57,31	65,69	75,30	103,37
7	Acequia Beringuito	6,94	2,70	3,81	4,36	4,73	5,23	5,99	6,87	9,43
8	Acequia Morrococoy	2,94	1,27	1,80	2,06	2,23	2,47	2,83	3,24	4,45
9	Río Palmira	10,35	3,82	5,40	6,19	6,70	7,41	8,50	9,74	13,37
10	Zanjon Poma	48,14	14,67	20,70	23,73	25,70	28,42	32,58	37,34	51,27
11	Río Nima	164,97	42,83	60,46	69,30	75,06	83,00	95,14	109,05	149,71
13	Río Cerrito	47,57	14,47	20,43	23,41	25,36	28,04	32,14	36,84	50,58
14	Río Zabaletas	166,24	43,12	60,86	69,76	75,56	83,56	95,77	109,78	150,71
15	Río Guabas	165,32	42,91	60,57	69,43	75,20	83,16	95,32	109,26	150,00
16	Río Sonso	76,92	22,01	31,07	35,61	38,57	42,65	48,89	56,04	76,93
18	Quebrada Chambimbal	19,15	6,54	9,23	10,58	11,46	12,68	14,53	16,65	22,86
19	Quebrada Los Mates	2,16	0,98	1,38	1,58	1,71	1,89	2,17	2,48	3,41
20	Quebrada San Pedro	14,13	5,02	7,08	8,12	8,79	9,72	11,14	12,77	17,53
22	Cañada La Mina	0,63	0,33	0,47	0,54	0,58	0,64	0,74	0,84	1,16
23	Río Morales	101,32	28,00	39,51	45,29	49,05	54,24	62,18	71,27	97,84
24	Quebrada Sabaletas	46,77	14,26	20,13	23,07	24,99	27,63	31,67	36,30	49,84
26	Quebrada San Miguel	31,14	10,00	14,11	16,18	17,52	19,38	22,21	25,46	34,95
27	Quebrada San Rosa	1,41	0,67	0,95	1,09	1,18	1,30	1,49	1,71	2,34
28	Quebrada El Overo	10,21	3,78	5,33	6,11	6,62	7,32	8,39	9,62	13,21



No. subcuenca	Nombre	Área (Km <sup>2</sup> )	2	5	10	15	25	50	100	500
29	Quebrada Murillo	13,47	4,81	6,79	7,79	8,43	9,33	10,69	12,25	16,82
31	Quebrada Los Ángeles	5,35	2,15	3,03	3,48	3,76	4,16	4,77	5,47	7,51
32	Quebrada Las Cañas	102,95	28,38	40,06	45,92	49,74	55,00	63,04	72,26	99,21
33	Quebrada Pan de Azúcar	18,02	6,20	8,75	10,03	10,87	12,02	13,78	15,79	21,68
34	Quebrada Yucatán	108,27	29,66	41,87	47,99	51,98	57,48	65,88	75,52	103,67
35	Quebrada Obando	15,44	5,42	7,65	8,77	9,50	10,50	12,04	13,80	18,94
37	Quebrada del Bosque	27,77	9,05	12,77	14,64	15,88	17,53	20,10	23,04	31,63
38	Quebrada La Pedregosa	0,63	0,33	0,47	0,54	0,58	0,64	0,74	0,84	1,16
39	Quebrada Hato Viejo	19,98	6,79	9,58	10,98	11,90	13,15	15,08	17,28	23,73
40	Quebrada Grande	17,24	5,96	8,42	9,65	10,45	11,56	13,24	15,18	20,85

#### 5.1.6.11.4.3. Caudal máximos en los sitios de ocupación de cauce

Para estimar los caudales máximos en los sitios de ocupación de cauce OC20 y OC23, se evidenció la necesidad de implementar modelos de transformación de precipitación en escorrentía directa; con estos métodos, en los que se requieren datos históricos de lluvia de corta duración y que se aplican a una cuenca hidrográfica, se calcula el caudal máximo de escorrentía superficial.

Existen dos métodos ampliamente utilizados y la selección de ellos depende del área de drenaje de la cuenca, el Método Racional para cuencas con áreas de drenaje menores a 2,5 km<sup>2</sup>, mientras que para cuencas mayores a 2,5 km<sup>2</sup> se calculan los caudales máximos con el Modelo Lluvia-Escorrentía del HEC-HMS.

- Características morfométricas de las subcuencas

Se tomaron los resultados de las características morfométricas estimadas para las quebradas La Honda y Pan de Azúcar en el numeral 5.1.1.4.

- Polígonos de Thiessen

Se consideró la influencia de las estaciones con registros de precipitación determinada con el método de los polígonos de Thiessen como se presenta en la Figura 146. Para la subcuenca OC 20 y OC 23 se utilizó la estación Corozal.

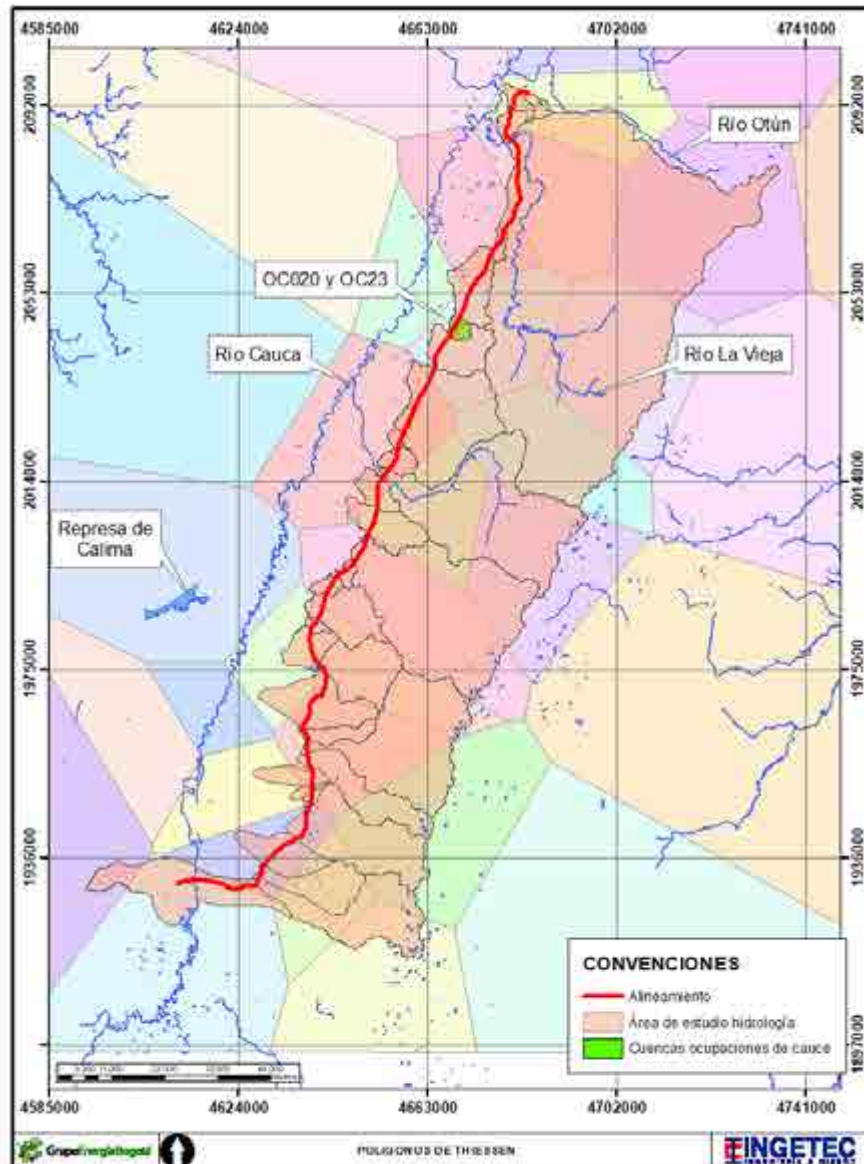


Figura 146. Polígonos de Thiessen subcuencas asociadas a las ocupaciones de cauce.

- Intensidad de la precipitación

Las curvas intensidad duración frecuencia (curvas IDF) constituyen una forma de sintetizar la información de precipitación para las tormentas de corta duración, y en la mayoría de los casos, es el insumo básico para la estimación de tormentas o eventos de diseño en la modelación hidrológica.

Su construcción se puede realizar por dos métodos diferentes dependiendo de la información disponible: a partir de ajustes estadísticos de registros continuos de precipitación (registros pluviográficos), y a partir de curvas con parámetros regionalizados (curvas sintéticas). Para este estudio se elaboraron curvas IDF sintéticas, ya que no se cuenta con registros continuos de precipitación de las estaciones representativas del área de análisis en las estaciones sino que se realizan una o dos lecturas diarias (por ejemplo 7:00 a.m. y 5:00 p.m.) de acuerdo con consultas realizadas a personal especializado del IDEAM y recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial en la Guía de Prácticas Hidrológicas (OMM-N° 168, 1994).

Para el desarrollo de este análisis se utilizó la metodología de Vargas et al., 1998, formulada a partir del análisis de más de 200 curvas IDF y registro pluviométricos concurrentes en Colombia, la cual propone la generación sintética de curvas IDF basada en la regionalización de los coeficientes para la Ecuación 21.

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d N^e P T^f$$

Ecuación 21. Intensidad de la lluvia.

Fuente: Diaz Granados & Vargas. Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad, duración, frecuencia para Colombia. (1998).

Donde:

I es la intensidad de la lluvia en mm/h

T periodo de retorno en años

t es la duración de los eventos en horas

M es la precipitación promedio de las máximas anuales para el período en el que se tiene registro en mm

N es el número de días de lluvia

PT es la precipitación media anual en mm

Los coeficientes de la ecuación son reportados en Vargas et al., 1998, y para la zona andina, son los que se presentan en la Tabla 87.

Tabla 87. Coeficientes de la ecuación de regionalización de las IDF

Región	a	b	c	d	e	f
Andina	1,61	0,19	0,65	0,75	-0,15	0,08

Fuente: Diaz Granados & Vargas. Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad, duración, frecuencia para Colombia. (1998).

En la Tabla 88 se presentan los valores a partir de los cuales se elaboraron las curvas IDF en la estación Corozal dada su influencia en las subcuencas de interés. Se resalta que el valor de precipitación máxima en 24 horas corresponde al promedio de las precipitaciones máximas anuales y no al promedio de la serie mensual de registros.

Tabla 88. Datos de lluvia para elaborar las curvas IDF.

Estación	Precipitación total anual (PT en mm)	P Máxima en 24h (M en mm)	Número de días de precipitación (N)
Corozal	1756	76	108

De acuerdo con la metodología presentada para elaboración de curvas IDF sintéticas, en la Figura 147 se presenta la Curva IDF obtenida para la estación Corozal y el resumen de datos en la Tabla 89. En el Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales, se presentan las curvas IDF de la estación relacionada en la Tabla 88.

Tabla 89. Estación Corozal. Valores de intensidades máximas.

Periodo de retorno (Años)	Intensidad (mm/h)										
	Duración (min)										
	15	20	30	40	50	60	120	180	240	300	360
<b>2</b>	106,3	88,2	67,8	56,2	48,6	43,2	27,5	21,1	17,5	15,2	13,5
<b>5</b>	126,5	105,0	80,6	66,9	57,9	51,4	32,8	25,2	20,9	18,1	16,0
<b>10</b>	144,4	119,7	92,0	76,3	66,0	58,6	37,4	28,7	23,8	20,6	18,3
<b>15</b>	155,9	129,3	99,4	82,4	71,3	63,3	40,4	31,0	25,7	22,2	19,8
<b>25</b>	171,8	142,5	109,5	90,8	78,6	69,8	44,5	34,2	28,3	24,5	21,8
<b>50</b>	196,0	162,6	124,9	103,6	89,6	79,6	50,7	39,0	32,3	28,0	24,8
<b>100</b>	223,6	185,4	142,5	118,2	102,2	90,8	57,9	44,5	36,9	31,9	28,3
<b>500</b>	303,5	251,8	193,4	160,5	138,8	123,3	78,6	60,4	50,1	43,3	38,5

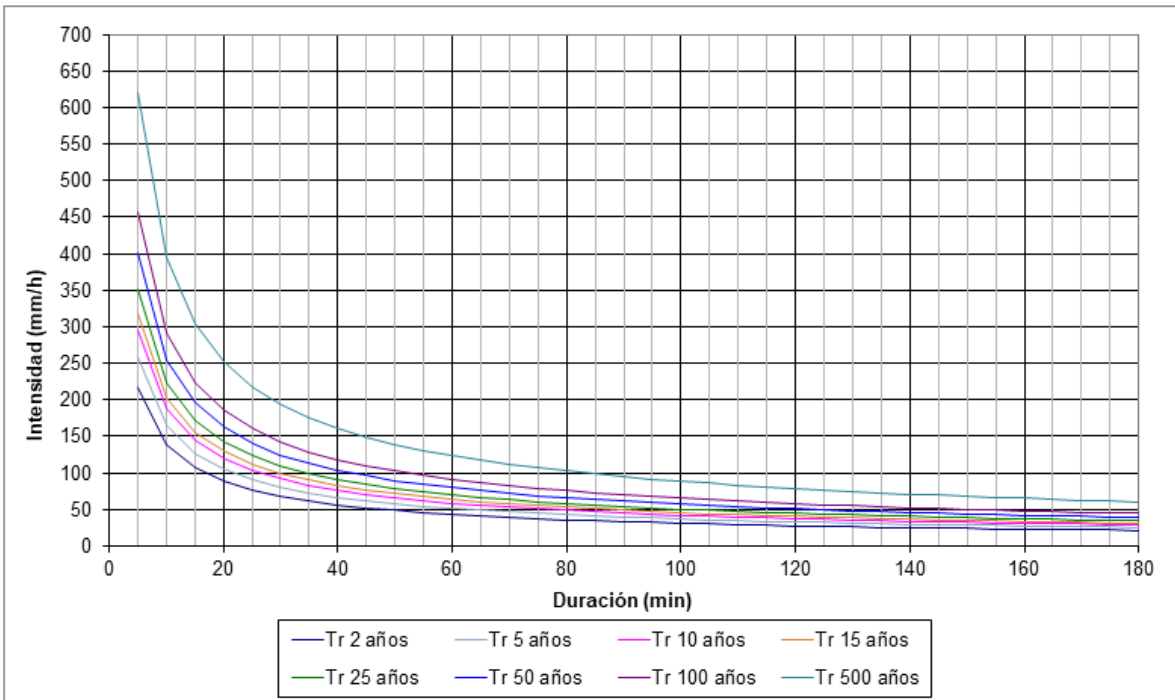


Figura 147. Curvas IDF Estación Corozal.

- Método del hidrograma unitario del SCS (Área > 2,5 km<sup>2</sup>)

En términos generales, un hidrograma unitario es la función de respuesta de pulso unitario para un sistema lineal, y se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de una unidad de exceso de lluvia (precipitación efectiva) generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva (Ven Te Chow, 1994). Las suposiciones del modelo son: i) El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva, ii) El exceso de precipitación está fuertemente distribuido a través de toda el área de drenaje, iii) el tiempo base, del hidrograma unitario resultante de un exceso de lluvia de una duración dada, es constante, iv) las ordenadas de todos los hidrogramas son directamente proporcionales a la cantidad de escorrentía directa, y v) el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de una cuenca.

El SCS propuso un hidrograma sintético triangular cuya geometría (Figura 90) se define con el área y el tiempo de concentración de la cuenca, como se presenta en la Ecuación 22.

$$Q_p = 0,2083 \frac{A}{t_p} E$$

Ecuación 22. Caudal pico.

Fuente: Ven Te, Maidment, & Mays. Hidrología aplicada. (1994).

Donde:

A es el área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

E es la escurrentía unitaria, 1 mm

Tp es el tiempo al pico

El tiempo al pico medio desde el comienzo del hidrograma, el cual se obtiene con la expresión presentada en la Ecuación 23.

$$t_p = \frac{d}{2} + t_l = \frac{d}{2} + 0,6 * t_c$$

Ecuación 23. Tiempo al pico.

Fuente: Ven Te, Maidment, & Mays. Hidrología aplicada. (1994).

Donde:

$t_l$  es el tiempo de rezago de la cuenca que corresponde a una fracción (60%) del tiempo de concentración  $t_c$ , definido en el capítulo de morfología

$d$  es la duración de exceso de precipitación unitaria.

Para finalizar la descripción geométrica del hidrograma, el ancho de la base se define como la Ecuación 24.

$$T_{bt} = \frac{8}{3} t_p$$

Ecuación 24. Tiempo base del hidrograma.

Fuente: Ven Te, Maidment, & Mays. Hidrología aplicada. (1994).

Donde:

$T_{bt}$  es el tiempo base del hidrograma

$t_p$  es el tiempo al pico



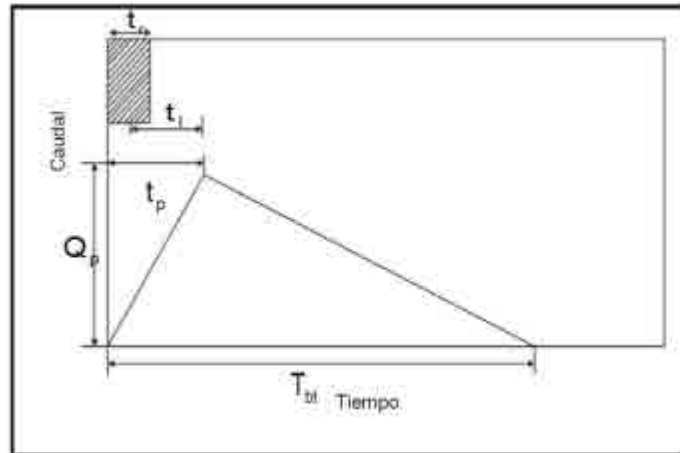


Figura 148. Hidrograma Unitario Triangular del SCS.

Fuente: Ven Te, Maidment, & Mays. Hidrología aplicada. (1994).

El software utilizado en el modelo lluvia escorrentía fue el HEC-HMS del Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos que es de libre distribución y utiliza parámetros que no requieren información detallada o mediciones adicionales a registros de lluvias y caudales. Este modelo representa la relación física precipitación-suelo-cobertura del suelo-escorrentía a partir de datos de precipitación aplicada sobre un área con características morfométricas y de usos del suelo definidas generando un hidrograma de salida de la cuenca.

Como parámetros de entrada del modelo se tienen área, cobertura vegetal y usos del suelo obtenidas a partir de la información disponible de la zona y los trabajos realizados en campo.

- Precipitaciones máximas en 24 horas

A partir de los registros de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones con influencia sobre las subcuencas, se realizó el ajuste estadístico mediante diferentes funciones de distribución de probabilidad, seleccionando la de mejor ajuste, con el propósito de estimar las precipitaciones máximas asociadas diferentes periodos de retorno, entre 2 y 500 años.

Como ejemplo, se presentan los resultados de la estación Corozal en la Tabla 90 se presentan los resultados de precipitaciones máximas ajustadas a diferentes funciones de distribución de probabilidad y gráficamente en la Figura 149.

Tabla 90. Precipitaciones máximas para diferentes funciones de distribución de frecuencia.  
Estación Corozal.

Tr (Años)	Normal (mm)	Gumbel (mm)	Pearson (mm)	Log-Pearson (mm)	Log-Normal (mm)	EV3 (mm)
2	77,47	74,55	75,07	75,19	75,30	74,77
5	93,21	92,96	92,05	91,94	92,01	92,59
10	101,44	105,15	102,40	102,26	102,17	103,09
15	105,55	112,02	107,97	107,87	107,65	108,58
25	110,22	120,55	114,63	114,66	114,25	115,00
50	115,89	131,97	123,23	123,53	122,80	123,03
100	120,99	143,32	131,43	132,14	131,03	130,45
500	131,32	169,52	149,48	151,60	149,43	145,97
Chi <sup>2</sup>	8,73	3,59	4,38	4,23	4,31	4,97

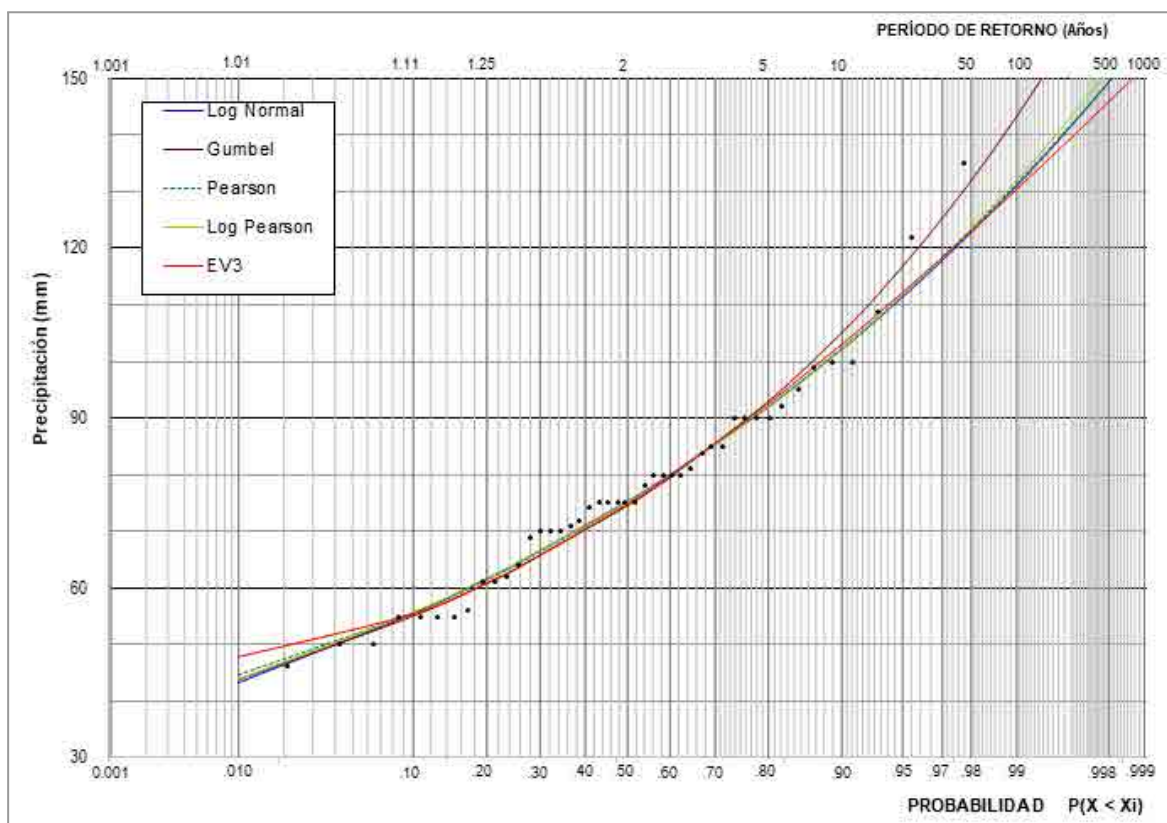


Figura 149. Representación gráfica de precipitaciones máximas ajustadas a diferentes funciones de distribución de probabilidad. Estación Corozal.

Teniendo en cuenta que los resultados de la distribución Gumbel son los más conservadores (Precipitaciones más altas en comparación con las demás distribuciones) en las tres estaciones analizadas, se adoptaron los resultados de esta distribución. En la Tabla 91 se presentan los valores de precipitación adoptados y en el Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales, el ajuste a las distribuciones de probabilidad para todas las estaciones analizadas.

Tabla 91. Precipitaciones máximas en mm para diferentes periodos de retorno en las estaciones analizadas.

<b>Tr (Años)</b>	<b>Corozal</b>
2	74,55
5	92,96
10	105,15
15	112,02
25	120,55
50	131,97
100	143,32
500	169,52

- Distribución espacial de la precipitación y reducción por área

Debido a que los registros de precipitación máxima en las cuencas son puntuales por la localización de las estaciones, son máximos en 24 horas y no corresponden a duraciones inferiores de tormentas, se determinó la precipitación máxima promedio sobre las cuencas mediante el uso de diferentes metodologías.

- Factores de reducción por área recomendados.

Para determinar el factor de reducción por área, el manual de drenajes del INVIAS recomienda el uso de tres ecuaciones y el uso del estudio realizado por INGETEC en 2005 para la Empresa de Acueducto de Bogotá denominado Estudio y revisión de las curvas IDF y del Análisis Espacial de las Tormentas, curvas PADF para la Sabana de Bogotá.

---

Desde la Ecuación 25 hasta la Ecuación 27, se presentan las ecuaciones recomendadas por el INVIAS para determinar el factor de reducción por área.

- Ecuación de Fhrüling.

$$f(a) = 1,0 - 0,0054A^{0,25}$$

Ecuación 25. Factor de reducción por área Fhrüling.

Fuente: INVIAS. Manual de drenaje para carreteras. (2009).

Donde:

A: Área de drenaje de la cuenca en m<sup>2</sup>.

- Ecuación del Institution of Civil Engineers – Inglaterra

$$f(a) = 1,0 - 0,0268tc^{-0,261}A^{0,387}$$

Ecuación 26. Factor de reducción por área Institution of Civil Engineers – Inglaterra

Fuente: INVIAS. Manual de drenaje para carreteras. (2009).

Donde:

A: Área de drenaje de la cuenca en km<sup>2</sup>.

Tc: tiempo de concentración de la cuenca en horas (h).

- Ecuación según datos de Norteamérica

$$f(a) = 1,0 - 0,05tc^{0,361}A^{0,264}$$

Ecuación 27. Factor de reducción por área datos de Norteamérica.

Fuente: INVIAS. Manual de drenaje para carreteras. (2009).

Donde:

A: Área de drenaje de la cuenca en km<sup>2</sup>.

Tc: tiempo de concentración de la cuenca en horas (h)

En cuanto al uso del estudio realizado por INGETEC en 2005 para el Análisis Espacial de las Tormentas, se presentan en la Figura 150 las curvas PADF recomendadas por el INVÍAS, las cuales presentan las curvas de reducción de la lluvia puntual por espacialidad en la cuenca.

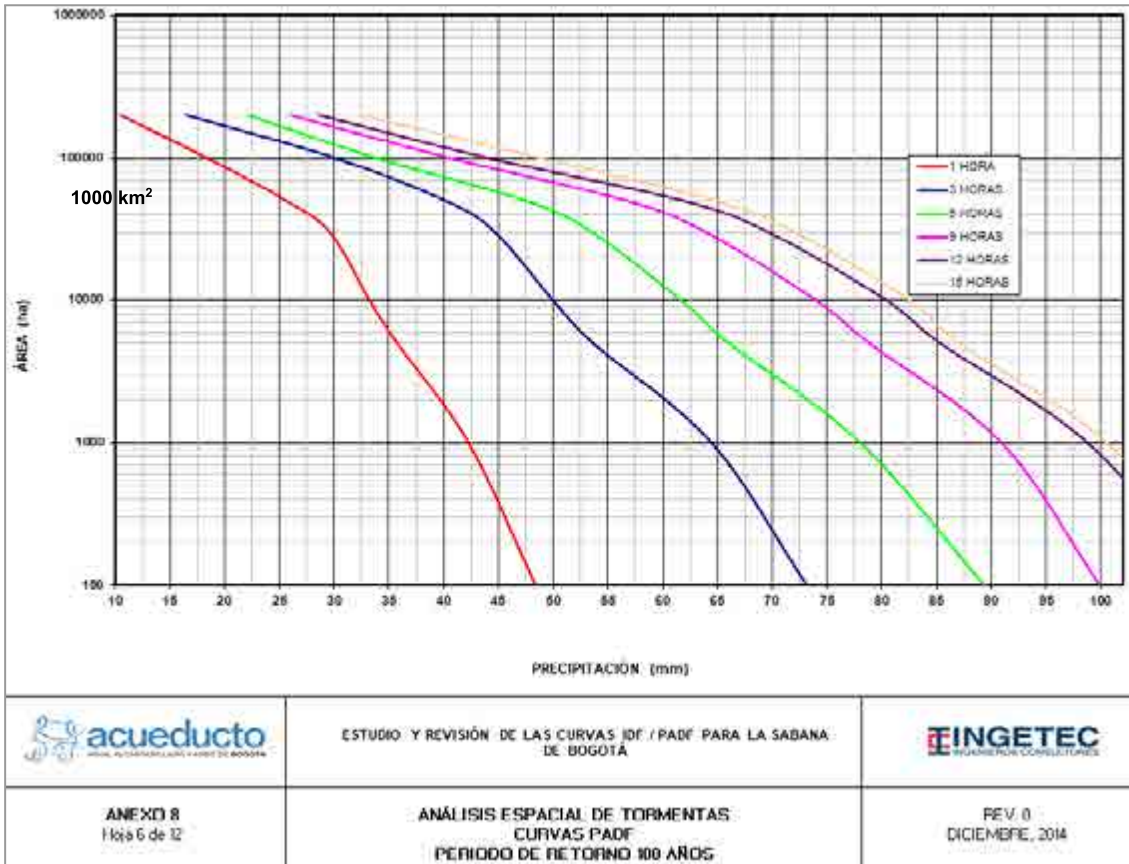


Figura 150. Curvas PADF. Periodo de retorno de 100 años

Fuente: INGETEC. Estudio de Análisis Espacial de las Tormentas – Curvas PADF. (2005).

El factor de reducción será el resultado de dividir la precipitación correspondiente al área de la cuenca para una duración determinada (en este caso la duración es igual al tiempo de concentración), sobre la precipitación correspondiente a un área de 1 km<sup>2</sup> para la misma duración. Por ejemplo, para la subcuenca OC20, la precipitación correspondiente a un área de 12,6 km<sup>2</sup> y una duración igual al tiempo de concentración de 4 horas es de 67,5 mm y la precipitación para un área de 1 km<sup>2</sup> para la misma duración es de 78,0 mm, por tanto el factor de reducción por área será el resultado de dividir 67,5 mm / 78,0 mm = 0,87.

En la Tabla 92 se presenta el resumen de los resultados obtenidos a partir del uso de las ecuaciones mencionadas anteriormente y del uso de las curvas PADF para las subcuencas OC20 y OC23.

Tabla 92. Factor de reducción por área para las subcuencas de las ocupaciones de cauce OC20 y OC23.

Subcuenca	Características		Ecuación				Factor de reducción por área y duración
	Área (km <sup>2</sup> )	Tc (Horas)	Fhruling	Institution of Civil Engineers	Datos Norteamérica	Curvas PADF	
OC20 Q. La Honda	12,60	4,00	0,68	0,95	0,84	0,87	0,62
OC23 Q. Pan de Azúcar	18,00	4,10	0,65	0,94	0,82	0,83	0,61

Los resultados muestran que con la ecuación de Fhrüling se presenta el menor factor de reducción. Debido a que los resultados de caudales máximos son muy sensibles al factor de reducción por área y con el fin de no subestimar los caudales, se decide eliminar los resultados obtenidos con la ecuación de Fhrüling que son los menores. Se toma entonces para el factor de reducción por área el promedio de las metodologías de las curvas PADF, Institution of Civil Engineers y Datos norteamérica obteniéndose un factor de reducción por área para las cuencas analizadas como se presenta en la Tabla 92.

Para considerar el efecto de reducción por duración, de las curvas PADF se relacionó la precipitación correspondiente a un área de 1 km<sup>2</sup> para una duración de 15 horas (111,12 mm). Para la ocupación OC20 con la precipitación correspondiente a un área de 12,6 km<sup>2</sup> y una duración igual al tiempo de concentración de 4 horas (67,5 mm) obteniéndose un factor de 0,61.

La relación del factor de reducción por área con respecto al factor de reducción por duración de las PADF es de 0,70 (0,61/0,87) y el factor de reducción por área y duración considerando el promedio del factor de reducción por área (0,88) es de 0,62 (0,88\*0,70). Para la generación del evento de precipitación se utilizó el factor de reducción que considera el área y la duración (0,62). En la Tabla 70 se presenta el factor de reducción por área y duración de cada subcuenca analizada.



- Tormenta de diseño

Para dar una secuencia más crítica del aguacero, como es usual en este tipo de análisis, y por medio del método de Bloques Alternos, los incrementos de lluvia de los hietogramas mencionados previamente se arreglan de la siguiente manera: el valor más bajo se coloca en el primer lugar, el segundo valor en orden creciente se coloca en último lugar, el tercer valor en tal orden se ubica en segundo lugar, el cuarto valor en el penúltimo lugar, y así sucesivamente.

En la Figura 151 se presenta la distribución temporal del evento de lluvia que será empleada en la modelación hidrológica para un periodo de retorno de 100 años en la subcuenca OC20, en el Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales, se presentan los hietogramas asociados a un periodo de retorno de 2, 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años para las subcuencas OC20 y OC23.

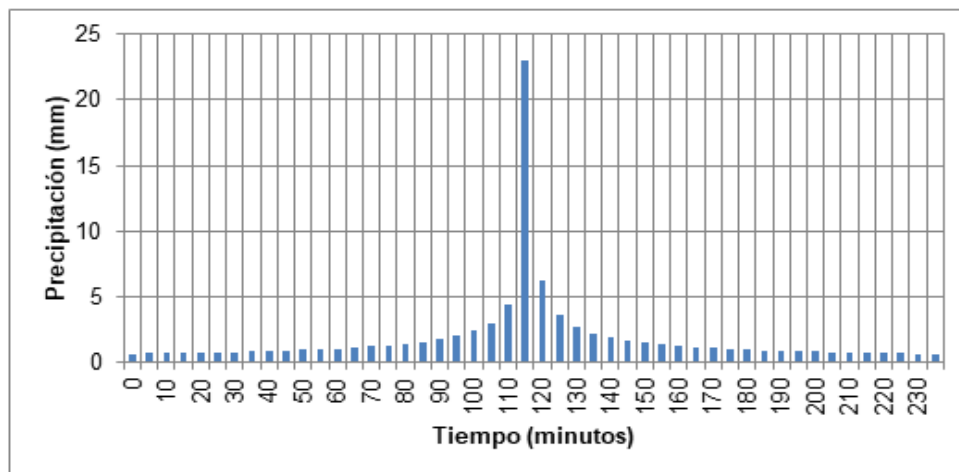


Figura 151. Distribución de la precipitación por método de bloques alternos para la subcuenca OC20. Periodo de retorno 100 años.

#### 5.1.6.11.4.4. Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es la precipitación que se convierte en escorrentía directa, por lo tanto, es importante calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

El método implementado se denomina “Número de Curva”, propuesto por el SCS; en este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN. El número de curva varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la cuenca hidrográficas: i) tipo de suelo hidrológico, ii) utilización y tratamiento del suelo, iii) condiciones de la superficie del terreno, y (iv) condición de humedad antecedente del suelo<sup>59</sup>.

El valor CN corresponde con el número de curva de la metodología del Soil Conservation Service, de acuerdo con el tipo de cobertura vegetal del suelo, y la geología del suelo para las cuencas de interés. En la Tabla 93 se presentan los valores teóricos de CN para diferentes condiciones de suelo.

Tabla 93. Valores de CN II para diferentes usos de tierra

Descripción del uso de la tierra		Grupo Hidrológico del Suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada :	sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales :	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos :	condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques :	troncos delgados, cubiertas pobres, sin hierbas	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	óptimas condiciones :	39	61	74	80
	condiciones aceptables :	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial :					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras :					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
grava		76	85	89	91
tierra		72	82	87	89

<sup>59</sup> Instituto Nacional de Vías - Subdirección de apoyo técnico. Manual de drenaje para carreteras. 2009. p 2-80.

Fuente: Ven Te, Maidment, & Mays. Hidrología aplicada. (1994)

El valor de CN II utilizado corresponde principalmente a pastizales, cultivos y bosques del grupo hidrológico de suelo tipo C (Anexo D4 - Hidrología/D.4.6 Estimación caudales). Para evaluar el efecto ante condiciones de humedad se estimó el CN III con la Ecuación 28. En la Tabla 94 se presentan los valores de CNII y CNIII para las subcuencas de interés.

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10+0,13CN_{II}}$$

Ecuación 28. Condición de humedad tipo III

Fuente: Ven Te, Maidment, & Mays. Hidrología aplicada. (1994)

Donde:

CNIII es el número de curva en condición de humedad.

CNII es el número de curva en condición normal.

Tabla 94. Valores de CN II y CN III para las subcuencas hasta los sitios de ocupación de cauce.

Subcuenca	CNII	CNIII
OC20 - Q. La Honda	75,0	87,3
OC23 - Q. Pan de Azúcar	75,3	87,5

La lluvia efectiva que causa escorrentía superficial, y la magnitud de las abstracciones de una tormenta, se pueden obtener por el método del Soil Conservation Service, a partir de la Ecuación 29 y la Ecuación 30.

$$Q = \frac{(P-0,20S)^2}{P-0,80S}$$

Ecuación 29. Escorrentía total acumulada.

Fuente: Ven Te, Maidment, & Mays. Hidrología aplicada. (1994)

Donde:

Q es la escorrentía total acumulada, milímetros

P es la precipitación total del evento, milímetros.

S es la infiltración potencial o retención potencial máxima, pulgadas.

$$s = \frac{25400}{CN} - 254$$

Ecuación 30. Infiltración potencial.

Fuente: Ven Te, Maidment, & Mays. Hidrología aplicada. (1994)

Donde:

S es la infiltración potencial o retención potencial máxima, pulgadas.

CN es el número de curva.

- Resultados

De acuerdo con la metodología anteriormente expuesta y los parámetros morfométricos e hidrológicos de las subcuencas de las ocupaciones de cauce, se estimaron los caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

En la Tabla 95 se presenta el resumen de parámetros empleados para el cálculo de caudales máximos en las ocupaciones de cauce OC20 y OC23 y en la Tabla 96 los caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno.

Tabla 95. Resumen de los parámetros de modelación para estimar caudales máximos en subcuencas mayores a 2,5 km<sup>2</sup> - Hidrograma Unitario del SCS.

Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Tc (min)	Tlag (min)	CNII	CNIII	Factor de reducción por área y duración	Duración aguacero (horas)
OC20 - Q. La Honda	12,6	238	143	75,0	87,3	0,62	4,0
OC23 - Q. Pan de Azúcar	18,0	248	149	75,3	87,5	0,61	4,0

Tabla 96. Caudales máximos en m<sup>3</sup>/s asociados a diferentes periodos de retorno en las subcuencas analizadas.

Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	CN	2	5	10	15	25	50	100	500
OC20 Q. La Honda	12,6	75,0	6,1	9,8	13,5	16,2	20,0	26,2	32,1	43,7
		87,3	17,3	23,6	29,3	33,2	38,6	47,0	54,6	69,1

OC23 Q. Pan de Azúcar	18,0	75,3	8,3	13,2	13,2	21,8	27,0	35,4	43,3	59,2
		87,5	23,5	31,9	31,9	45,0	52,3	63,8	74,1	93,7

La modelación realizada en HEC-HMS se presenta en el Anexo D4 Hidrología/D.4.6 Estimación caudales. (Al realizar simulaciones en HEC-HMS, el programa por defecto crea una serie de carpetas las cuales se encuentran vacías dado que se realizó la modelación a nivel de evento. Se decide no eliminar las carpetas generadas por el programa para evitar posibles errores en la corrida).

#### 5.1.6.11.5. Caudales mínimos

De las series diarias registradas en las estaciones Amaime, Bolo Arriba, Buchitolo, Cartago, El Placer, El Vergel, La Sorpresa y Mateguadua, y las serie de caudales diarios generadas para los cuerpos de agua superpuestos por la línea de transmisión y los sitios de ocupación de cauce, se estimaron los caudales mínimos esperados para diferentes períodos de retorno utilizando diferentes distribuciones de probabilidad, entre ellas Normal, Gumbel, Pearson, Log-Pearson, Log-Normal y EV3. En la Figura 152, se presenta como ejemplo los resultados de caudales mínimos de la estación Amaime ajustados a diferentes funciones de distribución de probabilidad.

La selección de la distribución se realizó por presentar el menor valor de  $\chi^2$ , (Esta prueba compara las frecuencias registradas contra los frecuencias esperadas teóricamente de la distribución de probabilidad, cuantificando qué tanto los valores teóricos representan los valores observados) o por presentar los valores más conservadores (Caudales más bajos en comparación con las demás distribuciones).

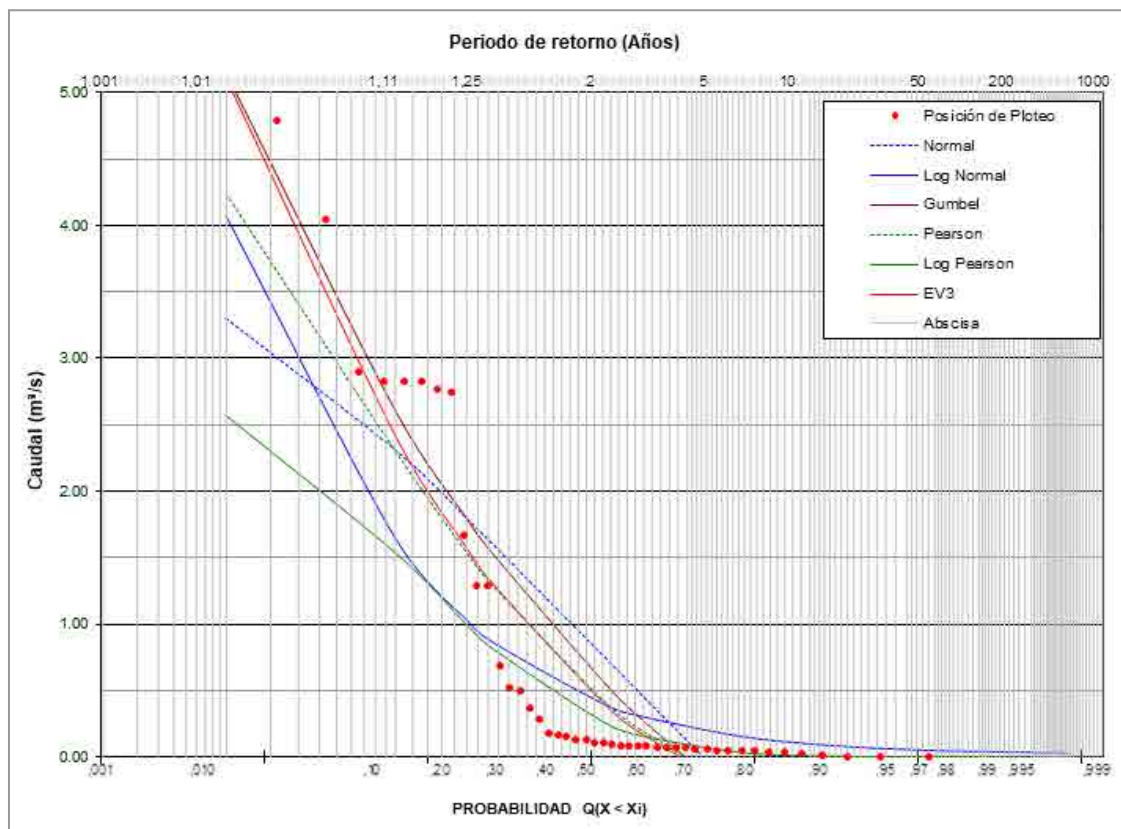


Figura 152. Representación gráfica de caudales mínimos ajustados a diferentes funciones de distribución de probabilidad estación Amaime.

En la Tabla 97 se presentan los caudales mínimos para diferentes periodos de retorno obtenidos en las subcuencas analizadas en la zona del proyecto y en el Anexo D4 Hidrología/D.4.6 Estimación caudales, el ajuste a las distribuciones de probabilidad de cada subcuenca detalladas.

Tabla 97. Caudales mínimos en m<sup>3</sup>/s asociados a diferentes periodos de retorno en las subcuencas detalladas.

No. subcuenca	Subcuenca estudio	Área (km <sup>2</sup> )	Periodo de retorno (Años)							
			2	5	10	15	25	50	100	500
1	Directos al Cauca oeste-Z. Cascal	173,83	0,51	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Directos al Cauca costado	89,56	0,26	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



No. subcuenca	Subcuenca estudio	Área (km <sup>2</sup> )	Periodo de retorno (Años)							
			2	5	10	15	25	50	100	500
	este									
3	Río Fraile Estación Buchitolo	275,53	0,80	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Río Párraga	124,59	0,37	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Quebrada Chontaduro	107,91	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Río Bolo Estación Bolo Arriba	306,38	0,51	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	Acequia Beringuito	6,94	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Acequia Morrocroy	2,94	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	Río Palmira	10,35	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	Zanjón Poma	48,14	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Río Nima	164,97	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	Río Amaime Estación Amaime	487,21	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	Río Cerrito	47,57	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	Río Zabaletas	166,24	1,15	0,73	0,55	0,47	0,38	0,28	0,20	0,05
15	Río Guabas	165,32	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	Río Sonso	76,92	0,53	0,34	0,25	0,22	0,18	0,13	0,09	0,02
17	Río Guadalajara Estación El Vergel	129,65	1,53	0,96	0,73	0,62	0,50	0,37	0,26	0,06
18	Quebrada Chambimbal	19,15	0,13	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
19	Quebrada Los Mates	2,16	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
20	Quebrada San Pedro	14,13	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,00
21	Río Tuluá Estación Mateguadua	768,28	5,30	3,24	2,37	1,97	1,55	1,07	0,67	0,00
22	Cañada La Mina	0,63	3,48	1,62	0,83	0,47	0,09	0,00	0,00	0,00
23	Río Morales	101,32	0,56	0,26	0,13	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00
24	Quebrada Sabaletas	46,77	0,26	0,12	0,06	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
25	Río Bugalagrande Estación El Placer	666,46	4,69	3,00	2,28	1,95	1,61	1,21	0,89	0,29

No. subcuenca	Subcuenca estudio	Área (km <sup>2</sup> )	Periodo de retorno (Años)							
			2	5	10	15	25	50	100	500
26	Quebrada San Miguel	31,14	0,17	0,08	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
27	Quebrada Santa Rosa	1,41	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	Quebrada El Overo	10,21	0,06	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
29	Quebrada Murillo	13,47	0,07	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
30	Río Paila Estación La Sorpresa	354,13	0,82	0,38	0,20	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00
31	Quebrada Los Ángeles	5,35	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	Quebrada Las Cañas	102,95	0,57	0,27	0,14	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00
33	Quebrada Pan de Azúcar	18,02	0,10	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
34	Quebrada Yucatán	108,27	0,60	0,28	0,14	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00
35	Quebrada Obando	15,44	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
36	Río La Vieja Estación Cartago	2779,29	25,04	16,59	13,00	11,38	9,64	7,69	6,05	3,05
37	Quebrada del Bosque	27,77	0,15	0,07	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
38	Quebrada La Pedregosa	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	Quebrada Hato Viejo	19,98	0,11	0,05	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
40	Quebrada Grande	17,24	0,10	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
41	OC20	12,59	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
42	OC23	18,00	0,10	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01

#### 5.1.6.11.6. Índices de caracterización del régimen hidrológico

Los valores reportados en el Estudio Nacional del Agua 2018<sup>60</sup>, para las subzonas hidrográficas que son superpuestas por la línea de transmisión y de las cuales hacen parte los cuerpos de agua identificados y caracterizados se presentan en la Tabla 98.

<sup>60</sup> IDEAM (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá.

Tabla 98. Índices para las zonas hidrográficas identificadas.

SZH	Nombre SZH	IRH		Ia	
		Valor	Categoría	Valor	Categoría
2607	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	0,68	Moderada	0,27	Moderado a excedentes de agua
2609	Ríos Amaime y Cerrito	0,74	Moderada	0,24	Moderado a excedentes de agua
2610	Ríos Tuluá y Morales	0,76	Alta	0,20	Moderado a excedentes de agua
2612	Río La Vieja	0,71	Moderada	0,16	Excedentes de agua
2613	Río Otún y otros directos al Cauca	0,73	Moderada	0,12	Altos excedentes de agua
2629	Ríos Claro y Jamundí	0,71	Moderada	0,18	Excedentes de agua
2630	Ríos Lili, Melendez y Cañaveralejo	0,73	Moderada	0,29	Moderado a excedentes de agua
2632	Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso	0,74	Moderada	0,24	Moderado a excedentes de agua
2633	Ríos Guadalajara y San Pedro	0,74	Moderada	0,23	Moderado a excedentes de agua
2635	Río Bugalagrande	0,74	Moderada	0,21	Moderado a excedentes de agua
2636	Río Paila	0,73	Moderada	0,24	Moderado a excedentes de agua
2637	Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando	0,68	Moderada	0,28	Moderado a excedentes de agua

Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. (2019).

#### 5.1.6.11.6.1. Índice de retención y regulación hídrica (IRH)

El índice de retención y regulación evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca. Igualmente, mide la capacidad de retención de humedad en las cuencas con base en la distribución de series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios, y permite evaluar

la capacidad de regulación del sistema en su conjunto. Los rangos van de 0 y 1 y los valores más bajos son los que se interpretan como de menor regulación.

El índice de retención y regulación hídrica se estima mediante la Ecuación 31.

$$IRH = \frac{V_p}{V_t}$$

Ecuación 31. Índice de regulación hídrica

Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. (2019).

Donde:

IRH es el índice de regulación hídrica.

$V_p$  es el volumen del área por debajo del caudal medio (en curva de duración de caudales).

$V_t$  es el volumen total de curva de duración de caudales.

El índice se calcula con base en la curva de duración de caudales medios diarios y los rangos establecidos se relacionan en la Tabla 99 y en la Tabla 100 se presenta el índice para las subcuencas detalladas.

Tabla 99. Calificación de Rangos del Índice de Regulación Hídrica.

Rango de valores del Indicador	Calificación	Descripción
> 0,85	Muy alta	Muy alta retención y regulación de humedad
0,75 - 0,85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
0,65 - 0,75	Moderada	Media retención y regulación de humedad media
0,50 - 0,65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
< 0,50	Muy baja	Muy baja retención y regulación de humedad

Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. (2019).

Tabla 100. Índice de Regulación Hídrica en las subcuencas detalladas.

No. subcuenca	Nombre	Valor	Categoría
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	0,70	Moderada
2	Directos al Cauca costado este	0,70	Moderada
3	Río Fraile	0,70	Moderada
4	Río Párraga	0,70	Moderada



No. subcuenca	Nombre	Valor	Categoría
5	Quebrada Chontaduro	0,60	Baja
6	Río Bolo	0,60	Baja
7	Acequia Beringuito	0,60	Baja
8	Acequia Morrocoy	0,60	Baja
9	Río Palmira	0,60	Baja
10	Zanjón Poma	0,60	Baja
11	Río Nima	0,60	Baja
12	Río Amaime	0,60	Baja
13	Río Cerrito	0,60	Baja
14	Río Zabaletas	0,76	Alta
15	Río Guabas	0,60	Baja
16	Río Sonso	0,76	Alta
17	Río Guadalajara	0,76	Alta
18	Quebrada Chambimbal	0,76	Alta
19	Quebrada Los Mates	0,76	Alta
20	Quebrada San Pedro	0,76	Alta
21	Río Tuluá	0,77	Alta
22	Cañada La Mina	0,60	Baja
23	Río Morales	0,60	Baja
24	Quebrada Sabaletas	0,60	Baja
25	Río Bugalagrande	0,74	Moderada
26	Quebrada San Miguel	0,60	Baja
27	Quebrada San Rosa	0,60	Baja
28	Quebrada El Overo	0,60	Baja
29	Quebrada Murillo	0,60	Baja
30	Río Paila	0,60	Baja
31	Quebrada Los Ángeles	0,60	Baja
32	Quebrada Las Cañas	0,60	Baja
33	Quebrada Pan de Azúcar	0,60	Baja



No. subcuenca	Nombre	Valor	Categoría
34	Quebrada Yucatán	0,60	Baja
35	Quebrada Obando	0,60	Baja
36	Río La Vieja	0,71	Moderada
37	Quebrada del Bosque	0,60	Baja
38	Quebrada La Pedregosa	0,60	Baja
39	Quebrada Hato Viejo	0,60	Baja
40	Quebrada Grande	0,60	Baja
41	OC20 - Q. La Honda	0,60	Baja
42	OC23 - Q. Pan de Azúcar	0,60	Baja

#### 5.1.6.11.6.2. Índice de aridez

El índice de aridez permite caracterizar el clima en una zona de manera cualitativa, mostrando condiciones con excedencia o déficit de agua. Este representa la dinámica superficial del suelo determinada a partir de las variables de evapotranspiración real y evapotranspiración potencial, y no se refiere a la dinámica subsuperficial del suelo.

La evapotranspiración potencial es un factor determinante en la obtención de este indicador, para su cálculo se utilizó la ecuación de Budyko (Ver Ecuación 32) para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR) la cual y la ecuación de tanque evaporímetro para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP). Para la ETP se tomaron los resultados del numeral 5.1.10.2.7 del Capítulo 5.1. Medio abiótico - 5.1.11 Atmósfera y para la precipitación valores obtenidos para cada subcuenca a partir de la distribución espacial de la precipitación anual. El índice de aridez se calculó con la Ecuación 32.

$$ETR = \sqrt{ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) * \left[1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \operatorname{senoh}\left(\frac{ETP}{P}\right)\right]}$$

Ecuación 32. Evapotranspiración real

Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. (2019).

Donde:

P es la precipitación media anual multianual en mm/año



ETP es la evapotranspiración potencial en mm  
 ETR es la evapotranspiración real en mm  
 tanh, cosh, senoh, son las funciones hiperbólicas

$$Ia = \frac{ETP-ETR}{ETP}$$

Ecuación 33. Índice de aridez

Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. (2019).

Donde:

Ia es el índice de aridez (adimensional)  
 ETP es la evapotranspiración potencial (mm)  
 ETR es la evapotranspiración real (mm)

Este índice permite determinar los grados de excedencia o déficit de agua en las diversas regiones del país de acuerdo con el mapa presentado en el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2015), donde se presenta la calificación del índice de aridez como se presenta en la Tabla 101.

Tabla 101. Calificación de Rangos del Índice de Aridez.

Rango de valores del Indicador	Calificación
< 0,15	Altos excedentes de agua
0,15 - 0,19	Excedentes de agua
0,20 - 0,29	Moderado a excedentes de agua
0,30 - 0,39	Moderado
0,40 - 0,49	Moderado a deficitario de agua
0,50 - 0,59	Deficitario de agua
> 0,6	Altamente deficitario de agua

Fuente: IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. (2019).

Tabla 102. Índice de Aridez en las subcuencas detalladas.

No. subcuenca	Nombre	Ia	Calificación
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	0,27	Moderado a excedente de agua
2	Directos al Cauca costado este	0,25	Moderado a excedente de agua
3	Río Fraile	0,22	Moderado a excedente de agua

No. subcuenca	Nombre	la	Calificación
4	Río Párraga	0,22	Moderado a excedente de agua
5	Quebrada Chontaduro	0,25	Moderado a excedente de agua
6	Río Bolo	0,23	Moderado a excedente de agua
7	Acequia Beringuito	0,25	Moderado a excedente de agua
8	Acequia Morrocoy	0,25	Moderado a excedente de agua
9	Río Palmira	0,26	Moderado a excedente de agua
10	Zanjón Poma	0,28	Moderado a excedente de agua
11	Río Nima	0,22	Moderado a excedente de agua
12	Río Amaime	0,22	Moderado a excedente de agua
13	Río Cerrito	0,22	Moderado a excedente de agua
14	Río Zabaletas	0,25	Moderado a excedente de agua
15	Río Guabas	0,22	Moderado a excedente de agua
16	Río Sonso	0,25	Moderado a excedente de agua
17	Río Guadalajara	0,23	Moderado a excedente de agua
18	Quebrada Chambimbal	0,23	Moderado a excedente de agua
19	Quebrada Los Mates	0,23	Moderado a excedente de agua
20	Quebrada San Pedro	0,23	Moderado a excedente de agua
21	Río Tuluá	0,23	Moderado a excedente de agua
22	Cañada La Mina	0,25	Moderado a excedente de agua
23	Río Morales	0,23	Moderado a excedente de agua
24	Quebrada Sabaletas	0,25	Moderado a excedente de agua
25	Río Bugalagrande	0,23	Moderado a excedente de agua
26	Quebrada San Miguel	0,25	Moderado a excedente de agua
27	Quebrada San Rosa	0,26	Moderado a excedente de agua
28	Quebrada El Overo	0,27	Moderado a excedente de agua
29	Quebrada Murillo	0,27	Moderado a excedente de agua
30	Río Paila	0,21	Moderado a excedente de agua
31	Quebrada Los Ángeles	0,26	Moderado a excedente de agua
32	Quebrada Las Cañas	0,23	Moderado a excedente de agua

No. subcuenca	Nombre	la	Calificación
33	Quebrada Pan de Azúcar	0,24	Moderado a excedente de agua
34	Quebrada Yucatán	0,24	Moderado a excedente de agua
35	Quebrada Obando	0,22	Moderado a excedente de agua
36	Río La Vieja	0,15	Excedentes de agua
37	Quebrada del Bosque	0,15	Excedentes de agua
38	Quebrada La Pedregosa	0,15	Excedentes de agua
39	Quebrada Hato Viejo	0,14	Altos excedentes de agua
40	Quebrada Grande	0,14	Altos excedentes de agua
41	OC20 - Q. La Honda	0,23	Moderado a excedente de agua
42	OC23 - Q. Pan de Azúcar	0,24	Moderado a excedente de agua

En el Anexo D4 Hidrología/D.4.7 Índices hidrológicos, se presenta la estimación del índice de regulación hídrica y el índice de aridez en cada subcuenca.

#### 5.1.6.11.7. Caudal ambiental

A partir de las series de caudales diarios generadas para las cuencas regionales y las subcuenas detalladas, se estimó el caudal ambiental como el Q95% de la curva de duración de caudales (CDQ) medios diarios de cada mes, es decir, el Q95% se calculó como el caudal que es superado el 95% del tiempo en cada uno de los meses del año.

La estimación de caudal ambiental presentada en este informe sólo considera el componente hidrológico para el Q95% de la Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental desarrollada por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2013<sup>61</sup>.

En la Tabla 103 se presenta el caudal ambiental estimado para cada mes en las 19 cuencas regionales y en la Tabla 104 se presenta el caudal ambiental estimado para cada mes en las 40 subcuenas detalladas en la zona del proyecto.

<sup>61</sup>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Metodología para la Estimación y Evaluación del Caudal Ambiental en Proyectos que Requieren Licencia Ambiental. Bogotá. 2013.

**Tabla 103. Caudal ambiental en m<sup>3</sup>/s para las cuencas regionales.**

No. cuenca	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	0,211	0,170	0,160	0,781	1,202	1,213	0,922	0,336	0,310	0,363	0,591	0,410	0,556
2	Río Fraile	1,513	0,762	0,724	1,653	3,256	2,364	1,982	0,953	0,894	1,525	2,491	2,669	1,732
3	Río Amaime	0,493	0,550	0,744	1,790	2,754	2,101	1,539	0,619	0,314	0,911	3,203	1,947	1,414
4	El Cerrito	0,033	0,036	0,049	0,118	0,182	0,139	0,102	0,041	0,021	0,060	0,212	0,129	0,094
5	Río Zabaletas	1,097	1,079	1,054	1,262	1,702	1,353	1,072	0,872	0,930	1,179	1,611	1,607	1,235
6	Río Guabas	1,166	1,147	1,120	1,341	1,809	1,438	1,139	0,926	0,988	1,253	1,712	1,708	1,312
7	Río Sonso	0,730	0,718	0,701	0,840	1,133	0,901	0,713	0,580	0,619	0,785	1,072	1,070	0,822
8	Río Guadalajara	1,498	1,475	1,440	1,724	2,325	1,849	1,464	1,191	1,270	1,611	2,201	2,196	1,687
9	Zanjón Burriga	1,545	1,520	1,484	1,777	2,397	1,906	1,509	1,228	1,310	1,660	2,268	2,264	1,739
10	Río Tuluá	5,590	4,510	4,779	6,572	8,160	7,163	6,661	6,118	4,987	6,221	8,561	7,062	6,365
11	Río Morales	1,312	1,058	1,122	1,542	1,915	1,681	1,563	1,436	1,170	1,460	2,009	1,657	1,494
12	Río Bugalagrande	6,551	5,777	6,197	8,894	10,670	9,744	7,613	5,417	4,637	6,109	7,866	7,920	7,283
13	Río Paila	1,123	0,970	0,883	1,444	1,882	1,591	1,123	0,695	0,709	1,244	2,541	2,029	1,353
14	Quebrada Las Cañas	0,774	0,668	0,608	0,996	1,297	1,097	0,774	0,479	0,489	0,857	1,751	1,398	0,932
15	Quebrada Pan de Azúcar	0,444	0,384	0,349	0,571	0,745	0,630	0,444	0,275	0,280	0,492	1,005	0,803	0,535
16	Quebrada Yucatán	0,736	0,635	0,578	0,946	1,233	1,043	0,736	0,456	0,464	0,815	1,665	1,329	0,886
17	Quebrada Obando	1,593	1,375	1,252	2,048	2,668	2,257	1,593	0,986	1,005	1,764	3,603	2,877	1,918
18	Río La Vieja	32,766	23,754	23,795	37,767	48,221	36,477	26,914	22,071	18,555	26,099	49,445	44,898	32,563
19	Quebrada Hato Viejo	0,390	0,336	0,306	0,501	0,653	0,552	0,390	0,241	0,246	0,431	0,881	0,704	0,469

Tabla 104. Caudal ambiental en m<sup>3</sup>/s para las subcuencas detalladas en la zona del proyecto y sitios de ocupación de cauce.

No. subcuenca	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1	D. Cauca oeste-Z. Cascad	0,211	0,170	0,160	0,781	1,202	1,213	0,922	0,336	0,310	0,363	0,591	0,410	0,556
2	Directos al Cauca costado este	0,109	0,087	0,082	0,402	0,618	0,624	0,474	0,173	0,160	0,187	0,304	0,211	0,286
3	Río Fraile	0,333	0,267	0,252	1,231	1,894	1,912	1,453	0,529	0,489	0,572	0,932	0,647	0,876
4	Río Párraga	0,151	0,121	0,114	0,558	0,859	0,867	0,659	0,240	0,222	0,259	0,422	0,293	0,397
5	Quebrada Chontaduro	0,154	0,077	0,074	0,168	0,331	0,240	0,201	0,097	0,091	0,155	0,253	0,271	0,176
6	Río Bolo	0,397	0,200	0,190	0,434	0,854	0,620	0,520	0,250	0,235	0,400	0,654	0,700	0,455
7	Acequia Beringuito	0,010	0,005	0,005	0,011	0,021	0,015	0,013	0,006	0,006	0,010	0,016	0,017	0,011
8	Acequia Morrocroy	0,004	0,002	0,002	0,005	0,009	0,007	0,005	0,003	0,002	0,004	0,007	0,007	0,005
9	Río Palmira	0,015	0,007	0,007	0,016	0,032	0,023	0,019	0,009	0,009	0,015	0,024	0,026	0,017
10	Zanjón Poma	0,069	0,035	0,033	0,075	0,148	0,108	0,090	0,043	0,041	0,069	0,113	0,121	0,079
11	Río Nima	0,072	0,081	0,109	0,263	0,404	0,308	0,226	0,091	0,046	0,134	0,470	0,286	0,208
12	Río Amaime	0,157	0,175	0,237	0,570	0,877	0,669	0,490	0,197	0,100	0,290	1,020	0,620	0,450
13	Río Cerrito	0,019	0,022	0,029	0,071	0,109	0,083	0,061	0,024	0,012	0,036	0,127	0,077	0,056
14	Río Zabaletas	0,997	0,981	0,958	1,147	1,547	1,230	0,974	0,792	0,845	1,072	1,464	1,461	1,122
15	Río Guabas	0,073	0,081	0,110	0,263	0,405	0,309	0,226	0,091	0,046	0,134	0,471	0,286	0,208
16	Río Sonso	0,461	0,454	0,443	0,531	0,716	0,569	0,451	0,367	0,391	0,496	0,677	0,676	0,519
17	Río Guadalajara	1,321	1,300	1,269	1,520	2,050	1,630	1,291	1,050	1,120	1,420	1,940	1,936	1,487

No. subcuenca	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
18	Quebrada Chambimbal	0,115	0,113	0,110	0,132	0,178	0,142	0,112	0,091	0,097	0,123	0,169	0,168	0,129
19	Quebrada Los Mates	0,013	0,013	0,012	0,015	0,020	0,016	0,013	0,010	0,011	0,014	0,019	0,019	0,015
20	Quebrada San Pedro	0,085	0,083	0,081	0,097	0,131	0,105	0,083	0,067	0,072	0,091	0,124	0,124	0,095
21	Río Tuluá	5,380	4,340	4,600	6,325	7,853	6,895	6,411	5,888	4,800	5,987	8,240	6,797	6,126
22	Cañada La Mina	0,004	0,003	0,003	0,005	0,006	0,005	0,004	0,002	0,002	0,004	0,008	0,006	0,004
23	Río Morales	0,575	0,497	0,452	0,740	0,964	0,815	0,575	0,356	0,363	0,637	1,301	1,039	0,693
24	Quebrada Sabaletas	0,266	0,229	0,209	0,341	0,445	0,376	0,266	0,164	0,168	0,294	0,601	0,480	0,320
25	Río Bugalagrande	5,503	4,852	5,205	7,471	8,963	8,185	6,395	4,550	3,895	5,131	6,608	6,653	6,118
26	Quebrada San Miguel	0,177	0,153	0,139	0,227	0,296	0,251	0,177	0,109	0,112	0,196	0,400	0,319	0,213
27	Quebrada San Rosa	0,008	0,007	0,006	0,010	0,013	0,011	0,008	0,005	0,005	0,009	0,018	0,014	0,010
28	Quebrada El Overo	0,058	0,05	0,046	0,075	0,097	0,082	0,058	0,036	0,037	0,064	0,131	0,105	0,070
29	Quebrada Murillo	0,076	0,066	0,06	0,098	0,128	0,108	0,076	0,047	0,048	0,085	0,173	0,138	0,092
30	Río Paila	0,840	0,725	0,660	1,080	1,407	1,190	0,840	0,520	0,530	0,930	1,900	1,517	1,012
31	Quebrada Los Ángeles	0,03	0,026	0,024	0,039	0,051	0,043	0,03	0,019	0,019	0,034	0,069	0,055	0,037
32	Quebrada Las Cañas	0,585	0,505	0,459	0,752	0,979	0,828	0,585	0,362	0,369	0,647	1,322	1,056	0,704
33	Quebrada Pan de Azúcar	0,102	0,088	0,080	0,132	0,171	0,145	0,102	0,063	0,065	0,113	0,231	0,185	0,123
34	Quebrada Yucatán	0,615	0,531	0,483	0,790	1,030	0,871	0,615	0,381	0,388	0,681	1,391	1,110	0,741
35	Quebrada Obando	0,088	0,076	0,069	0,113	0,147	0,124	0,088	0,054	0,055	0,097	0,198	0,158	0,106
36	Río La Vieja	32,14	23,30	23,34	37,05	47,30	35,78	26,40	21,65	18,20	25,60	48,50	44,04	31,94



No. subcuenca	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
37	Quebrada del Bosque	0,158	0,136	0,124	0,203	0,264	0,223	0,158	0,098	0,100	0,175	0,357	0,285	0,190
38	Quebrada La Pedregosa	0,004	0,003	0,003	0,005	0,006	0,005	0,004	0,002	0,002	0,004	0,008	0,006	0,004
39	Quebrada Hato Viejo	0,113	0,098	0,089	0,146	0,190	0,161	0,113	0,070	0,072	0,126	0,257	0,205	0,137
40	Quebrada Grande	0,098	0,084	0,077	0,126	0,164	0,139	0,098	0,061	0,062	0,108	0,221	0,177	0,118
41	OC20	0,071	0,062	0,056	0,092	0,120	0,101	0,071	0,044	0,045	0,079	0,162	0,129	0,086
42	OC23	0,102	0,088	0,080	0,131	0,171	0,145	0,102	0,063	0,064	0,113	0,231	0,185	0,123

#### 5.1.6.11.8. Oferta hídrica disponible a escala mensual

La oferta hídrica disponible en las cuencas regionales y en las subcuencas detalladas se estimó como el caudal medio estimado en el numeral 5.1.1.7.2. menos el caudal ambiental estimado en el 5.1.1.7.6.

Los resultados de oferta hídrica para las cuencas regionales hasta el río Cauca se presentan en la Tabla 105 y para las subcuencas detalladas en la zona del proyecto en la Tabla 106.

Tabla 105. Oferta hídrica disponible, en m<sup>3</sup>/s para las cuencas regionales.

No. cuenca	Nombre	Qmedio (m <sup>3</sup> /s)	Qambiental promedio (m <sup>3</sup> /s)	Oferta hídrica disponible (m <sup>3</sup> /s)
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	3,344	0,556	2,788
2	Río Fraile	20,388	1,732	18,656
3	Río Amaime	21,574	1,414	20,161
4	El Cerrito	1,427	0,094	1,334
5	Río Zabaletas	3,511	1,235	2,276
6	Río Guabas	3,732	1,312	2,419
7	Río Sonso	2,337	0,822	1,515
8	Río Guadalajara	4,797	1,687	3,11
9	Zanjón Burriga	4,945	1,739	3,206
10	Río Tuluá	16,72	6,365	10,354
11	Río Morales	3,923	1,494	2,43
12	Río Bugalagrande	19,955	7,283	12,672
13	Río Paila	6,766	1,353	5,413
14	Quebrada Las Cañas	4,664	0,932	3,731
15	Quebrada Pan de Azúcar	2,677	0,535	2,142
16	Quebrada Yucatán	4,433	0,886	3,547
17	Quebrada Obando	9,595	1,918	7,676
18	Río La Vieja	98,682	32,563	66,118
19	Quebrada Hato Viejo	2,347	0,469	1,878

Tabla 106. Oferta hídrica disponible, en m<sup>3</sup>/s, para las subcuencas detalladas y sitios de ocupación de cauce.

No. subcuenca	Nombre	Qmedio (m <sup>3</sup> /s)	Qambiental promedio (m <sup>3</sup> /s)	Oferta hídrica disponible (m <sup>3</sup> /s)
1	D. Cauca oeste-Z. Cascal	3,344	0,556	2,788
2	Directos al Cauca costado este	1,719	0,286	1,434
3	Río Fraile	5,264	0,876	4,388
4	Río Párraga	2,392	0,397	1,995
5	Quebrada Chontaduro	2,072	0,176	1,896
6	Río Bolo	5,348	0,454	4,894
7	Acequia Beringuito	0,133	0,011	0,122
8	Acequia Morrocoy	0,056	0,005	0,052
9	Río Palmira	0,199	0,017	0,182
10	Zanjón Poma	0,928	0,079	0,849
11	Río Nima	3,167	0,207	2,960
12	Río Amaime	6,870	0,450	6,420
13	Río Cerrito	0,913	0,060	0,854
14	Río Zabaletas	3,192	1,122	2,069
15	Río Guabas	3,174	0,208	2,966
16	Río Sonso	1,477	0,519	0,958
17	Río Guadalajara	4,229	1,487	2,742
18	Quebrada Chambimbal	0,368	0,129	0,238
19	Quebrada Los Mates	0,042	0,015	0,027
20	Quebrada San Pedro	0,271	0,095	0,176
21	Río Tuluá	16,103	6,126	9,977
22	Cañada La Mina	0,021	0,004	0,017
23	Río Morales	3,465	0,693	2,772
24	Quebrada Sabaletas	1,599	0,320	1,280
25	Río Bugalagrande	16,770	6,118	10,653
26	Quebrada San Miguel	1,065	0,213	0,852



---

<b>No. subcuenca</b>	<b>Nombre</b>	<b>Qmedio (m³/s)</b>	<b>Qambiental promedio (m³/s)</b>	<b>Oferta hídrica disponible (m³/s)</b>
27	Quebrada Santa Rosa	0,048	0,010	0,039
28	Quebrada El Overo	0,349	0,070	0,279
29	Quebrada Murillo	0,461	0,092	0,369
30	Río Paila	5,060	1,012	4,048
31	Quebrada Los Ángeles	0,183	0,037	0,146
32	Quebrada Las Cañas	3,521	0,704	2,817
33	Quebrada Pan de Azúcar	0,616	0,123	0,493
34	Quebrada Yucatán	3,703	0,740	2,963
35	Quebrada Obando	0,528	0,106	0,422
36	Río La Vieja	96,796	31,941	64,855
37	Quebrada del Bosque	0,950	0,190	0,760
38	Quebrada La Pedregosa	0,021	0,004	0,017
39	Quebrada Hato Viejo	0,683	0,137	0,547
40	Quebrada Grande	0,589	0,118	0,471
41	OC20 - Q. La Honda	0,431	0,003	0,427
42	OC23 - Q. Pan de Azúcar	0,616	0,029	0,587

---

#### 5.1.6.11.9. Cambio climático

Aunque no existe una definición única, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) define el Cambio Climático como: “Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras”<sup>62</sup>.

Para estimar el comportamiento de parámetros climatológicos como la precipitación se han desarrollado los modelos climáticos globales (MCG), también llamados modelos de circulación general, los cuales son una representación numérica tridimensional de la dinámica atmosférica y, por tanto, de la circulación general alrededor del planeta”. (PRICC, Panel Regional Integral de Cambio Climático, 2013). Tienen como objetivo representar procesos físicos en la atmósfera y en la tierra; actualmente son la herramienta que permite simular de mejor manera la respuesta del clima global frente al aumento de emisiones de gases efecto invernadero.

Los modelos climáticos globales tienen el potencial de proveer estimaciones geográficas y físicas de los posibles cambios en el clima regional, estos deben ser consistentes físicamente con otros cambios regionales y globales.

Actualmente el IPCC definió escenarios de cambio climático que buscan explicar las consecuencias potenciales de la influencia de las actividades humanas (crecimiento poblacional, desarrollo tecnológico, crecimiento económico, entre otros) sobre el clima, pues todas estas actividades son determinantes en la generación de gases efecto invernadero, los cuales son capaces de retener parte de la radiación que la superficie terrestre emite hacia el espacio.

Es importante resaltar que los escenarios de cambio climático no son pronósticos ni predicciones, se refieren a la búsqueda de la explicación de cómo el hombre y sus actividades puede influenciar la variación del clima de una zona y sirven como herramienta de planificación en la toma de decisiones de diferentes proyectos, definición de medidas de adaptación, identificación de vulnerabilidad, entre otros.

En el año 2015 el IDEAM, que es la entidad regulatoria en aspectos de cambio climático en el país presentó los cuatro escenarios vigentes denominados RCP “Caminos Representativos de Concentración” por sus siglas en inglés, los cuales están fundamentados

---

<sup>62</sup> Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Tercer informe de evaluación. Anexo B. Glosario de términos. 2001.

en el forzamiento radiativo, el cual según el IPCC es el “cambio en la irradiación neta vertical (energía solar más longitud de onda larga, en  $W/m^2$ ). La palabra “representativo” significa que cada RCP proporciona sólo uno de los muchos posibles escenarios que pueden conducir a las características de ese Forzamiento Radiativo (IDEAM, 2015).

El nivel de incertidumbre inicial de los escenarios que tienen como base la simulación de parámetros climáticos resultantes de estos modelos es medio - alto, tal como lo expresa el IDEAM en su documento Tercera Comunicación Nacional. Figura 153.

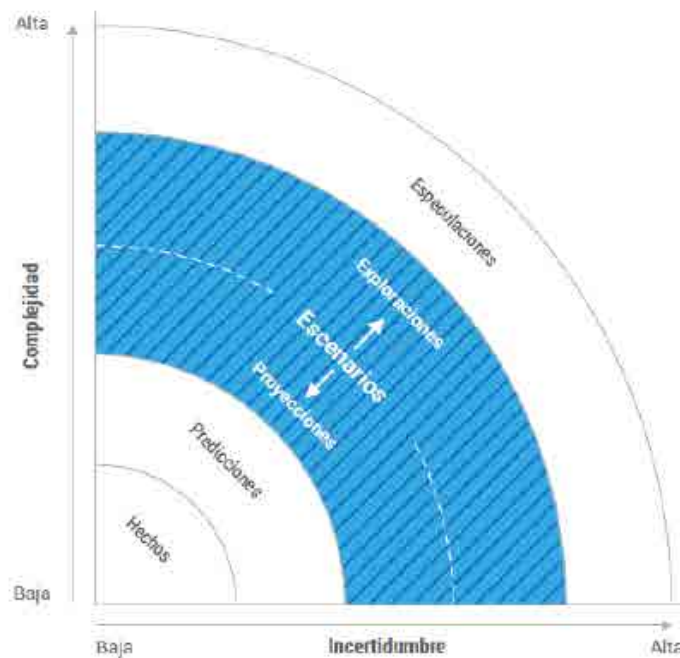


Figura 153. Esquema de incertidumbre y complejidad en el que se sitúan los escenarios, como herramienta de gestión basada en información científica, respecto de los hechos o meras especulaciones. Zurek y Henrichs 2007.

Fuente: IDEAM. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. (2015).

El IDEAM resalta que el objetivo de trabajar con escenarios de cambio climático no es predecir el futuro climático, sino evaluar un amplio espectro de posibilidades respecto al posible comportamiento del clima en el futuro y entender las incertidumbres asociadas, con el fin de orientar decisiones robustas que permitan anticiparse a los posibles hechos y generar desde hoy un accionar eficaz que permita introducir los cambios sociales,



ambientales, económicos y políticos necesarios para no llegar a la situación proyectada de un futuro desfavorable.

En la Tercera Comunicación Nacional de Colombia a La Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático se presentan los cambios proyectados por departamentos por el ensamble multiescenario. Para la temperatura media muestra que para todo el país habría aumento, siendo los más altos en la Orinoquía (superiores a 2,5°C en el periodo 1971-2100) y los más bajos en Cundinamarca Boyacá (entre 1,5 y 2,0°C); mientras que para precipitación las reducciones significativas se darían en la región Caribe y en Amazonas y los aumentos en la región Andina, siendo los más altos en el eje cafetero<sup>63</sup>.

Para caracterizar los efectos del cambio climático en la zona del proyecto, se utilizó la información consignada en La Tercera Comunicación en el mapa departamental del Valle del Cauca.

#### 5.1.6.11.9.1. Variación en la precipitación

Los resultados para la variación en la precipitación presentados por el IDEAM en la Tercera Comunicación Nacional mencionan: En general el Departamento podrá aumentar en 6% las precipitaciones sobre el valor actual. Particularmente las provincias Occidente, Sur y Centro serán aquellas que presentan mayores aumentos, con valores de hasta un 20%, al igual que los municipios de Cartago, Ulloa, El Águila, Ansermanuevo y Alcalá.

En general para el Valle del Cauca no se presentan disminuciones representativas de precipitación según los modelos generados.<sup>64</sup>Figura 154.

---

<sup>63</sup> IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.. Bogotá. 2015. p. 194.

<sup>64</sup> IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Ficha departamental Valle del Cauca. Bogotá. 2015.

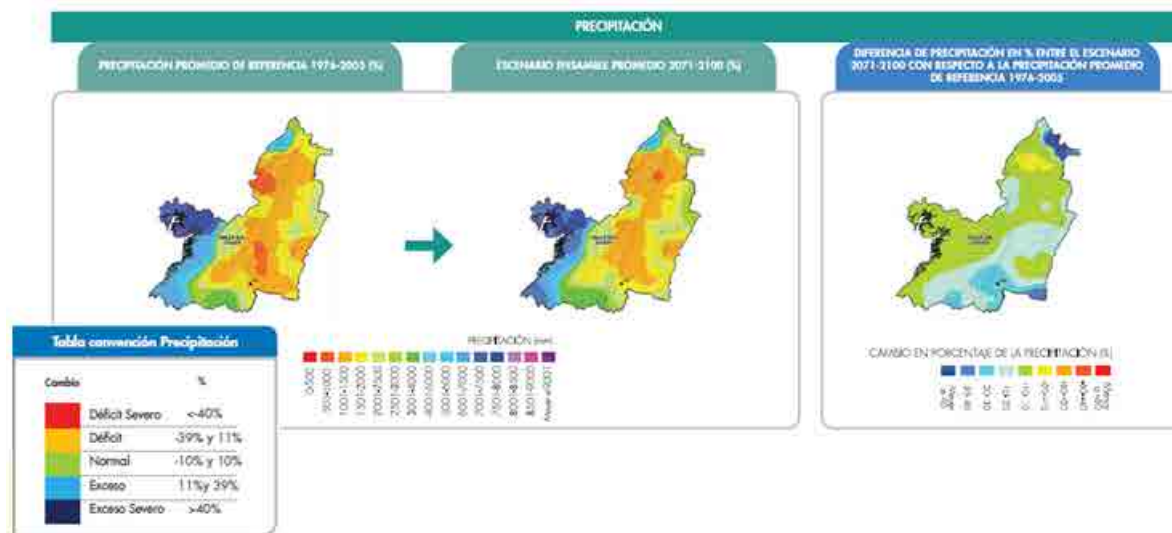


Figura 154. Variación en la precipitación.

Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. Ficha departamental, Valle del Cauca. Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. (2015).

#### 5.1.6.11.9.2. Variación en la temperatura

Para la variación en la temperatura la Tercera Comunicación Nacional mencionan: Para fin de siglo el Departamento podrá aumentar en 2,4°C la temperatura promedio. En particular el municipio de Buenaventura será el de mayor aumento, con valores de 2,6°C Adicionales a los valores de referencia actual<sup>65</sup>. Figura 155.

<sup>65</sup> IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Ficha departamental Valle del Cauca. Bogotá. 2015.

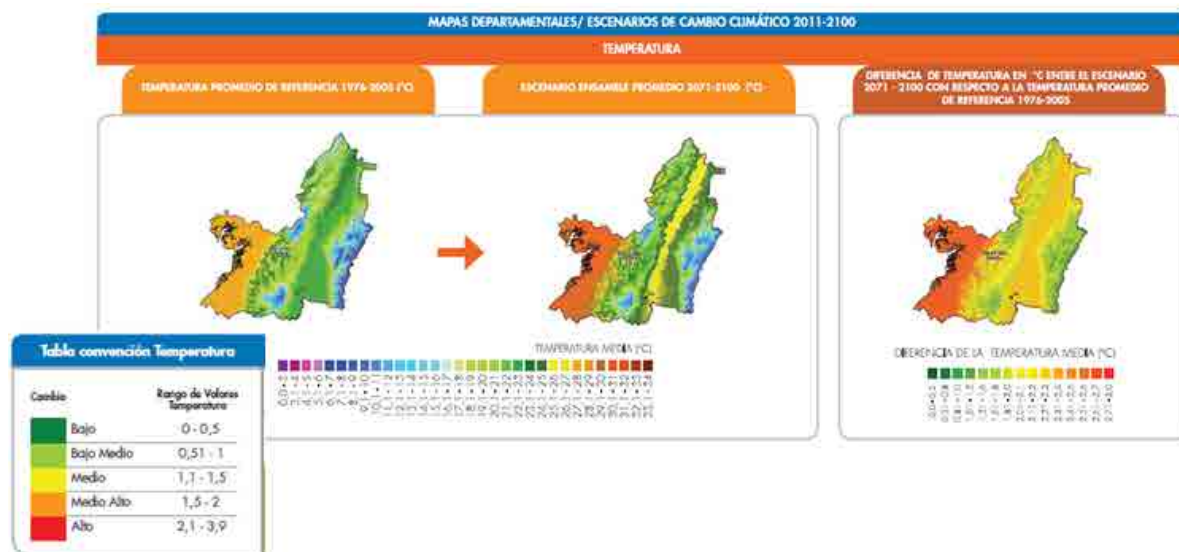


Figura 155. Variación en la temperatura.

Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. Ficha departamental, Valle del Cauca. Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. (2015).

#### 5.1.6.11.10. Conclusiones

La caracterización hidrológica se realizó a partir de los registros de caudal de 10 estaciones hidrométricas y 31 estaciones climatológicas con registros de precipitación. Estos registros según el método de correlación cruzada se encuentran influenciados por el fenómeno ENSO evaluados los índices representativos del fenómeno (Índices ONI, SOI y SST 3-4).

El régimen anual de lluvias presenta un comportamiento de tipo bimodal, con periodos secos predominantes entre diciembre - febrero y junio - agosto y periodos húmedos predominantes entre marzo - mayo y septiembre - noviembre, a su vez el comportamiento de la temperatura media es inverso al de la precipitación al presentarse las temperaturas más altas en los meses de agosto y febrero y las temperaturas más bajas en los meses de mayo y noviembre.

El régimen de caudales es de tipo bimodal presentándose caudales por encima del promedio de abril a junio y de noviembre a diciembre, siendo el mes de noviembre el que presenta mayor caudal. El periodo de caudales bajos se presenta en los meses restantes, donde el

mes de febrero, agosto y septiembre presentan el caudal mensual multianual más bajo. El comportamiento del régimen de caudales es similar al de la precipitación.

En la Tercera Comunicación Nacional de Colombia a La Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático determinó que para el departamento del Valle del Cauca, por efecto del cambio climático las precipitaciones podrían aumentar en 6% las sobre el valor actual y presentarse un aumento de 2,4°C de la temperatura promedio.

De los 10 cuerpos de agua que cruzan el alineamiento del proyecto para los cuales se hizo el estudio de su dinámica fluvial, se tienen dos en donde existe riesgo bajo de afectación al proyecto. Estos corresponden a los ríos Morales y La Paila, que son cauces con evidencias de migración lateral y procesos de erosión activos en las márgenes que pueden llegar a afectar taludes cercanos. En ambos casos el riesgo se considera bajo y se recomienda realizar un monitoreo periódico para detectar cualquier cambio que implique un aumento en el nivel de riesgo y la necesidad de implementar obras de protección.

Con el análisis realizado se evidenció que, en general, la dinámica fluvial de los cuerpos de agua en las zonas de ocupación de cauce es baja. Se trata de quebradas estables que en el caso de las zonas OC20 y OC23 el cauce se encuentra bien definido en la planicie de inundación sin variaciones apreciables en el tiempo.

Por otro lado, la caracterización morfológica de los cuerpos de agua arrojó que estos son sensibles a los cambios en las variables morfológicas independientes, caudal y volumen de sedimentos transportados, que pueden generar cambios en las variables dependientes como respuesta del cauce para ajustarse a las nuevas condiciones de equilibrio.

---

#### 5.1.6.12. Referencias bibliográficas

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA (2013). Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Aparicio Mijares, F. (2018). Fundamentos de hidrología de superficie. México: Limusa S.A. De C.V.

Bateman, A. (2007). Hidrología básica y aplicada.

Castañeda, J. A., & Fabián Gil, J. (2004). Una mirada a los intervalos de confianza en investigación. Colombiana de Psiquiatría, 201.

Castro, L. M., & Carvajal Escobar, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. Cali.

Corporación Autónoma Regional de Antioquia e Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). Memoria explicativa mapa susceptibilidad del terreno a inundaciones. Antioquia.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2010). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Jamundí, Departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2017). Balance oferta – Demanda de agua cuenca del río Lili.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2017). Balance oferta – Demanda de agua cuenca del río Melendez.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2017). Balance oferta– Demanda de agua cuenca del río Cañaveralejo.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2013). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Amaime. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2009). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guabas. Santiago de Cali.

---

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2011). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guadalajara. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2008). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la quebrada San Pedro. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2011). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Tuluá. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2009). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río La Paila. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2009). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica de la quebrada Obando. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2018). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2010). Plan de manejo ambiental integral de la laguna Charco Azul- Municipio de Santiago de Cali. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Banco Interamericano de Desarrollo (2015). Alternativas de conformación de embalses de laminación de picos de caudales de crecientes en la cuenca del río Meléndez. Bogotá.

David L. Rosgen (1994). A classification of natural rivers. Catena, 169.

Díaz Granados, M., & Vargas, R. (1998). Curvas Sintética de Intensidad Duración Frecuencia para Colombia. Regionalización e Implementación de un SIG. Bogotá: Universidad de los Andes.

Duitama, F., Moreno, L., & Zamudio, E. (2015). Estimación de caudales en la cuenca media del Río Magdalena empleando el método de transposición de caudales. Revista Tekhnê, 10.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá e INGETEC (2005). Estudio de Análisis Espacial de las Tormentas – Curvas PADF. Bogotá.

Environmental Protection Agency (2006). Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners.. Washington DC.



---

Golden Gate Weather Services (s.f.). Based on Oceanic Niño Index (ONI). Jan Null, CCM. Recuperado de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>.

Grupo Energía Bogotá (2018). Estudio de Impacto Ambiental del proyecto La Virginia Alférez, Refuerzo Suroccidental a 500 kV. Capítulo 3 Caracterización del área de influencia del proyecto.

Grupo Energía Bogotá (2018). Estudio de Impacto Ambiental del proyecto La Virginia Alférez, Refuerzo Suroccidental a 500 kV. Ocupación Temporal de Cauces.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2019). Estudio Nacional del Agua 2018.. Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2006). Índice de disponibilidad hídrica, metodología de cálculo y aplicación en Colombia. Bogotá: .

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Subdirección de hidrología. Centro Nacional de Modelación (2016). Áreas afectadas por inundación.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2013). Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas. Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2021). Balance hídrico y sus aplicaciones. Bogotá.

INVIAS (2009). Manual de drenaje para carreteras. Colombia: Ministerio de Transporte.

JULIEN, P. (2018). River Mechanics (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316107072

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - IDEAM (2013). Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERA. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014). Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas..

---

Montealegre, J. E. (2007). Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Bogotá: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM.

Monsalve Sáenz, G. (1995). Hidrología en la ingeniería. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

NANSON, G. C. & HICKIN, E. J. (1986). A statistical analysis of bank erosion and channel migration in western Canada. GSA Bulletin, 97 (4), 497–504. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1986\)97<497:ASAOBE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1986)97<497:ASAOBE>2.0.CO;2)

Olivera Espejo, G. A. (2019). Factor de corrección de Fuller.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2001). Tercer informe de evaluación. Anexo B. Glosario de términos.

Secretaría de Obras Públicas - Departamento de Antioquia (1997). Hidrología de Antioquia. Medellín.

SENAMHI (2014). Análisis comparativo de métodos de interpolación espacial para la elaboración de mapas climáticos de precipitación. Lima.

Senciales González, J. M. (1998). El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. Málaga.

Servicio Geológico Colombiano. (2012). Guía metodológica de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa. Bogotá.

United States Army Corps of Engineers. (1999). Channel Rehabilitation: Processes, Design, and Implementation. Vicksburg, Mississippi.

United States Department of Agriculture (2007). National Engineering Handbook. Part 654. Rosgen Stream Classification. Technical Supplement 3E. Washington, DC.

Ven Te, C., Maidment, D., & Mays, L. W. (1994). Hidrología aplicada. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana.

Vélez Upegui, J. J., & Botero Gutiérrez, A. (2010). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis Manizales. Dyna, 14.



WASA-GN (2011). Diseño hidrológico. Zaragoza.

0	Junio 2022			
<b>Versión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 <b>Grupo Energía Bogotá</b> <b>UPME 04-2014 REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 kV</b> <b>PROYECTO LA VIRGINIA – ALFÉREZ</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>				
<b>Capítulo 5.1 MEDIO ABIÓTICO (NUMERALES 5.1.7 A 5.1.8)</b> 				
<b>ESCALA</b> <b>SIN</b>	<b>FORMATO</b> <b>Carta</b>	<b>CÓDIGO GEB:</b> <b>EEB-U414-CT102150-L380-HSE-2006</b>		
		<b>CÓDIGO CONTRATISTA:</b> <b>04517.01-INF-LL-EAMB-CAP5.1.7-5.1.8-0011</b>		

---

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1 OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
<b>2 GENERALIDADES</b>	<b>12</b>
<b>3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>12</b>
<b>4 ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>12</b>
<b>5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>13</b>
5.1 MEDIO ABIÓTICO	13
5.1.7 Calidad del Agua	13
5.1.7.1 Marco normativo	13
5.1.7.1.1 Normatividad regional	13
5.1.7.1.2 Normatividad nacional	19
5.1.7.2 Metodología	21
5.1.7.3 Puntos de Monitoreo	25
5.1.7.3.1 Descripción de los puntos de monitoreo	25
5.1.7.3.2 Resultados de los monitoreos	40
5.1.7.4 Análisis de variables fisicoquímicas y microbiológicas	70
5.1.7.4.1 Generales	70
5.1.7.4.1.1 Caudal	70
5.1.7.4.1.2 Temperatura	72
5.1.7.4.1.3 pH y Acidez total	74
5.1.7.4.2 Iones y Sales disueltas	77
5.1.7.4.2.1 Alcalinidad, Bicarbonatos y Carbonatos	77
5.1.7.4.2.2 Dureza total, Calcio y Magnesio	79
5.1.7.4.2.3 Sodio	83
5.1.7.4.2.4 Potasio	86
5.1.7.4.2.5 Fluoruros	87
5.1.7.4.2.6 Cloruros	88
5.1.7.4.2.7 Sulfatos	89

---

5.1.7.4.2.8 Indicadores globales: Conductividad y sólidos disueltos totales	90
5.1.7.4.3 Sólidos	93
5.1.7.4.3.1 Sólidos suspendidos totales	93
5.1.7.4.3.2 Sólidos totales	95
5.1.7.4.3.3 Sólidos sedimentables	96
5.1.7.4.4 Color y Turbidez	97
5.1.7.4.4.1 Turbidez	97
5.1.7.4.4.2 Color	98
5.1.7.4.5 Oxígeno disuelto y demanda de oxígeno	100
5.1.7.4.5.1 Oxígeno disuelto y saturación de oxígeno	100
5.1.7.4.5.2 Demanda bioquímica de oxígeno - DBO	103
5.1.7.4.5.3 Demanda Química de Oxígeno - DQO	104
5.1.7.4.6 Compuestos de nitrógeno	106
5.1.7.4.6.1 Nitrógeno total Kjeldahl y nitrógeno amoniacal	107
5.1.7.4.6.2 Nitratos y nitritos	108
5.1.7.4.7 Compuestos de fósforo	110
5.1.7.4.8 Microbiológicos	114
5.1.7.4.8.1 Coliformes totales	114
5.1.7.4.8.2 Coliformes fecales	115
5.1.7.4.9 Metales	116
5.1.7.4.9.1 Aluminio	116
5.1.7.4.9.2 Arsénico	117
5.1.7.4.9.3 Bario	118
5.1.7.4.9.4 Berilio	119
5.1.7.4.9.5 Boro	120
5.1.7.4.9.6 Cadmio	121
5.1.7.4.9.7 Cobalto	122
5.1.7.4.9.8 Cobre	123
5.1.7.4.9.9 Cromo	124
5.1.7.4.9.10 Hierro	125
5.1.7.4.9.11 Litio	126
5.1.7.4.9.12 Manganeseo	127
5.1.7.4.9.13 Mercurio	128

---



---

5.1.7.4.9.14 Molibdeno	129
5.1.7.4.9.15 Níquel	130
5.1.7.4.9.16 Plata	131
5.1.7.4.9.17 Plomo	132
5.1.7.4.9.18 Selenio	133
5.1.7.4.9.19 Vanadio	134
5.1.7.4.9.20 Zinc	135
5.1.7.4.10 Hidrocarburos, tóxicos orgánicos y otros	136
5.1.7.4.10.1 Aceites y Grasas	136
5.1.7.4.10.2 Hidrocarburos Totales	137
5.1.7.4.10.3 SAAM	138
5.1.7.4.10.4 Fenoles	139
5.1.7.4.10.5 Cianuro Total	141
5.1.7.5 Analisis Índices de calidad del agua	141
5.1.7.5.1 Índice de calidad del agua ICA	142
5.1.7.5.2 Índice de la alteración potencial de la calidad del agua (IACAL)	146
5.1.7.5.3 Índice de Langelier	150
5.1.7.5.4 Capacidad Buffer	153
5.1.7.5.5 Índices de contaminación ICOs	154
5.1.7.6 Conclusiones	164
5.1.7.6.1 Conclusiones con respecto a las variables de calidad del agua	164
5.1.7.6.2 Conclusiones con respecto a los cuerpos de agua	168
5.1.7.6.3 Conclusiones con respecto a los índices de calidad de agua y de contaminación	171
5.1.8 Usos del Agua	173
5.1.8.1 Identificación de usos actuales (Recorrido de campo)	174
5.1.8.1.1 Reconocimiento de campo 1 - año 2017	174
5.1.8.1.2 Reconocimiento de campo 2 - año 2020	185
5.1.8.1.3 Reconocimiento de campo 3 - año 2021	191
5.1.8.2 Identificación usos y usuarios (Información secundaria)	191
5.1.8.2.1 Registros de usuarios del recurso hídrico corporaciones autónomas regionales	191
5.1.8.2.2 Planes de ordenamiento y manejo de cuenca - POMCA	207

---

---

5.1.8.2.3 Sistema de información del recurso hídrico - SIRH	219
5.1.8.2.4 Planes de ordenamiento territorial	219

---

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Objetivos de calidad del agua para cuerpos de agua en el área urbana del municipio de Santiago de Cali

Tabla 2. Relación de tramos del río Cauce establecidos por la CVC y cuerpos de agua del proyecto

Tabla 3. Objetivos de calidad del agua, cuenca del río Cauca en la jurisdicción de la CVC

Tabla 4. Límites máximos permisibles en diferentes usos del recurso hídrico, Decreto 1076 de 2015

Tabla 5. Variables y Métodos Analíticos por el Laboratorio

Tabla 6. Puntos de monitoreo

Tabla 7. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período de lluvia - Parte 1

Tabla 8. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período de lluvia - Parte 2

Tabla 9. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período seco - Parte 1

Tabla 10. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Segunda jornada de monitoreo (Período seco) Parte 2

Tabla 11. Clasificación del agua según su dureza.

Tabla 12. Ecuaciones para cálculo del índice ICA

Tabla 13. Variables y ponderación

Tabla 14. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

Tabla 15. Ical DBO

Tabla 16. Ical diferencia entre DBO y DQO

Tabla 17. Ical sólidos suspendidos totales

Tabla 18. Ical nitrógeno total

Tabla 19. Ical fósforo total

Tabla 20. Clasificación del índice de Langelier

Tabla 21. Clasificación de los Cuerpos de Agua Según su Alcalinidad total

---

Tabla 22. Contaminación del agua según los valores de índices ICO

Tabla 23. Ecuaciones para el cálculo del ICOMO

Tabla 24. Ecuaciones para el cálculo del ICOMI

Tabla 25. Ecuaciones para el cálculo del ICOSUS

Tabla 26. Ecuaciones para el cálculo del ICOpH

Tabla 27. Clasificación de índice ICOTRO

Tabla 28. Usos y usuarios identificados en el área de estudio durante recorridos en campo - 2017 - Agua superficial

Tabla 29. Usuarios en cruces con cuerpos de agua.

Tabla 30. Consulta de información secundaria

Tabla 31. vertimientos consultados en GeoCVC

Tabla 32. Captaciones de agua superficial entregadas por la CARDER

Tabla 33. Captaciones de agua subterránea entregadas por la CARDER

Tabla 34. Vertimientos reportados por la CARDER

Tabla 35. Recolección de información de demanda de agua en POMCAS y estudios de corporaciones ambientales.

---

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Tramo Resolución 0686 de 2006 de la CVC
- Figura 2. Localización de puntos de monitoreo
- Figura 3. Comportamiento del Caudal
- Figura 4. Comportamiento de la temperatura
- Figura 5. Comportamiento de pH
- Figura 6. Comportamiento de la Acidez
- Figura 7. Comportamiento de la Alcalinidad
- Figura 8. Comportamiento de los bicarbonatos y carbonatos
- Figura 9. Comportamiento de la dureza total
- Figura 10. Comportamiento del Calcio
- Figura 11. Comportamiento del Magnesio
- Figura 12. Comportamiento del sodio
- Figura 13. Comportamiento del Relación de Absorción de Sodio RAS
- Figura 14. Comportamiento del Porcentaje de Sodio Posible (PSP)
- Figura 15. Comportamiento del potasio
- Figura 16. Comportamiento de los fluoruros
- Figura 17. Comportamiento de los cloruros
- Figura 18. Comportamiento de los sulfatos
- Figura 19. Comportamiento de la conductividad
- Figura 20. Comportamiento de los sólidos disueltos totales
- Figura 21. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales
- Figura 22. Comportamiento de los sólidos totales
- Figura 23. Comportamiento de los sólidos sedimentables
- Figura 24. Comportamiento de la Turbidez

- 
- Figura 25. Comportamiento del Color tiempo seco
- Figura 26. Comportamiento del Color tiempo húmedo
- Figura 27. Comportamiento del oxígeno disuelto
- Figura 28. Comportamiento de la Saturación de oxígeno
- Figura 29. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno
- Figura 30. Demanda Química de Oxígeno
- Figura 31. Comportamiento del NTK y amoniacal
- Figura 32. Comportamiento de nitratos
- Figura 33. Comportamiento de nitritos
- Figura 34. Comportamiento del fósforo total
- Figura 35. Comportamiento del fósforo orgánico e inorgánico
- Figura 36. Comportamiento de los ortofosfatos
- Figura 37. Comportamiento de Coliformes totales
- Figura 38. Comportamiento de Coliformes fecales
- Figura 39. Comportamiento del aluminio
- Figura 40. Comportamiento del arsénico
- Figura 41. Comportamiento del bario
- Figura 42. Comportamiento del berilio
- Figura 43. Comportamiento del boro
- Figura 44. Comportamiento del cadmio
- Figura 45. Comportamiento del cobalto
- Figura 46. Comportamiento del cobre
- Figura 47. Comportamiento del cromo
- Figura 48. Comportamiento del hierro
- Figura 49. Comportamiento del litio
-



- 
- Figura 50. Comportamiento del manganeso
- Figura 51. Comportamiento del mercurio
- Figura 52. Comportamiento del molibdeno
- Figura 53. Comportamiento del níquel
- Figura 54. Comportamiento de la plata
- Figura 55. Comportamiento del plomo
- Figura 56. Comportamiento del selenio
- Figura 57. Comportamiento del vanadio
- Figura 58. Comportamiento del zinc
- Figura 59. Comportamiento de los aceites y grasas
- Figura 60. Comportamiento de los hidrocarburos totales
- Figura 61. Comportamiento del SAAM
- Figura 62. Comportamiento de los fenoles
- Figura 63. Comportamiento de los compuestos Fenólicos Semivolátiles
- Figura 64. Comportamiento del cianuro total
- Figura 65. Resultados ICA, periodo seco
- Figura 66. Resultados ICA, periodo húmedo
- Figura 67. Resultados IACAL Seco
- Figura 68. Resultados IACAL húmedo
- Figura 69. Resultados índice de Langelier, periodo seco
- Figura 70. Resultados índice de Langelier, periodo húmedo
- Figura 71. Resultados Capacidad Buffer, periodo seco
- Figura 72. Resultados Capacidad Buffer, periodo húmedo
- Figura 73. Resultados ICOMO, periodo seco
- Figura 74. Resultados ICOMO, periodo húmedo
-

---

Figura 75. Resultados ICOMI, periodo seco

Figura 76. Resultados ICOMI, periodo húmedo

Figura 77. Resultados ICOSUS, periodo seco

Figura 78. Resultados ICOSUS, periodo húmedo

Figura 79. Resultados ICOpH, periodo seco

Figura 80. Resultados ICOpH, periodo húmedo

Figura 81. Resultados ICOTRO, periodo seco

Figura 82. Resultados ICOTRO, periodo húmedo

Figura 83. Localización de usos y usuarios identificados en el área de estudio durante recorridos de campo (año 2017)

Figura 84. Estadísticas de usos encontrados en recorridos de campo

Figura 85. Localización de usos y usuarios identificados en el área de estudio durante recorridos de campo (año 2020)

Figura 86. Vertimientos Portal GeoCVC

Figura 87. Usuarios aguas superficiales CARDER

Figura 88. Usuarios aguas subterráneas CARDER

---

## LISTA DE ANEXOS

D5.1. Informe de laboratorio

D6.1. Información CVC

D6.2. Información CARDER

---

## 5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

### 5.1.7 Calidad del Agua

Con el propósito de evaluar el estado de la calidad del agua de los cuerpos de agua presentes en el área de influencia del componente y de los cuerpos de agua susceptibles a intervención por ocupación de cauce, se realizó la caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua durante dos periodos climáticos.

El primer monitoreo corresponde al periodo de lluvia ejecutado durante los días 24 de noviembre a 02 de diciembre del 2020 y 10 al 11 de noviembre de 2021. En el caso del periodo seco, los monitoreos fueron ejecutados durante los días 15 al 20 de diciembre del 2020 y 10 y 11 de diciembre de 2021 .

#### 5.1.7.1 Marco normativo

El marco normativo se emplea con el fin de tener un valor de referencia con el cual evaluar la calidad del agua de las fuentes superficiales. Se contempla normatividad regional como lo son los objetivos o metas de calidad del agua planteados para un periodo de tiempo por las corporaciones autónomas regionales y normatividad nacional, la cual está vinculada con los usos y usuarios que se identifican en cada fuente hídrica. A continuación se relaciona el marco normativo para ambos casos.

##### 5.1.7.1.1 Normatividad regional

Para las subzonas hidrográficas correspondientes a la jurisdicción de la CVC, se identifican objetivos específicos para el caso de los ríos Cañaveralejo, Meléndez y Lili. Estos son planteados por la alcaldía de Santiago de Cali, mediante la resolución No. 376 de 2006, al ser cuerpos de agua asociados al área urbana de este municipio.

Tabla 1. Objetivos de calidad del agua para cuerpos de agua en el área urbana del municipio de Santiago de Cali

Variable	Unidades	Río Cañaveralejo	Río Meléndez	Río Lili
Oxígeno disuelto	mg/l	4	4	4
DBO5	mg/l	10	10	10
Sólidos suspendidos totales	mg/l	25	25	15
pH	Unidades	7 - 9	7 - 9	7 - 9

Fuente: Resolución No. 376 de 2006, departamento administrativo de gestión del medio ambiente Santiago de Cali.

Por otro lado, la CVC mediante la resolución No. 0686 de 2006 establece los objetivos de calidad para la cuenca del río Cauca. En esta resolución se divide el río Cauca en tres tramos:

El tramo I comprende desde el punto aguas arriba de la entrada del río Timba hasta la estación hidrométrica Hormiguero, esta se ubica aguas abajo de la entrada del río Jamundí y aguas arriba de la entrada del río Desbaratado. La única subzona hidrográfica contemplada en el análisis del proyecto que se ubica en este tramo es la correspondiente a los Ríos Claro y Jamundí.

El tramo II está comprendido entre las estaciones hidrométricas de Hormiguero y Mediacanoa, esta última se encuentra aguas abajo de la entrada del río Mediacanoa y aguas arriba de la entrada del río Guadalajara. Las subzonas hidrográficas contempladas en el análisis que se presentan en este tramo son: Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo, Río Guachal, Ríos Amaime y Cerrito, Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso, Ríos Guadalajara y San Pedro.

El tramo III está comprendido entre las estaciones hidrométricas de Mediacanoa y Puente La Virginia, esta última se encuentra aguas arriba de la entrada del río Risaralda al río Cauca. Las subzonas hidrográficas contempladas en el análisis que se presentan en este tramo son: Ríos Tuluá y Morales, Río La Vieja, Río Bugalagrande, Río Paila y Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando.

En la Tabla 2 se presentan la relación de los tramos del río Cauca establecidos por la CVC en la resolución 0686 de 2006 y los cuerpos de agua en el área de influencia del proyecto.

Tabla 2. Relación de tramos del río Cauce establecidos por la CVC y cuerpos de agua del proyecto

<b>Tramo Resolución 0686 de 2006 de la CVC</b>	<b>SZH</b>	<b>Unidad Hidrográfica</b>
Tramo I	Ríos Claro y Jamundí	Río Jamundí
Tramo II	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	Río Guachal
	Ríos Amaime y Cerrito	Río Amaime
		Río Nima
		Río El Cerrito
	Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo	Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo
	Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso	Río Sonso
		Río Guabas
		Río Sabaletas
		Quebrada La Honda
		Quebrada Las Paporrinas
	Ríos Guadalajara y San Pedro	Quebrada San Pedro
Río Guadalajara		
Tramo III	Ríos Tuluá y Morales	Río Morales
		Río Tuluá
	Río La Vieja	Río La Vieja
	Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo	Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo
	Río Bugalagrande	Río Bugalagrande
	Río Paila	Río Paila
	Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando	Quebrada La Honda
		Quebrada Obando
Quebrada Los Micos		
Quebrada Las Cañas		



Esta resolución presenta concentraciones deseables de elementos de acuerdo con los usos del agua y las metas de calidad del agua para el año 2015. En la Tabla 3 se presentan los objetivos de calidad para cada tramo de la cuenca del río Cauca en la jurisdicción de la CVC.

Tabla 3. Objetivos de calidad del agua, cuenca del río Cauca en la jurisdicción de la CVC

Variable	Unidades	Deseable según el uso del agua			Metas al año 2015		
		Tramo I	Tramo II	Tramo III	Tramo I	Tramo II	Tramo III
Oxígeno disuelto	mg/l	-	-	-	4	1,2	2
Saturación de oxígeno	%	70	-	-	-	-	-
pH	unidades	5 - 9	5 - 9	4,5 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Temperatura	°C	-	-	-	< 24	-	<28
Coliformes totales	NMP/100 ml	1000	20000	-	-	-	-
Coliformes fecales	NMP/100 ml	200	2000	-	-	-	-
Compuestos fenólicos	mg/l	0,002	0,02	-	0,002	0,02	-
Tensoactivos	mg/l	0,5	0,5	-	0,5	0,5	-
Amoniaco	mg/l	-	1	0,1	-	1	-
Arsénico	mg/l	-	0,05	-	-	0,05	-
Bario	mg/l	-	1	-	-	1	-
Cadmio	mg/l	-	0,01	0,01	-	0,01	-
Cianuro	mg/l	-	0,2	-	-	0,2	-
Cinc	mg/l	-	15	2	-	15	-
Cloruros	mg/l	-	250	-	-	250	-
Cobalto	mg/l	-	-	0,05	-	-	-
Cobre	mg/l	-	1	0,2	-	1	-
Color real	Platino cobalto	-	75	-	-	75	-

Variable	Unidades	Deseable según el uso del agua			Metas al año 2015		
		Tramo I	Tramo II	Tramo III	Tramo I	Tramo II	Tramo III
Cromo +6	mg/l	-	0,05	-	-	0,05	-
Mercurio	mg/l	-	0,002	-	-	0,002	-
Nitratos	mg/l	-	10	-	-	10	-
Nitritos	mg/l	-	10	-	-	10	-
Plata	mg/l	-	0,05	-	-	0,05	-
Plomo	mg/l	-	0,05	-	-	0,05	-
Selenio	mg/l	-	0,01	-	-	0,01	-
Sulfatos	mg/l	-	400	-	-	400	-
Aluminio	mg/l	-	-	5	-	-	-
Berilio	mg/l	-	-	0,1	-	-	-
Boro	mg/l	-	-	0,3 - 0,4	-	-	-
Flúor	mg/l	-	-	1	-	-	-
Hierro	mg/l	-	-	5	-	-	-
Litio	mg/l	-	-	2,5	-	-	-
Manganeso	mg/l	-	-	0,2	-	-	-
Molibdeno	mg/l	-	-	0,01	-	-	-
Níquel	mg/l	-	-	0,2	-	-	-

Fuente: Resolución No. 0686 de 2006, Corporación autónoma regional del Valle Del Cauca.

Con respecto a la jurisdicción de la CARDER, esta entidad emitió el Acuerdo 036 de 1987 "por medio del cual se reglamentan acciones tendientes a conservar la calidad del agua del río Otún y garantizar su uso humano y doméstico", modificado por los Acuerdos CARDER números 021 de 1988 y 008 de 1989. Este documento no está abierto al público.

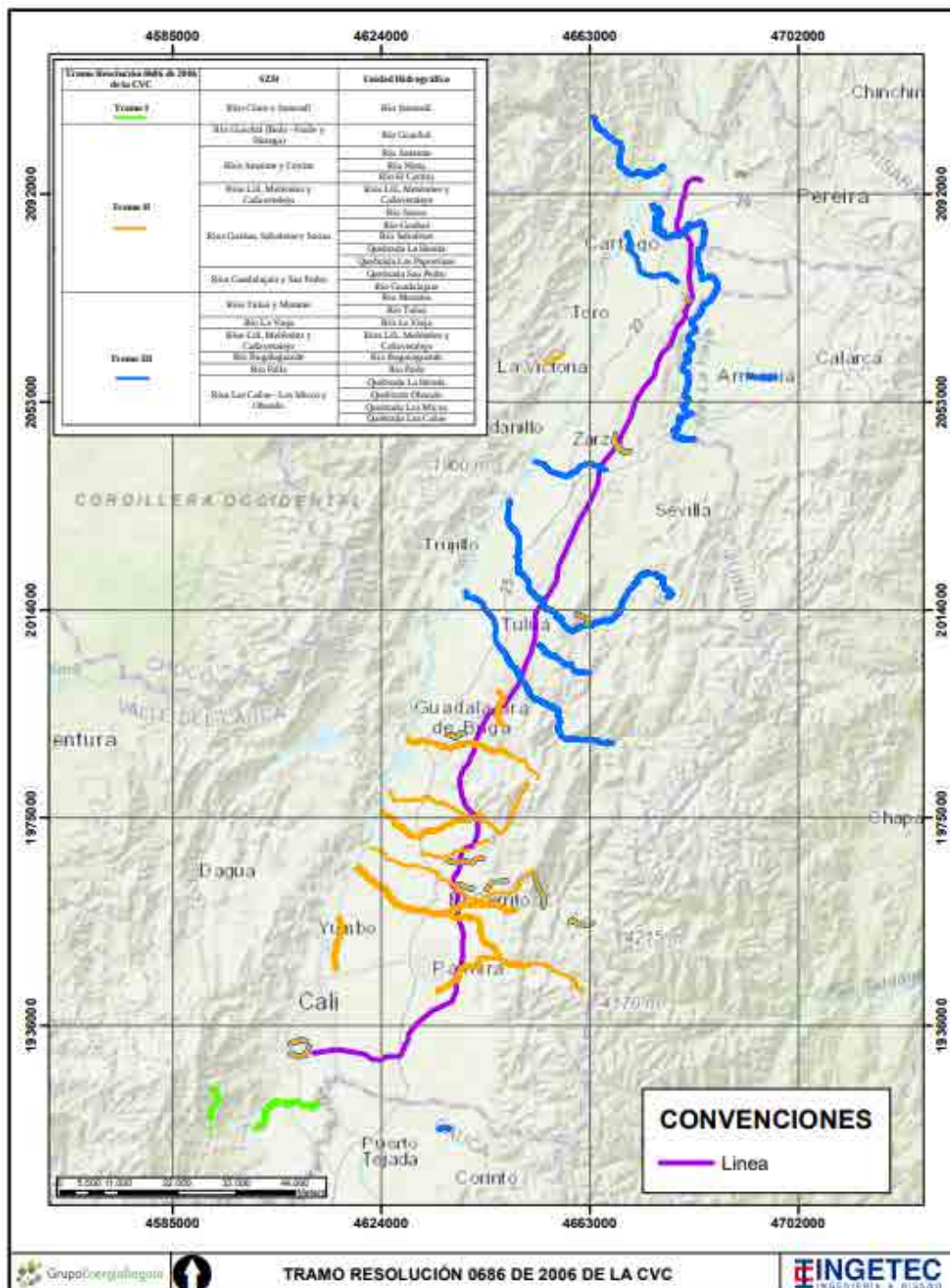


Figura 1. Tramo Resolución 0686 de 2006 de la CVC

### 5.1.7.1.2 Normatividad nacional

El decreto nacional 1076 del 26 de mayo de 2015 es el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible, el cual señala los usos permitidos de acuerdo con la calidad del agua en el capítulo 3 sobre ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos, sección 9 con los siguientes artículos:

- Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico
- Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
- Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.
- Artículo 2.2.3.3.9.6. Criterios de calidad para uso pecuario.
- Artículo 2.2.3.3.9.7. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario.
- Artículo 2.2.3.3.9.8. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto secundario.

En la Tabla 4 se presentan los límites permisibles establecidos para los diferentes usos según el Decreto 1076 de 2015.

Tabla 4. Límites máximos permisibles en diferentes usos del recurso hídrico, Decreto 1076 de 2015

Variable	Unidades	2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6	2.2.3.3.9.7	2.2.3.3.9.8
		Consumo humano y doméstico - Tratamiento convencional	Consumo humano y doméstico - Desinfección	Agrícola	Pecuario	Recreativo contacto primario	Recreativo contacto secundario
Aluminio	mg/l	N.E*	N.E*	5	5	N.E*	N.E*
Amoniaco	mg/l	1	1	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Arsénico	mg/l	0,05	0,05	0,1	0,2	N.E*	N.E*
Bario	mg/l	1	1	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Berilio	mg/l	N.E*	N.E*	0,1	N.E*	N.E*	N.E*
Boro	mg/l	N.E*	N.E*	0,3 - 4	5	N.E*	N.E*
Cadmio	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E*	N.E*

Variable	Unidades	2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6	2.2.3.3.9.7	2.2.3.3.9.8
		Consumo humano y doméstico - Tratamiento convencional	Consumo humano y doméstico - Desinfección	Agrícola	Pecuario	Recreativo contacto primario	Recreativo contacto secundario
Cinc	mg/l	15	15	2	25	N.E*	N.E*
Cloruros	mg/l	250	250	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Cobre	mg/l	1	1	0,2	0,5	N.E*	N.E*
Cobalto	mg/l	N.E*	N.E*	0,05	N.E*	N.E*	N.E*
Color	Unidades Platino – cobalto	20	20	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Compuestos fenólicos	mg/l	0,002	0,002	N.E*	N.E*	0,002	N.E*
Cromo	mg/l	0,05	0,05	0,1	1	N.E*	N.E*
Difenil Policlorados	mg/l	No detectable	No detectable	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Flúor	mg/l	N.E*	N.E*	1	N.E*	N.E*	N.E*
Hierro	mg/l	N.E*	N.E*	5	N.E*	N.E*	N.E*
Litio	mg/l	N.E*	N.E*	2,5	N.E*	N.E*	N.E*
Manganeso	mg/l	N.E*	N.E*	0,2	N.E*	N.E*	N.E*
Mercurio	mg/l	0,002	0,002	N.E*	0,01	N.E*	N.E*
Molibdeno	mg/l	N.E*	N.E*	0,01	N.E*	N.E*	N.E*
Nitratos	mg/l	10	10	N.E*	100	N.E*	N.E*
Nitritos	mg/l	1	1	N.E*	10	N.E*	N.E*
Níquel	mg/l	N.E*	N.E*	0,2	N.E*	N.E*	N.E*
pH	Unidades de pH	5 - 9	6,5 - 9	4,5 - 9	N.E*	5 - 9	5 - 9
Plata	mg/l	0,05	0,05	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Plomo	mg/l	0,05	0,05	5	0,1	N.E*	N.E*
Selenio	mg/l	0,01	0,01	0,02	N.E*	N.E*	N.E*
Sulfatos	mg/l	400	400	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*

Variable	Unidades	2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6	2.2.3.3.9.7	2.2.3.3.9.8
		Consumo humano y doméstico - Tratamiento convencional	Consumo humano y doméstico - Desinfección	Agrícola	Pecuario	Recreativo contacto primario	Recreativo contacto secundario
Turbiedad	NTU	N.E*	10	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Vanadio	mg/l	N.E*	N.E*	0,1	N.E*	N.E*	N.E*
Coliformes totales	NMP/100ml	20000	1000	5000	N.E*	1000	5000
Coliformes fecales	NMP/100ml	2000	N.E*	1000	N.E*	200	N.E*
Saturación de oxígeno	%	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*	70%	70%

N.E\* No especificado en la norma.

Fuente: Decreto 1076 de 2015, MADS.

De acuerdo con los usos y usuarios identificados en las cuencas de estudio (Revisar el numeral 5.1.8), las normas que aplican en los cuerpos de agua en el área de influencia y susceptibles a intervención por parte del proyecto, corresponden a consumo humano dada la cantidad de acueductos municipales y veredales que se benefician de las unidades hidrográficas, riego agrícola dadas las actividades de cultivo de caña de azúcar y café entre otros y pecuario, dada la identificación de ganado y huellas de ganado en la cercanía a los cuerpos de agua.

#### 5.1.7.2 Metodología

Los muestreos de calidad de agua se realizaron a través del laboratorio acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, AGQ PRODYCON COLOMBIA SAS, el cual se encuentra debidamente acreditado ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM bajo Resolución No. 0744 de 08 de septiembre de 2020 (Ver Anexo D5.1. Informe de laboratorio). Adicionalmente, el laboratorio realizó el monitoreo teniendo en cuenta la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM. 2002 y el protocolo de seguimiento del agua IDEAM 2007. La recolección de muestras de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron con base en los requerimientos exigidos en el documento de los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto



ambiental en proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica TdR - 17 ANLA (2018). En la Tabla 5, se presentan los parámetros analizados con sus respectivos métodos analíticos.

Tabla 5. Variables y Métodos Analíticos por el Laboratorio

Variables	Unidades	Técnica
<b>INSITU</b>		
% Saturación de Oxígeno	%	EPA 360.3_OXiDis_A_CONDUS
Caudal	L/s	Aforo_Sección
Conductividad Eléctrica	µS/cm	SM 2510 B_ConEle_A_ELECTM
Oxígeno Disuelto	mg/L	SM 4500-OG/ASTMD-888-12_OxiDis_A_ELECTRM
pH	Unidades	SM 4500 H+B_pH_A_ELCTRM
Temperatura	°C	SM 2550B_Tem_A_ELECTRM
<b>EN LABORATORIO</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	SM 5520 C_GyA_A_FTIR
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	SM 2310 B_Aci_A_VOLUM
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	SM 2320 B_AlcTotBic_A_CALC
Aluminio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Arsénico Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Bario Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Berilio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	SM 2320 B_AlcTotBic_A_CALC
Boro Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Cadmio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Calcio Disuelto	mg/L	EPA 200.7_MetDis_A_ICP_OES
Calcio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Carbonatos	mg/L	SM2320B_CarBicHid_A_CALC
Cianuro Total	mg/L	SM 4500 CN-E Mod_Cia_A_UV_VIS
Cloruros	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION
Cobalto Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES

<b>Variables</b>	<b>Unidades</b>	<b>Técnica</b>
Cobre Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Coliformes Fecales por NMP	NMP/100mL	SM 9221 E_ColFec_A_NMP
Coliformes Totales por NMP	NMP/100mL	SM9221B Mod_ColFec_A_TUB_MUL
Color Real a 436 nm	m-1	ISO7887 2011MetB_ColRea_A_UV_VIS
Color Real a 525 nm	m-1	ISO7887 2011MetB_ColRea_A_UV_VIS
Color Real a 620 nm	m-1	ISO7887 2011MetB_ColRea_A_UV_VIS
Color Real a tres longitudes	m-1	ISO7887 2011MetB_ColRea_A_UV_VIS
Compuestos Fenólicos Semivolátiles	mg/L	PS-9014_ComFen_A_SUBCT
Cromo Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
DBO5	mg/L	SM5210B-C/ASTM888MétC_Dbo_A_ELECTRM
DQO	mg/L	SM 5220 D_Dqo_A_UV_VIS
Dureza Total	mg/L	SM 2340B C_Dur_A_VOLUM
Fenoles	mg/L	SM 5530 B,C,D_Fen_A_UV_VIS
Fluoruros	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION
Fosfatos	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION
Fósforo Inorgánico	mg/L	PS-9278_Fós_A_SUBCT
Fósforo Orgánico	mg/L	PS-9278_Fós_A_SUBCT
Fósforo Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Hidrocarburos Totales	mg/L	SM 5520 C,F_Hid_A_FTIR
Hierro Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Litio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Magnesio Disuelto	mg/L	EPA 200.7_MetDis_A_ICP_OES
Magnesio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Manganeso Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Mercurio Total	µg/L	SM 3112 B Mod_Met_A_AA_VF
Molibdeno Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Níquel Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Nitratos	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION

<b>Variables</b>	<b>Unidades</b>	<b>Técnica</b>
Nitritos	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	SM4500 NH3-F_NitAmo_A_UV_VIS
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	PS-9084_NitKje_A_SUBCT
Plata Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Plomo Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Potasio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Relación de Absorción de Sodio RAS	mg/L	EPA200.7_RAS_A_CALC
SAAM	mg/L	SM 5540 C_SAAM_A_UV_VIS
Selenio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Sodio Disuelto	mg/L	EPA 200.7_MetDis_A_ICP_OES
Sodio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Sólidos Sedimentables	mL/L	SM 2540 F_SolSed_A_VOLUM
Sólidos Totales	mg/L	SM 2540B_SolTot_A_GRAV
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	SM 2540 C_SolDisTot_Aa_GRAV
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	SM 2540 D_SolSusTot_A_GRAV
Sulfatos	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION
Turbidez	NTU	SM 2130 B_Tur_A_NEFEL
Vanadio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES
Zinc Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES

Fuente: AGQ LABS. (2021).

---

### 5.1.7.3 Puntos de Monitoreo

#### 5.1.7.3.1 Descripción de los puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo fueron ubicados teniendo en cuenta la representatividad y homogeneidad espacial, con el fin de generar confiabilidad en el muestreo y en los análisis de laboratorio, así mismo se tuvo en cuenta los sitios donde se plantea realizar ocupaciones de cauce.

En la Tabla 6, se presentan las coordenadas de los puntos de monitoreo y la fecha en la que se realizó la toma de las muestras de agua en cada punto de muestreo seleccionado. Se organizan los puntos de muestreo de acuerdo con la subzona hidrográfica en la que se encuentran y el orden desde agua arriba hacia aguas abajo, con el fin de facilitar el análisis espacial de los datos. De otro lado, en la Figura 2, se presenta la localización geográfica de todos los puntos de monitoreo.

La localización detallada de los puntos se presenta en el plano No. 0451701-PG-L-AGUA-00-001.

En el Anexo D5.1 se presentan los reportes y acreditaciones del laboratorio.

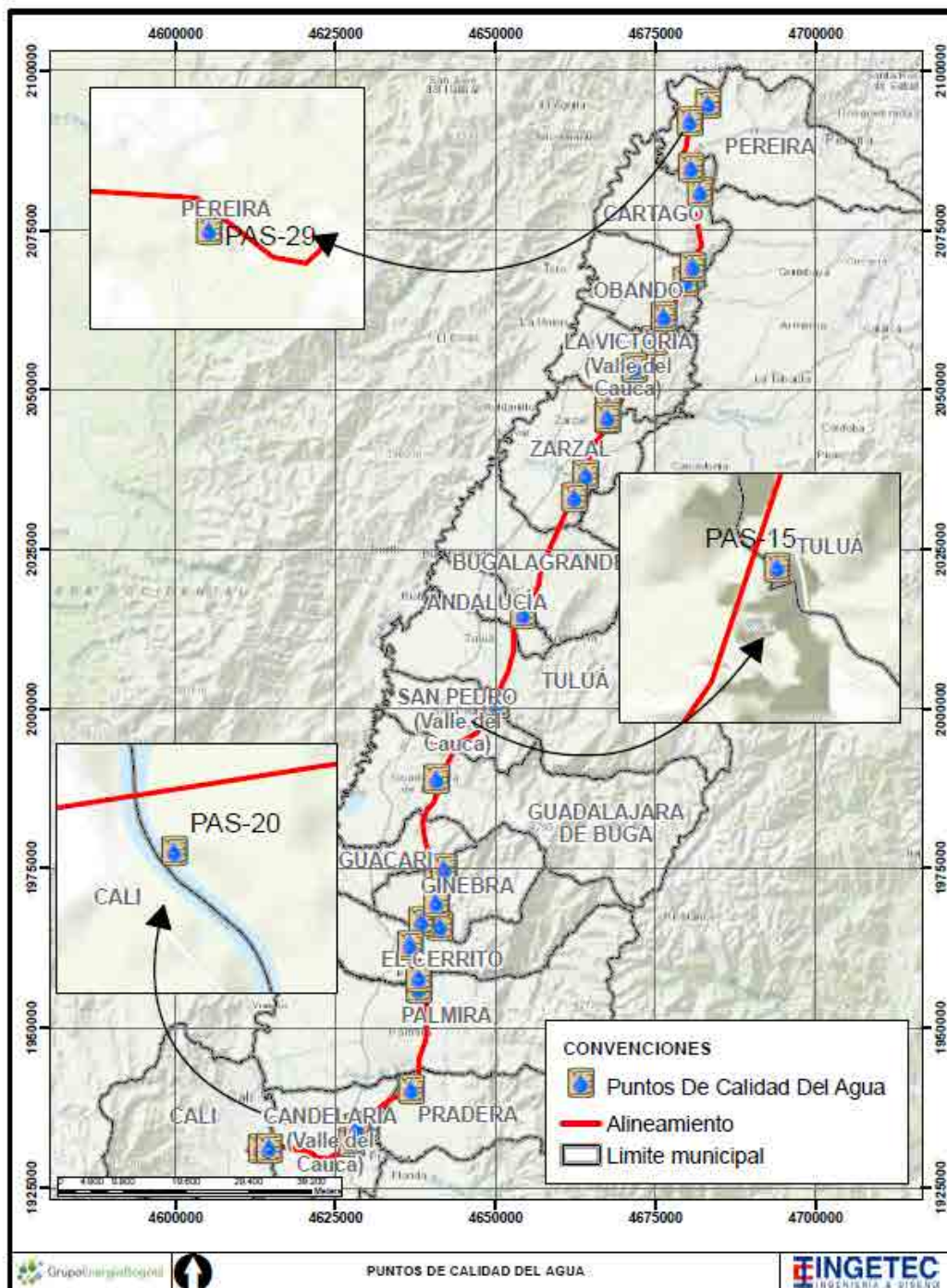








Figura 2. Localización de puntos de monitoreo




Tabla 6. Puntos de monitoreo



#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
01	Ríos Claro y Jamundí	Río Jamundí	Humedal río Cauca	PAS - 24	4613399,2	1931236,7	23/11/2020	21/12/2020	<p>El punto de muestreo corresponde al humedal El Estero ubicado en la cuenca del río Jamundí en el municipio de Santiago de Cali. Este humedal forma parte del sistema de humedales del río Cauca en el sector conocido como Cauca Seco cuyo nombre se deriva del antiguo cauce meándrico por el cual discurre el río Cauca.</p> <p>Se encuentra que el espejo de agua estaba cubierto en su totalidad por macrófitas, en la zona circundante del humedal se observan actividades agrícolas de ganadería, así como acumulación de escombros.</p>	 <p>Fotografía 1. Punto de monitoreo PAS-24</p>
02	Río Cauca	Río Cauca	Río Cauca	PAS - 20	4614662,5	1931233,1	24/11/2020	21/12/2020	<p>El punto de muestreo se ubica en el río Cauca en la división de las cuencas de los ríos Jamundí y Guachal y entre los municipios de Santiago de Cali y el corregimiento de San Joaquín en el municipio de La Candelaria.</p>	 <p>Fotografía 2. Punto de monitoreo PAS-20</p>









#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
03	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	Río Fraile	Río Fraile	PAS - 19	4627489,4	1932175,7	24/11/2020	20/12/2020	<p>El río Fraile es uno de los principales afluentes del río Guachal y hace parte de la subzona hidrográfica de esta cuenca. El punto de muestreo se ubica aguas arriba del paso del cuerpo de agua por la cabecera municipal de La Gorgona, Valle del Cauca. Se observa espuma en la superficie del cuerpo de agua.</p> <p>En las orillas del río se evidencian plantas del tipo arbustivo y cultivos de Caña. Por otro lado, se evidencia que en los cultivos de caña se han realizado actividades de quema.</p>	 <p>Fotografía 3. Punto de monitoreo PAS-19</p>
04	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	Río Párraga	Río Párraga	PAS - 27	4628412,4	1934300,8	24/11/2020	20/12/2020	<p>El río Párraga es un afluente del río Fraile y a su vez hace parte de la cuenca del río Guachal. El punto de muestreo se ubica aguas arriba del paso de este cuerpo de agua por la cabecera municipal de La Candelaria, Valle del Cauca.</p> <p>Se evidencia la presencia de residuos sólidos en las márgenes del río. Por otro lado, se encuentra que los sedimentos de fondo son de color negro y que hay indicios de descomposición de materia orgánica.</p>	 <p>Fotografía 4. Punto de monitoreo PAS-27</p>

#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
05			Quebrada Chontaduro	PAS - 28	4629919,5	1934633,2	24/11/2020	20/12/2020	<p>La quebrada Chontaduro es un afluente del río Parraga, el punto de muestreo se ubica aguas arriba del paso de este cuerpo de agua por la cabecera municipal de La Candelaria.</p> <p>Se evidencia la presencia de olores ofensivos provenientes del agua y a los excrementos asociados a la actividad ganadera porcina. Adicionalmente se identifican residuos sólidos en los márgenes del cauce.</p>	 <p>Fotografía 5. Punto de monitoreo PAS-28</p>
06	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	Río Bolo	Río Bolo	PAS - 18	4636862,7	1940385,3	24/11/2020	21/12/2020	<p>El río Bolo es uno de los principales afluentes del río Guachal y hace parte de la subzona hidrográfica de esta cuenca. El punto de muestreo se ubica aguas abajo del paso del cuerpo de agua por la cabecera municipal de Pradera, Valle del Cauca.</p> <p>Se encuentra que el agua presenta elevada transparencia y en el momento de la toma de muestra había presencia de peces. En las zonas aledañas se encuentran viviendas.</p>	 <p>Fotografía 6. Punto de monitoreo PAS-18</p>




#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
07	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	Guachal	Río Agua clara	PAS - 35	4637830	1944487	-	10/12/2021	Cuerpo de agua con tonalidad café, sin iridiscencia y sustrato de roca y arena. Hay basura y aportes de vertimientos industriales y excremento animal. Vegetación compuesta por arbustos y pastizales.	 Fotografía 7. Punto de monitoreo PAS-35
08	Ríos Amaime y Cerrito	Río Amaime	Río Amaime	PAS - 33	4638059	1957953	10/11/2021	10/12/2021	Cuerpo de agua con tonalidad café, sin iridiscencia y sustrato rocoso. La vegetación circundante son árboles, arbustos y pastizales. Las actividades aledañas son de tipo agrícola e industrial.	 Fotografía 8. Punto de monitoreo PAS-33
09		Río Nima	Río Nima	PAS - 34	4638019,0	1956110,0	10/11/2021	10/12/2021	Cuerpo de agua con tonalidad café, sin iridiscencia y sustrato rocoso. Hay basura y se observa un aporte del sistema de riego de los cultivos aledaños. Aguas arriba reportan una industria porcina que vierte al río. También se evidencia industria artesanal minera (extracción de material del río).	 Fotografía 9. Punto de monitoreo PAS-34




#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
10		Río Cerrito	Río Cerrito	PAS - 32	4636670	1963081	10/11/2021	11/12/2021	Cuerpo de agua con tonalidad gris, sin iridiscencia y sustrato arenoso. La vegetación circundante son árboles, arbustos y pastizales. Las actividades aledañas son de tipo agrícola.	 <p>Fotografía 10. Punto de monitoreo PAS-32</p>
11	Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso	Río Sabaletas	Quebrada Poleal	PAS - 25	4641373,0	1965930,6	25/11/2020	20/12/2020	<p>El punto de muestreo en la quebrada Poleal o Río Sabaletas se encuentra en la división entre los corregimientos de Santa Helena del Municipio de El Cerrito y La Novillera del municipio de Ginebra. Adicionalmente, se ubica aguas arriba de la entrada del Zajón Tortugas al río Sabaletas.</p> <p>Se encuentra que en el cuerpo de agua existe la actividad de extracción de rocas. Al no existir una estructura vial, se observa el flujo de vehículos como motocicletas y camiones sobre el cuerpo de agua.</p>	 <p>Fotografía 11. Punto de monitoreo PAS-25</p>




#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
12		Río Sabaletas	Quebrada La Honda	PAS - 31	4638493	1966672	11/11/2021	11/12/2021	Cuerpo de agua translúcida, sin iridiscencia y sustrato rocoso con arena. La vegetación circundante son árboles y arbustos. Las actividades aledañas son de tipo agrícola (cultivos de caña) e industrial.	 Fotografía 12. Punto de monitoreo PAS-31
13		Río Sabaletas	Quebrada Las Paporrinas	PAS - 30	4640817	1969705	11/11/2021	11/12/2021	Cuerpo de agua translúcida, sin iridiscencia y sustrato rocoso. La vegetación circundante son árboles y arbustos. La quebrada se encuentra en una zona residencial, el cauce es atravesado por personas y motocicletas.	 Fotografía 13. Punto de monitoreo PAS-30
14		Río Guabas	Río Guabas	PAS - 22	4642018,6	1975020,6	26/11/2020	19/12/2020	El punto de muestreo se localiza en el río Guabas aguas arriba de la entrada de la quebrada La Magdalena y del punto Puente Rojo. Corresponde a la división entre los corregimientos de Puente Rojo, en el municipio de Guacarí y El Jardín en el municipio de Ginebra.	 Fotografía 14. Punto de monitoreo PAS-22



#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
15	Ríos Guadalajara y San Pedro	Río Guadalajara	Río Guadalajara	PAS - 21	4640841,9	1989029,3	26/11/2020	19/12/2020	El punto de muestreo se localiza aguas arriba del paso del río Guadalajara por la cabecera municipal de Buga en el municipio Guadalajara de Buga, entre los corregimientos La Maria y Monterrey.	 <p>Fotografía 15. Punto de monitoreo PAS-21</p>
16	Ríos Tuluá y Morales	Río Tuluá	Río Tuluá	PAS - 15	4650148,1	2000862,0	27/11/2020	19/12/2020	El punto de muestreo se localiza aguas arriba del paso del río Tuluá por la cabecera municipal de Tuluá. En el momento del muestreo se presenta fuerte precipitación, por lo cual, no se realiza la medición de caudal mediante aforo.	 <p>Fotografía 16. Punto de monitoreo PAS-15</p>
17	Río Bugalagrande	Río Bugalagrande	Río Bugalagrande	PAS - 13	4654347,2	2014878,2	27/11/2020	19/12/2020	El punto de muestreo se localiza aguas arriba del paso del río Buga La Grande por la cabecera municipal de Andalucía. Se evidencia en las cercanías del punto de muestreo, una finca con actividad agrícola para caña y naranja.	 <p>Fotografía 17. Punto de monitoreo PAS-13</p>







#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
18	Río La Paila	Río La Paila	Quebrada El Pital	PAS - 11	4664169,4	2036675,4	28/11/2020	17/12/2020	<p>La quebrada El Pital es un afluente del río La Paila que ingresa a este cauce aguas arriba del paso del río La Paila por la cabecera municipal de La Paila.</p> <p>Durante el monitoreo se identifica gran cantidad de hojarasca y que el cauce presenta flujo intermitente a lo largo de su trayectoria.</p>	 <p>Fotografía 18. Punto de monitoreo PAS-11</p>
19	Río La Paila	Río La Paila	Río La Paila	PAS - 12	4662393,5	2033174,8	28/11/2020	17/12/2020	<p>El punto de muestreo se ubica en el río La Paila, aguas abajo de la entrada del río Totoro en el corregimiento de Vallejuelo, municipio de Zarzal, Valle del Cauca.</p>	 <p>Fotografía 19. Punto de monitoreo PAS-12</p>
20	Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando	Río Los Micos	Quebrada La Honda	OC - 20 (Aguas arriba)	4667512,0	2045614,9	28/11/2020	18/12/2020	<p>La quebrada La Honda no es un tributario del río Los Micos, está desemboca al río Cauca antes del paso de este último por La Cabecera municipal de La Victoria.</p> <p>Los puntos de monitoreo se ubican aguas arriba y abajo de la ubicación prevista para el punto de ocupación de Cauce OC - 20, punto en el cual la quebrada La Honda es una división entre el corregimiento Taguales, municipio La Victoria y Guasimal, municipio</p>	 <p>Fotografía 20. Punto de monitoreo OC-20 (Aguas arriba)</p>

#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
			Quebrada La Honda	OC - 20 (Aguas abajo)	4667618,8	2045440,3	28/11/2020	18/12/2020	<p>Zarzal.</p> <p>Se encuentra que el cuerpo de agua es intermitente y que en el momento de realizar el muestreo no se presentó flujo de agua, por lo cual no fue posible realizar un aforo de caudal.</p>	 <p>Fotografía 21. Punto de monitoreo OC-20 (Aguas abajo)</p>
21	Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando	Río Los Micos	Quebrada Pan de Azúcar	OC - 23 (Aguas arriba)	4667616,1	2047587,2	28/11/2020	18/12/2020	<p>La quebrada Pan de azúcar hace parte de la subzona hidrográfica de los Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando y unidad hidrográfica Cuenca Los Micos. Sin embargo, este cuerpo de agua no es un tributario del río Los Micos, si no de la quebrada La Honda.</p> <p>Los puntos de monitoreo se ubican aguas arriba y abajo de la ubicación prevista para el punto de ocupación de Cauce OC - 23, en el corregimiento Taguales, municipio La Victoria.</p>	 <p>Fotografía 22. Punto de monitoreo OC-23 (Aguas arriba)</p>
			Quebrada Pan de Azúcar	OC - 23 (Aguas abajo)	4667654,3	2047445,0	28/11/2020	18/12/2020	<p>Se encuentra que en el momento de realizar el muestreo no se presentó flujo de agua y la profundidad no era la suficiente, por lo cual no fue posible realizar un aforo de caudal.</p>	 <p>Fotografía 23. Punto de monitoreo OC-23 (Aguas abajo)</p>

#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
22	Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando	Río Los Micos	Quebrada Las Palmas	PAS - 09	4671684,0	2053416,7	29/11/2020	17/12/2020	El punto de muestreo se ubica en el corregimiento de Holguín, municipio de la Victoria y corresponde a la quebrada Las Palmas, un afluente de la quebrada Los Micos. Para el muestreo realizado en época húmeda se observa un color del agua blanco y de alta turbiedad.	 Fotografía 24. Punto de monitoreo PAS - 09
23			Quebrada NN (Afluente quebrada Cháscara)	PAS - 08	4674790,1	2057636,2	29/11/2020	17/12/2020	El punto de muestreo se ubica en el corregimiento de Miravalles, municipio de la Victoria y corresponde a un cuerpo sin identificación en la cartografía, el cual corresponde a un afluente de la quebrada Cháscara (está a su vez es un afluente de la quebrada Yucatán, que desemboca en la quebrada Los Micos).	 Fotografía 25. Punto de monitoreo PAS - 08
24	Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando	Río Obando	Quebrada NN (Afluente quebrada La Balsora)	PAS - 07	4676339,3	2061560,9	29/11/2020	18/12/2020	El punto de muestreo se ubica en el corregimiento de El Chuzo, municipio de Obando y corresponde a un cuerpo sin identificación en la cartografía, el cual corresponde a un afluente de la quebrada Balsora (está a su vez es un afluente de la quebrada Obando, antes de su paso por el municipio de Obando).	 Fotografía 26. Punto de monitoreo PAS - 07

#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
25	Río La Vieja	Río La Vieja	Quebrada El Enfado	PAS - 03	4682026,2	2081046,7	30/11/2020	16/01/2021	El punto de monitoreo se ubica en la quebrada El Enfado, esta desemboca en la quebrada El Engaño que a su vez desemboca en el río La Vieja aguas arriba del paso de este último por la cabecera municipal de Cartago. El punto se ubica en el corregimiento Piedra de Moler, municipio de Cartago	 <p>Fotografía 27. Punto de monitoreo PAS -03</p>
26	Río La Vieja	Río La Vieja	Quebrada Playa Rica	PAS - 06	4679778,7	2067034,5	30/11/2020	16/12/2020	El punto de muestreo se ubica en el corregimiento de Villa Rodas, municipio de Obando y corresponde a la quebrada Playa Rica, un afluente de la quebrada Respandores, que desemboca en la quebrada La Vieja.	 <p>Fotografía 28. Punto de monitoreo PAS - 06</p>

#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
27			Quebrada NN (Afluente quebrada Resplandores)	PAS - 04	4680856,1	2069368,9	30/11/2020	16/01/2021	<p>El punto de muestreo se ubica en el corregimiento de Villa Rodas, municipio de Obando y corresponde a un cuerpo sin identificación en la cartografía, el cual corresponde a un afluente de la quebrada Aguas Claras (está a su vez es un afluente de la quebrada Resplandores, que desemboca en la quebrada La Vieja)</p>	 <p>Fotografía 29. Punto de monitoreo PAS - 04</p>
28	Río La Vieja	Río La Vieja	Río La Vieja	PAS - 02	4680583,2	2084738,4	02/12/2020	17/01/2021	<p>El punto de medición corresponde al río La Vieja aguas arriba de su paso por la cabecera municipal de Cartago.</p> <p>En este punto, el río es una división entre los departamentos de Valle del Cauca y Risaralda.</p>	 <p>Fotografía 30. Punto de monitoreo PAS - 02</p>

#	Sub zona hidrográfica	Unidad hidrográfica	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas		Fecha de monitoreo		Descripción	Registro fotográfico
					Este	Norte	Periodo lluvia	Periodo seco		
29	Río Otún y otros directos al Cauca	Otros directos al Cauca	Quebrada La Tigrera	PAS - 01	4680376,2	2092007,8	02/12/2020	15/12/2020	<p>La quebrada La Tigrera corresponde al grupo de otros directos al Cauca, ubicados entre las cuencas de los ríos Otún y Consota. El punto de monitoreo se encuentra en el corregimiento de Puerto Caldas, municipio de Pereira.</p> <p>Se evidencia que para el muestreo realizado en época húmeda existe turbidez y color grisáceo en el cuerpo de agua</p>	 <p>Fotografía 31. Punto de monitoreo PAS - 01</p>
30	Río Otún y otros directos al Cauca	Otros directos al Cauca	Quebrada Grande	PAS - 29	4683278,0	2094730,0	28/11/2020	15/12/2020	<p>La quebrada Grande pertenece a la subzona hidrográfica del río Otún y otros directos al Cauca, este cuerpo de agua desemboca en el río Cauca aguas abajo del paso del Cauca por el municipio de Virginia en el departamento de Risaralda.</p> <p>En el momento del muestreo se observa en el cuerpo de agua la presencia de empalizada y hojarasca. En las rocas del lecho del río se observa la presencia de líquenes.</p>	 <p>Fotografía 32. Punto de monitoreo PAS - 29</p>

Fuente: AGQ. (2021).



### 5.1.7.3.2 Resultados de los monitoreos

**Tabla 7. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período de lluvia - Parte 1**

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Cauca	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)			Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso				Ríos Guadajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí		Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga					Quebrada Poleal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Paporrinas								
Variable	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Saturación de Oxígeno	%	16	84	73	8	4	109	96	92	88	115	87	93	116	120	118	121	-	-	-	-
Caudal	L/s	*	237952	4212	89	419	575	12701	2130	1172	856	210,4	108,7	3148	2871	4318	1478	-	-	-	-
Conductividad Eléctrica	µS/cm	165	102	143	592	499	248	180	215	253	131	271	232	107	93	119	112	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	1,09	6,36	5,54	0,56	0,29	8,08	7,52	7,37	6,58	8,49	6,19	7,1	8,67	8,95	9,46	9,3	-	-	-	-
pH	Unidades de pH	6,3	5	6,8	7,1	6,9	7,4	8,5	8,2	8,3	7,2	8,4	8,4	7	6	6	6	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	-
Temperatura	°C	27,6	23,9	23,5	25,2	25,7	24,4	20,8	19,9	22,3	24,5	26	21,7	22,3	22,7	19,7	22,1	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	6,6	<4	<4	< 4	<4	<4	< 4	< 4	< 4	< 4	S,P,V	S,P,V	-	-
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	15,3	7,82	5,02	18,1	62,4	5,22	5,91	5,49	<5	< 5	6,33	<5	< 5	< 5	< 5	< 5	-	-	-	-
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	73,3	29,3	57,2	243	217	106	71,2	87,6	116	74,5	137	115	51,9	46,7	53,1	53,5	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)					Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso				Ríos Guadalupe y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río Jamundí	Río Cauca	Río Párraga			Río Bolo	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadalupe	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero		Río Fraile	Quebrada Chontaduro	Río Párraga					Quebrada Poleal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Paporrinas								
Variable	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Aluminio Total	mg/L	0,492	1,7	0,584	0,342	0,409	< 0,2	0,654	3,78	1,02	< 0,2	0,212	0,204	0,638	0,95	0,711	5,84	-	-	5	5
Arsénico Total	mg/L	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,04	< 0,05	< 0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1	1	-	-
Berilio Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	0,1	-
Bicarbonatos	mg/L CaCO3	73,3	29,3	57,2	243	217	106	71,2	87,6	116	74,5	137	115	51,9	46,7	53,1	53,5	-	-	-	-
Boro Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	0,3 - 4,0	5
Cadmio Total	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio Disuelto	mg/L	14,2	9,2	15,4	38,1	39,1	24,6	17,2	18,4	18,6	14,7	19,1	18,5	11,6	10,5	14,2	10,3	-	-	-	-
Calcio Total	mg/L	13	8,67	14,4	51,3	51,9	31	22	26,2	28,3	16,2	22,2	21,8	12,8	10,6	16	14,2	-	-	-	-
Carbonatos	mg/L	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	-	-	-	-
Cianuro Total	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,2	0,2	-	-
Cloruros	mg/L	10	4,8	5	43	13	3,7	3,4	2,5	3,5	1,3	4	3	1	< 0,7	2	2,1	250	250	-	-

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)				Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso				Ríos Guadalupe y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí	Río Cauca	Río Párraga		Río Bolo	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadalupe	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero		Río Fraile	Quebrada Chontaduro					Río Párraga	Quebrada Poleal	Quebrada La Honda									Quebrada Las Paporrinas
Variable	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Cobalto Total	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	-	0,05	-
Cobre Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1	1	0,2	0,5
Coliformes Fecales	NMP/100mL	790	2000	1000	15000	260000	15000	350	350	16000	14000	550	180	9100	1000	2000	13000	2000	-	1000	-
Coliformes Totales	NMP/100mL	150000	78000	33000	170000	2400000	240000	54000	9100	54000	78000	40000	7000	320000	4500	230000	490000	20000	1000	5000	-
Color Real a 436 nm	m-1	2	< 2	< 2	2	3	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	-	-	-	-
Color Real a 525 nm	m-1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	-	-	-	-
Color Real a 620 nm	m-1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	-	-	-	-
Compuestos Fenólicos Semivolátiles	mg/L	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,007	< 0,002	< 0,002	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	-	-	-	-
Cromo Total	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	0,05	0,1	-

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Cauca					Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)			Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadalupe y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río Jamundí	Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadalupe	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario			
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero		Quebrada Chontaduro	Río Párraga					Quebrada Paeal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Paporrinas											
Variable	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13						
DBO5	mg/L	13,9	4,6	4,94	26,4	27,1	4,16	<2	2,35	<2	< 2,1	2,71	<2	< 2,1	< 2,1	< 2,1	< 2,1	-	-	-	-		
DQO	mg/L	57,23	12,22	14,67	84,64	256,9	16,72	<10	33,5	<10	< 10	11,4	<10	< 10	< 10	17,95	< 10	-	-	-	-		
Dureza Total	mg/L	67	37,6	53,8	176	221	114	111	136	167	73,8	148	116	58,1	43,4	63,4	79,7	-	-	-	-		
Fenoles	mg/L	0,011	< 0,002	< 0,002	0,02	0,015	< 0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	< 0,002	< 0,002	0,037	< 0,002	0,002	0,002	-	-		
Fluoruros	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	<0,5	<0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-	1	-		
Fosfatos	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,342	< 0,1	< 0,1	<0,1	<0,1	<0,1	< 0,1	<0,1	<0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-		
Fósforo Inorgánico	mg/L	< 0,02	0,043	0,039	0,595	0,408	0,031	0,071	0,538	<0,065	< 0,02	0,272	0,1	0,031	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-	-	-		
Fósforo Orgánico	mg/L	0,438	0,202	0,11	0,344	0,183	< 0,02	3,8	0,97	0,598	0,052	<0,065	0,104	0,081	0,067	0,115	0,08	-	-	-	-		
Fósforo Total	mg/L	0,3	< 0,1	0,19	1,1	0,79	0,1	3,925	2,251	0,821	< 0,1	1,43	0,39	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	-	-	-	-		
Hidrocarburos Totales	mg/L	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	5,73	<4	<4	< 4	<4	<4	< 4	< 4	< 4	< 4	-	-	-	-		
Hierro Total	mg/L	2,25	3,05	0,928	0,93	1,74	< 0,1	1,31	4,94	1,82	0,188	0,578	0,532	0,708	0,937	0,926	8,24	-	-	5	-		
Litio Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,05	<0,05	<0,05	< 0,1	<0,05	<0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	2,5	-		

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)					Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso				Ríos Guadajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río Jamundí	Río Cauca	Río Párraga			Río Bolo	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero		Río Fraile	Quebrada Chontaduro	Río Párraga					Quebrada Poaleal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Paporrinas								
Variable	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Magnesio Disuelto	mg/L	7,68	3,37	3,94	11,9	20,1	7,56	4,49	7,43	10,2	6,77	17,8	11,8	5,48	3,99	4,7	6,13	-	-	-	-
Magnesio Total	mg/L	8,63	4,04	4,59	13,5	23,3	8,48	6,36	11,1	15,9	8,53	<0,05	<0,05	6,63	4,33	6,05	11,3	-	-	-	-
Manganeso Total	mg/L	0,274	0,173	0,113	0,14	1,528	< 0,07	<0,05	0,114	<0,05	< 0,07	<0,05	<0,05	< 0,07	< 0,07	< 0,07	0,15	-	-	0,2	-
Mercurio Total	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	<2	<2	<2	< 1	<2	<2	< 1	< 1	< 1	< 1	2	2	-	10
Molibdeno Total	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,011	<0,01	<0,01	<0,01	< 0,01	<0,01	<0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-	0,01	-
Níquel Total	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	<0,05	<0,05	<0,05	< 0,02	<0,05	<0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,037	-	-	0,2	-
Nitratos	mg/L	< 0,3	0,65	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,53	<0,3	<0,3	1	2	0,89	1,2	0,47	< 0,3	< 0,3	< 0,3	10	10	-	-
Nitritos	mg/L	< 0,03	< 0,03	0,058	0,041	< 0,03	0,056	0,067	0,108	0,085	< 0,03	0,098	0,09	0,071	< 0,03	< 0,03	< 0,03	1	1	-	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0,9	< 0,3	< 0,3	3	< 0,3	< 0,3	<0,3	<0,3	<0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	1	1	-	-
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	7,39	< 5	< 5	7,67	11,4	5,83	<3	<3	<3	< 5	<3	<3	< 5	< 5	< 5	< 5	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Cauca	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)			Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadalupe y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015					
Unidad hidrográfica		Río Jamundí		Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadalupe	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga					Quebrada Poaleal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Paporrinas								
Variable	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Plata Total	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	0,05	-	-
Plomo Total	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,257	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de Sodio Posible (PSP)	%	56	49	48	86	71	46	68	53	85	30	45	89	26	58	23	16	-	-	-	-
Potasio Total	mg/L	4,06	< 4	6,64	11,8	12,2	8,8	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	-	-	-	-
Relación de Absorción de Sodio RAS	mg/L	< 0,677	< 0,677	< 0,677	1,49	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	-	-	-	-
SAAM	mg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,279	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,231	< 0,2	< 0,2	0,281	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,5	0,5	-	-
Selenio Total	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,213	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,02	-
Sodio Disuelto	mg/L	7,19	6,52	6,99	41,2	19,6	6,55	3,58	3,19	4,26	< 4	4,21	4,9	< 4	4,72	< 4	< 4	-	-	-	-
Sodio Total	mg/L	6,37	5,27	6,03	41,5	18,7	5,59	4,54	4,71	7,17	< 4	6,3	6,55	< 4	4,25	< 4	< 4	-	-	-	-



Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)				Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso				Ríos Guadajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí	Río Cauca	Río Párraga			Río Bolo	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero		Río Fraile	Quebrada Chontaduro	Río Párraga					Quebrada Poleal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Paporrinas								
Variable	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Sólidos Sedimentables	mL/L	10	0,7	0,3	0,7	0,6	< 0,1	0,1	0,5	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,2	0,6	0,6	-	-	-	-
Sólidos Totales	mg/L	373	237	152	396	409	178	187	333	116	113	212	186	128	100	205	219	-	-	-	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	128,6	86,89	88,24	342	321,2	165	134	160	194	91	181	152	106	87	110	99	-	-	-	-
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/L	236,7	141	50	38	55,77	< 10	45	148	<10	15	20	10	16	12	91	116	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L	7,49	13,6	10,8	26	25,6	24,3	18	20,8	12,8	5,09	8,3	3,9	3,05	2,01	10,2	4,32	400	400	-	-
Turbidez	NTU	55,3	101	29,7	18,2	28	< 2	22,9	65,5	14,6	7,24	8,32	4,31	8,58	6,01	61,2	101	-	190	-	-
Vanadio Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,05	<0,05	<0,05	< 0,1	<0,05	<0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	0,1	
Zinc Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,05	<0,05	<0,05	< 0,1	<0,05	<0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	15	15	2	25

Fuente: AGQ. (2021)

**Tabla 8. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período de lluvia - Parte 2**

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos				Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario		
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja					Quebrada La Tigarrera	Quebrada Grande
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02					PAS-01	PAS-29
Saturación de Oxígeno	%	107	109	92	86	106	108	110	106	102	22	97	99	100	88	118	-	-	-	-
Caudal	L/s	2	6982	**	**	**	**	236	*	*	**	3	6	70462	33	779	-	-	-	-
Conductividad Eléctrica	µS/cm	264	218	166	167	141	148	211	840	237	396	146	126	144	274	111	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	7,85	8,41	6,67	6,45	7,58	8,07	8,63	7,81	7,76	1,57	7,4	7,43	7,47	6,84	8,7	-	-	-	-
pH	Unidades de pH	5,1	6	5,5	6	6,1	6	6	5,1	6	6	6	6	6	6	6	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	-
Temperatura	°C	24,8	22,6	25,1	23,8	26,6	23,9	22,1	23,9	21,6	26,8	21,7	22,6	24,4	22,4	24,3	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	6,1	< 4	7,8	5,5	7,5	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	S,P,V	S,P,V	-	-
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	7,82	< 5	6,62	6,02	29,3	<5	9,63	9,63	5,02	15,8	<5	15,8	<5	<5	<5	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigra					Quebrada Grande
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01					PAS-29
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	138	99,7	67,7	69	59,6	64,3	86,9	246	<5	<5	51,9	52,1	49,7	121	45,2	-	-	-	-
Aluminio Total	mg/L	10,7	5,51	8,69	9,59	14,7	7,78	17,2	0,417	0,571	1,29	0,321	0,636	4,27	10,3	0,248	-	-	5	5
Arsénico Total	mg/L	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,004	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario Total	mg/L	0,337	0,188	0,16	0,145	0,195	0,145	0,28	< 0,1	0,114	0,164	< 0,1	< 0,1	0,143	0,329	0,199	1	1	-	-
Berilio Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	0,1	-
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	138	99,7	67,7	69	59,6	64,3	86,9	246	<5	<5	51,9	52,1	49,7	121	45,2	-	-	-	-
Boro Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,14	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	0,3 - 4,0	5
Cadmio Total	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio Disuelto	mg/L	27,5	20,4	11,3	12,5	11	11,2	15,6	103	19	33,9	9,92	10,3	14,1	16	7,59	-	-	-	-
Calcio Total	mg/L	24,8	18,7	13,7	12,8	11,9	12	19,9	105	20,4	36,2	10,4	10,4	14,4	15	7,35	-	-	-	-
Carbonatos	mg/L	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigra					Quebrada Grande
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01					PAS-29
Cianuro Total	mg/L	< 0,02	< 0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,2	0,2	-	-
Cloruros	mg/L	2,6	6,2	3	3,8	3,4	2,9	25	3,1	2,4	3,8	3,1	3,5	5,3	5,4	4,7	250	250	-	-
Cobalto Total	mg/L	< 0,05	< 0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	0,05	-
Cobre Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	1	0,2	0,5
Coliformes Fecales	NMP/100mL	550	180	180	180	200	200	13000	180	400	14000	4900	2400	2800	7900	360	2000	-	1000	-
Coliformes Totales	NMP/100mL	40000	7000	20000	20000	6000	14000	460000	12000	25000	380000	150000	58000	5800	63000	5500	20000	1000	5000	-
Color Real a 436 nm	m-1	4	2	9	9	8	9	5	2	<2	3	<2	<2	<2	7	3	-	-	-	-
Color Real a 525 nm	m-1	< 2	< 2	4	4	3	4	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3	<2	-	-	-	-
Color Real a 620 nm	m-1	< 2	< 2	2	2	<2	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	<2	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigra					Quebrada Grande
Variab le	Unida d	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01					PAS-29
Compuestos Fenólicos Semivolátiles	mg/L	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	-	-	-	-
Cromo Total	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	0,05	0,1	-
DBO5	mg/L	< 2,1	< 2,1	12,6	3,87	2,1	2,53	6,53	< 2,1	< 2,1	4,37	< 2,1	< 2,1	3,1	< 2,1	< 2,1	-	-	-	-
DQO	mg/L	71,75	23,47	53,75	50,88	73,8	72,57	73,39	21,02	15,7	73,8	< 10	12,42	13,65	29,2	23,06	-	-	-	-
Dureza Total	mg/L	133	103	74	69,8	71,9	66,6	102	339	92,4	144	41,9	43,2	61,3	114	37,2	-	-	-	-
Fenoles	mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,003	0,009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,003	< 0,002	0,004	0,003	< 0,002	0,002	0,002	-	-
Fluoruros	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-	1	-
Fosfatos	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,217	0,129	< 0,1	0,184	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	-	-
Fósforo Inorgánico	mg/L	0,028	0,037	0,049	0,069	0,04	0,037	0,057	0,023	< 0,02	0,038	< 0,02	0,028	0,079	0,041	0,055	-	-	-	-
Fósforo Orgánico	mg/L	0,063	0,043	0,167	0,053	0,028	0,033	0,25	0,044	< 0,02	0,112	< 0,02	0,044	0,097	0,081	0,115	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	0,17	0,11	0,23	0,2	0,23	0,15	0,67	0,11	< 0,1	0,26	< 0,1	< 0,1	0,23	0,15	0,18	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigra					Quebrada Grande
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01					PAS-29
Hidrocarburos Totales	mg/L	6,10101	< 4	7,16941	4,67374	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	-	-	-	-
Hierro Total	mg/L	11,8	6,48	11,3	9,82	14,5	8,82	26,9	0,626	0,704	4,72	0,451	1,07	5,35	6,22	2,35	-	-	5	-
Litio Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	2,5	-
Magnesio Disuelto	mg/L	14,9	11,8	7,03	7,5	7,05	7,12	7,22	28,7	9,84	15,8	3,51	3,83	4,38	17,5	4,05	-	-	-	-
Magnesio Total	mg/L	17,7	14,1	9,91	9,45	10,4	9,13	13,1	29,3	10,5	17,4	4,07	4,4	6,43	18,9	4,71	-	-	-	-
Manganeso Total	mg/L	0,158	0,149	0,123	0,083	0,146	< 0,07	0,271	0,07	< 0,07	1,699	< 0,07	< 0,07	0,155	0,078	0,172	-	-	0,2	-
Mercurio Total	µg/L	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2	2	-	10
Molibdeno Total	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-	0,01	-
Níquel Total	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,025	< 0,02	0,025	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-	0,2	-
Nitratos	mg/L	< 0,3	0,62	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,41	< 0,3	60	< 0,3	< 0,3	0,3	1,3	< 0,3	0,82	10	10	-	-
Nitritos	mg/L	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,003	0,037	0,052	< 0,003	< 0,03	0,079	< 0,003	< 0,003	< 0,03	< 0,03	< 0,03	1	1	-	10



Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigra					Quebrada Grande
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01					PAS-29
Nitrógeno Amónico	mg/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,4	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	1	1	-	-
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	-	-	-	-
Plata Total	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	0,05	-	-
Plomo Total	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de Sodio Posible (PSP)	%	46	39	46	51	38	48	43	41	23	26	86	77	31	74	72	-	-	-	-
Potasio Total	mg/L	5,29	< 4	6,14	5,75	6,11	5,81	6,78	4,46	< 4	6,48	< 4	< 4	< 4	4,54	4,19	-	-	-	-
Relación de Absorción de Sodio RAS	mg/L	< 0,677	< 0,677	0,68	< 0,677	< 0,677	< 0,677	0,79	1,19	< 0,677	0,92	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	< 0,677	-	-	-	-
SAAM	mg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,311	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,5	0,5	-	-
Selenio Total	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,02	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigra					Quebrada Grande
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01					PAS-29
Sodio Disuelto	mg/L	12,4	8,57	11,8	11,1	9,27	9,85	15,1	53	14,1	25,9	8,8	8,23	7,71	15	7,79	-	-	-	-
Sodio Total	mg/L	11,2	7,75	10,9	10,2	9,03	9,25	14,3	48,4	13,2	24,8	7,62	7,14	7,06	14,1	7,12	-	-	-	-
Sólidos Sedimentables	mL/L	0,5	0,4	0,4	0,1	0,4	<0,1	0,6	<0,1	2	1	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	0,1	-	-	-	-
Sólidos Totales	mg/L	417	239	305	197	228	215	696	650	1031	342	112	122	138	300	128	-	-	-	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	228,6	164	114,6	106	125	138	200	640	994	262	106	104	105	227	101	-	-	-	-
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/L	178,6	61	168,7	78	93	68	488,9	<10	32	55	<10	14	23	50	23	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L	7,37	5,12	15,8	16	10,7	11,7	15,7	214	9,16	24,5	8,76	7,28	9,95	18,3	3	400	400	-	-
Turbidez	NTU	152	54,8	206	147	207	151	1057	5,35	20,5	90,2	6,19	16,8	92	137	23,5	-	190	-	-
Vanadio Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-	0,1	

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigra					Quebrada Grande
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01					PAS-29
Zinc Total	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	15	15	2	25

(\*) No se realiza aforo por características del cuerpo hídrico  
 (\*\*) Sistema estancado

Fuente: AGQ. (2021).

**Tabla 9. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período seco - Parte 1**

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Cauca	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)					Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadalupe y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí		Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Guachal	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadalupe	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga		Río Agua clara				Quebrada Poleal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Paporrinas								
Variable	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-35	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Saturación de Oxígeno	%	94	95	95	93	97	95	93	96	88	93	96	86	94	95	92	96	95	-	-	-	-
Caudal	L/s	*	235904	782	192	2803	696,7	1443	7611	2234	1211	3001	176,5	157,2	12458	12124	4106	5489	-	-	-	-
Conductividad Eléctrica	µS/cm	233	84	187	1033	569	282	242	197	261	241	177	286	241	127	97	149	141	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	6,48	6,6	6,49	6,2	6,40	6,55	7	7,6	6,62	7,27	6,63	6,54	7,29	6,64	6,2	6,5	6,56	-	-	-	-
pH	Unidades de pH	8,6	8,3	8,7	8,6	8,7	8,5	8,3	8,3	7,9	7,8	8,6	7,8	7	8,5	5,6	8,6	8,5	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	-
Temperatura	°C	26,8	23,4	25,6	26,1	25,5	24,8	23,5	20,4	22,5	21,1	21,1	23,3	21,3	21,9	20,7	17	23,5	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	S,P,V	S,P,V	-	-
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	10,4	<5	<5	29,3	50,2	<5	12,4	9,92	13,3	15,1	<5	20,1	25,7	<5	<5	<5	<5	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Cauca	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)					Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadajajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí		Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Guachal	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga						Río Agua clara	Quebrada Poleal	Quebrada La Honda								
Variante	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-35	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	116	28,3	86,6	341	247	142	155	93,7	146	238	87,5	165	149	72,9	63	74,4	84,2	-	-	-	-
Aluminio Total	mg/L	0,305	0,969	0,962	0,383	0,915	<0,2	10,9	0,309	0,0116	0,14	<0,2	0,521	<0,1	2,06	0,425	1,96	0,714	-	-	5	5
Arsénico Total	mg/L	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,04	<0,05	<0,05	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	1	-	-
Berilio Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	0,1	-
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	116	28,3	86,6	341	247	142	155	93,7	146	238	87,5	165	149	72,9	63	74,4	84,2	-	-	-	-
Boro Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	0,3 - 4,0	5
Cadmio Total	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio Disuelto	mg/L	10,9	3,91	18,3	54,8	36,5	28,5	18,5	23,4	21,5	17,8	10,7	18	15,5	7,9	6,12	11,7	6,23	-	-	-	-
Calcio Total	mg/L	17,7	7,11	19,4	67	46,5	34	27,7	26,1	29	25,1	15,5	24,9	23,6	13,2	9,99	17	12,5	-	-	-	-
Carbonatos	mg/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Cauca	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)					Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadajajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí		Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Guachal	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga						Río Agua clara	Quebrada Poleal	Quebrada La Honda								
Variante	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-35	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Cianuro Total	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,2	0,2	-	-
Cloruros	mg/L	7,8	2,6	5,2	101	12	2,7	<0,7	<0,7	0,7	<0,7	<0,7	4	<0,7	1,7	<0,7	0,85	1,5	250	250	-	-
Cobalto Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	0,05	-
Cobre Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	1	0,2	0,5
Coliformes Fecales	NMP/100mL	46	350	79	1600	330000	220	540	280	130	920	6,8	280	6,8	9,1	22	170	79	2000	-	1000	-
Coliformes Totales	NMP/100mL	20000	4700	610	4100	410000	280	8400	20000	1400	5400	2000	7900	1200	240	320	1500	1700	20000	1000	5000	-
Color Real a 436 nm	m-1	<2	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	-	-	-	-
Color Real a 525 nm	m-1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	-	-	-	-
Color Real a 620 nm	m-1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	-	-	-	-
Compuestos Fenólicos	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,007	<0,002	<0,002	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	-	-	-	-



Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)						Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadajajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí	Río Cauca	Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Guachal	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga						Quebrada Poleal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Paporrinas								
Variante	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-35	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Asesores Semivolátiles																						
Cromo Total	mg/L	<0,05	<0,05	3,96	<0,05	<0,05	<0,05	0,069	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	0,1	-
DBO5	mg/L	4,58	<2,1	3,38	18,4	9,45	<2,1	3,84	2,62	3,72	2,69	<2,1	3,76	<2	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	-	-	-	-
DQO	mg/L	75,23	<10	<10	38,4	51,91	<10	20,8	<10	35,1	<10	<10	25,7	<10	<10	<10	<10	<10	-	-	-	-
Dureza Total	mg/L	96,3	36	75,2	265	223	132	142	91,9	116	111	74,4	135	109	66,5	42,5	73,6	64,9	-	-	-	-
Fenoles	mg/L	0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	0,002	0,002	-	-
Fluoruros	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	1,1	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	1	-
Fosfatos	mg/L	<0,1	<0,1	0,275	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,148	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-
Fósforo Inorgánico	mg/L	<0,02	<0,02	0,025	0,033	0,37	<0,02	0,257	<0,065	0,077	0,1	<0,02	0,379	<0,065	<0,02	<0,02	0,028	<0,02	-	-	-	-
Fósforo Orgánico	mg/L	0,217	0,093	0,158	1,25	0,158	0,078	0,286	0,792	0,161	0,126	0,033	<0,065	0,535	0,102	0,05	0,082	<0,02	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	0,43	0,39	0,24	1,2	1	<0,1	0,572	0,857	0,368	0,26	<0,1	0,457	0,580	0,21	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)						Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadajajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí	Río Cauca	Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Guachal	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga						Quebrada Poleal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Papirinas								
Variante	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-35	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Hidrocarburos Totales	mg/L	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	-	-	-	-
Hierro Total	mg/L	2,07	9,27	21,1	1,88	2,92	0,28	15,6	0,63	0,467	0,968	0,234	1,08	0,164	3,88	0,587	3,43	1,04	-	-	5	-
Litio Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	2,5	-
Magnesio Disuelto	mg/L	8,45	2,6	6,13	17,2	19,3	8,08	10,4	6,51	8,51	9,18	6,81	13,6	8,51	5,29	3,04	5,2	4,62	-	-	-	-
Magnesio Total	mg/L	12,7	4,43	6,5	23,6	26,1	11,5	17,7	12,1	10,6	11,9	8,65	17,6	12,1	8,12	4,26	7,57	8,17	-	-	-	-
Manganeso Total	mg/L	0,239	0,143	0,385	0,154	0,927	<0,07	0,295	0,05	0,065	<0,05	<0,07	17,6	<0,05	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	-	-	0,2	-
Mercurio Total	µg/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<2	<2	<2	<2	<1	<2	<2	<1	<1	<1	<1	2	2	-	10
Molibdeno Total	mg/L	<0,001	<0,01	0,034	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	0,01	-
Níquel Total	mg/L	<0,02	<0,02	1,82	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	0,2	-
Nitratos	mg/L	<0,3	0,77	0,93	<0,3	<0,3	0,54	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,38	0,3	<0,3	0,74	<0,3	<0,3	<0,3	10	10	-	-
Nitritos	mg/L	0,038	<0,03	<0,03	0,36	0,081	<0,03	<0,03	2,16	1,38	<0,03	<0,03	<0,03	1,16	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	1	1	-	10

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Cauca	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)					Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadajajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí		Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Guachal	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga						Río Agua clara	Quebrada Poleal	Quebrada La Honda								
Variante	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-35	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Nitrógeno Amónico	mg/L	3	<0,3	<0,3	4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,8	<0,3	<0,3	<0,30	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	1	1	-	-
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	<5	<5	<5	5,28	7,81	<5	<3	<3	<3	<3	<5	<3	<3	<5	6,2	7,58	11,6	-	-	-	-
Plata Total	mg/L	0,083	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	-	-
Plomo Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de Sodio Posible (PSP)	%	77	36	72	89	68	42	88	57	93	97	67	92	98	51	95	35	92	-	-	-	-
Potasio Total	mg/L	<4	<4	<4	19,2	6,83	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	-	-	-	-
Relación de Absorción de Sodio RAS	mg/L	<0,677	<0,677	<0,677	2,22	0,76	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	-	-	-	-
SAAM	mg/L	<0,2	0,227	<0,2	0,355	0,334	<0,2	0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,307	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,5	0,5	-	-

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)						Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí	Río Cauca	Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Guachal	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga						Río Agua clara	Quebrada Poleal	Quebrada La Honda								
Variante	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-35	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Selenio Total	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,02	-
Sodio Disuelto	mg/L	6,31	<4	8,22	73,5	22,8	<4	3,56	4,6	3,24	3,03	<4	3,61	3,53	<4	<4	<4	<4	-	-	-	-
Sodio Total	mg/L	8,79	<4	8,4	87,7	29,6	5,56	5,04	4,9	4,41	4,46	<4	5,26	5,28	<4	<4	<4	<4	-	-	-	-
Sólidos Sedimentables	mL/L	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,7	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	-	-	-	-
Sólidos Totales	mg/L	225	248	158	625	363	184	582	163	202	196	92	232	169	118	79	190	112	-	-	-	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	167	67,14	139	585	329	172	162	138	169	159	87	181	127	88	72	120	98	-	-	-	-
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/L	42	162,9	27	20	14	<10	389	14	20	28	<10	36	<10	10	<10	69	<10	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L	4,4	10,9	12	28,9	25,7	19,8	13,7	0,8	31,6	17,7	5,92	12,7	5,13	3,53	5,65	11,8	4,97	400	400	-	-
Turbidez	NTU	27,7	171	14,1	7,06	5,03	2,48	131	4,91	4,38	6,77	2,57	11,2	<2	3,99	<2	57,7	8,51	-	190	-	-

Sub zona hidrográfica		Ríos Claro y Jamundí	Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)						Ríos Amaime y Cerrito			Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso			Ríos Guadajara y San Pedro	Ríos Tuluá y Morales	Río Bugala grande	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río Jamundí	Río Cauca	Río Fraile	Río Párraga		Río Bolo	Guachal	Río Amaime	Río Nima	Río Cerrito	Río Sabaletas			Río Guabas	Río Guadajara	Río Tuluá	Río Bugala grande	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Humedal El Estero			Quebrada Chontaduro	Río Párraga		Río Agua clara				Quebrada Poleal	Quebrada La Honda	Quebrada Las Paporrinas								
Variante	Unidad	PAS-24	PAS-20	PAS-19	PAS-28	PAS-27	PAS-18	PAS-35	PAS-33	PAS-34	PAS-32	PAS-25	PAS-31	PAS-30	PAS-22	PAS-21	PAS-15	PAS-13				
Vanadio Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	0,1	
Zinc Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	15	15	2	25

Fuente: AGQ. (2021).

Tabla 10. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos - Período seco - Parte 2

Sub zona hidrográfica		Río La Paila	Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando								Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca	Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río La Paila	Río Los Micos							Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca	Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigra					Quebrada Grande
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01	PAS-29				
Saturación de Oxígeno	%	39	106	35	50	94	92	105	14	86	32	94	98	96	86	96	-	-	-	-
Caudal	L/s	*	11086	*	*	*	*	64	*	*	*	101	48	74251	36	1013	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando		Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigarrera	Quebrada Grande				
Variable	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01	PAS-29				
Conductividad Eléctrica	µS/cm	33	270	384	380	254	239	570	936	301	449	106	125	148	381	145	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	2,92	7,5	2,66	3,69	6,5	6,2	7,78	1,06	6,6	2,15	7	7,57	7,37	6,76	7,2	-	-	-	-
pH	Unidades de pH	6	6	6,1	6,7	6	6	6,5	7	7	7,54	6	5,9	7,9	6	6	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	-
Temperatura	°C	23,8	27,7	23,9	24,1	24,4	23	24,5	23,2	21,4	28,3	22,3	20,3	22,5	21,6	24,1	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	<4	<4	6	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	S,P,V	S,P,V	-	-
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	<5	<5	<5	<5	8,15	12,3	<5	8,15	<5	6,06	<5	<5	<5	10,4	<5	-	-	-	-
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	136	121	134	128	98,6	91,3	245	237	125	211	49,3	54,6	55	204	76,1	-	-	-	-
Aluminio Total	mg/L	2,07	0,689	1,89	<0,2	0,411	0,671	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,825	0,479	1,78	0,362	0,641	-	-	5	5
Arsénico Total	mg/L	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario Total	mg/L	0,174	<0,1	0,231	0,144	0,136	0,141	0,216	<0,1	0,131	0,176	<0,1	<0,1	<0,1	0,107	0,109	1	1	-	-



Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando		Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigrera	Quebrada Grande				
Variación	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01	PAS-29				
Berilio Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	0,1	-
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	136	121	123	112	98,6	91,3	245	237	104	211	49,3	54,6	55	204	76,1	-	-	-	-
Boro Total	mg/L	<0,1	<0,1	0,116	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,142	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	0,3 - 4,0	5
Cadmio Total	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio Disuelto	mg/L	22,6	21,5	25,5	26,1	17,5	16,5	49,6	100	24,3	25	8,46	7,38	10,4	19,5	8,52	-	-	-	-
Calcio Total	mg/L	23,1	22,7	25,6	28,6	17,7	18,2	51,5	110	26,9	41	8,5	12,2	17	28,9	8,98	-	-	-	-
Carbonatos	mg/L	<5	<5	10,9	15,7	<5	<5	<5	<5	21,1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	-	-	-	-
Cianuro Total	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,2	0,2	-	-
Cloruros		1,7	8	3,4	3,3	3	2,6	2,8	5,1	1,1	4,8	3,4	3	5,1	1,1	4,7	250	250	-	-
Cobalto Total		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	0,05	-
Cobre Total		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1	1	0,2	0,5
Coliformes Fecales		780	45	20	20	140	450	20	180	17	490	200	240	79	100	100	2000	-	1000	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015				
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos							Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigresa	Quebrada Grande					
Variación	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01	PAS-29					
Coliformes Totales		4500	1700	680	450	310	4900	450	240000	460	6300	5800	4100	2400	1400	2400	20000	1000	5000	-	
Color Real a 436 nm		<2	<2	4	4	5	<2	<2	<2	<2	2	2	<2	<2	<2	<2	-	-	-	-	
Color Real a 525 nm		<2	<2	<2	2	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	-	-	-	-	
Color Real a 620 nm		<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	-	-	-	-	
Compuestos Fenólicos Semivolátiles		<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	-	-	-	-	
Cromo Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	0,318	0,058	0,087	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,115	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	0,1	-	
DBO5	mg/L	2,81	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	2,5	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	-	-	-	-	
DQO	mg/L	39,63	<10	41,06	42,09	56	72,77	<10	15,9	16,51	81,16	<10	58,66	61,93	<10	14,47	-	-	-	-	
Dureza Total	mg/L	113	118	<7	143	98,4	102	221	375	123	189	36,7	49,6	65	164	48,4	-	-	-	-	
Fenoles	mg/L	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos						Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigrera	Quebrada Grande				
Variación	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01	PAS-29				
Fluoruros	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	1	-
Fosfatos	mg/L	0,334	0,624	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,176	0,424	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-
Fósforo Inorgánico	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,029	0,073	<0,02	0,105	0,028	<0,02	<0,02	-	-	-	-
Fósforo Orgánico	mg/L	0,147	0,045	0,206	0,163	0,105	0,135	0,157	0,25	0,026	0,062	0,055	0,104	0,078	0,077	0,084	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	0,97	0,95	0,26	0,25	0,1	0,15	0,95	0,94	<0,1	0,14	<0,1	0,21	0,11	<0,1	0,17	-	-	-	-
Hidrocarburos Totales	mg/L	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	-	-	-	-
Hierro Total	mg/L	4,41	0,889	5,67	1,69	1,16	1,74	0,231	0,1	<0,1	1,7	1,58	0,758	2,26	1,24	2,02	-	-	5	-
Litio Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	2,5	-
Magnesio Disuelto	mg/L	11,2	12,8	14,7	14,6	11,3	10,5	18,1	26,3	11	13,3	3,39	2,92	3,4	25	6,16	-	-	-	-
Magnesio Total	mg/L	13,5	14,8	<1	18,3	13,3	13,7	22,4	30,1	14	21,9	3,77	4,92	5,81	35,5	6,31	-	-	-	-
Manganeso Total	mg/L	0,078	<0,07	2001	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	1,035	<0,07	<0,07	0,074	<0,07	0,175	-	-	0,2	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando		Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigresa	Quebrada Grande				
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01	PAS-29				
Mercurio Total	µg/L	<1	<1	<1	<1	<1	4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	2	-	10
Molibdeno Total	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,038	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,013	0,013	<0,01	<0,01	-	-	0,01	-
Níquel Total	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,195	0,12	0,049	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,044	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	0,2	-
Nitratos	mg/L	0,33	0,62	0,59	0,5	0,57	0,64	<0,3	0,42	<0,3	<0,3	0,41	<0,3	1,3	<0,3	0,56	10	10	-	-
Nitritos	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,87	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	1	1	-	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,7	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	1	1	-	-
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	1,81	<5	<5	1,4	<5	<5	-	-	-	-
Plata Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	-	-
Plomo Total	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de Sodio Posible (PSP)	%	75	50	96	53	57	46	75	48	63	66	83	66	41	89	83	-	-	-	-
Potasio Total	mg/L	6,34	<4	<4	7,29	5,94	6,69	5,57	4,68	<4	8,91	<4	<4	<4	5,21	<4	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional consumo humano y doméstico	Desinfección consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigrera					Quebrada Grande
Variante	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01					PAS-29
Relación de absorción de Sodio RAS	mg/L	<0,677	<0,677	1,02	1	<0,677	<0,677	1,13	1,23	0,78	<0,677	<0,677	<0,677	<0,677	0,68	<0,677	-	-	-	-
SAAM	mg/L	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,532	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,5	0,5	-	-
Selenio Total	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,011	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,017	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,02	-
Sodio Disuelto	mg/L	12,7	9,21	26,2	25,6	13,7	13,6	36,5	53,6	18,4	16,7	6,12	4,86	4,57	18,3	7,82	-	-	-	-
Sodio Total	mg/L	13,7	9,82	27,3	27,3	15,6	13,6	38,2	56	19,8	28	6,43	7,86	7,37	24,7	8,28	-	-	-	-
Sólidos Sedimentables	mL/L	0,3	<0,1	0,3	<0,1	0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	<0,1	0,3	-	-	-	-
Sólidos Totales	mg/L	257	222	346	266	301	295	435	751	225	321	144	116	207	319	173	-	-	-	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	210	197	260	220	207	203	402	698	215	277	93	83	115	279	118	-	-	-	-
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/L	31	19	64	26	61	83	<10	<10	<10	17	42	26	85	21	50	-	-	-	-

Sub zona hidrográfica		Río La Paila		Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando							Río La Vieja				Río Otún y otros directos al Cauca		Decreto 1076 de 2015			
Unidad hidrográfica		Río La Paila		Río Los Micos					Río Obando	Río La Vieja				Otros directos al Cauca		Tratamiento convencional para el consumo humano y doméstico	Desinfección para consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	
Nombre cuerpo de agua		Quebrada El Pital	Río La Paila	Quebrada Pan de Azúcar		Quebrada La Honda		Quebrada Las Palmas	Quebrada NN	Quebrada NN	Quebrada El Enfado	Quebrada Playa Rica	Quebrada NN	Río La Vieja	Quebrada La Tigresa					Quebrada Grande
Variación	Unidad	PAS-11	PAS-12	OC-23 (Aguas Arriba)	OC-23 (Aguas Abajo)	OC-20 (Aguas Arriba)	OC-20 (Aguas Abajo)	PAS-09	PAS-08	PAS-07	PAS-03	PAS-06	PAS-04	PAS-02	PAS-01					PAS-29
Sulfatos	mg/L	2,41	5,21	37	38,4	9,81	8,5	61,5	508	13,6	20	7,87	6,25	10,7	27,5	2,1	400	400	-	-
Turbidez	NTU	21,7	7,13	19,6	3,25	39,1	48,5	7,38	3,93	<2	7,72	37,2	21,8	40,4	12,7	28,4	-	190	-	-
Vanadio Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	0,1	
Zinc Total	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	15	15	2	25

Fuente: AGQ. (2021).



---

#### 5.1.7.4 Análisis de variables fisicoquímicas y microbiológicas

De acuerdo con los resultados obtenidos por el laboratorio a continuación se presenta el análisis para cada una de las variables analizadas.

##### 5.1.7.4.1 Generales

###### 5.1.7.4.1.1 Caudal

En la Figura 3 se presentan los resultados de las mediciones de caudal en los cuerpos de agua monitoreados. Para el caso del humedal El Estero (PAS-24) y las corrientes de agua quebrada La Honda (OC-20 aguas arriba y aguas abajo), quebrada Pan de azúcar (OC-23 aguas arriba y aguas abajo), quebradas NN (PAS-07 y PAS-08) y quebrada el enfado (PAS-03) para las épocas seca y lluvia, así como para el río Agua Clara (PAS-35) en el período húmedo y la quebrada El Pital (PAS-11) en época seca, no se realizó medición de caudal al no presentarse flujo o profundidad de la lámina de agua suficiente para poder realizar la medición.

En la mayoría de los cuerpos de agua medidos el valor del caudal fue mayor durante el período seco que en el húmedo (16 puntos) y en 6 ocasiones el caudal fue mayor en el período húmedo que en el período seco, para un total de 2 puntos con valores de caudal para ambos períodos. Como ya se mencionó, en 7 puntos no se tiene medición en ningún período y en dos puntos se tiene una única medición.

Para el período seco se puede observar que las quebradas Chontaduro (PAS-28), La Honda (PAS-31), Las Paporrinas (PAS-30), Las Palmas (PAS-09), Playa Rica (PAS-06), La Tigrera (PAS-01) y la quebrada sin nomenclatura (PAS-04) presentan un caudal menor a 200 L/s. Esto mismo sucede en el período húmedo para la quebrada Las Paporrinas (PAS-30), La Tigrera (PAS-01), Playa Rica (PAS-06), El Pital (PAS-11) y la quebrada sin nomenclatura (PAS-04).

En el río Cauca (PAS-20), La Vieja (PAS-02), Guabas (PAS-22), Guadalajara (PAS-21) y La Paila (PAS-12) las mediciones de caudal durante el período seco fueron mayores a los 10.000 L/s; mientras que esto sucedió en los puntos del río Cauca (PAS-20), La Vieja (PAS-02) y Amaime (PAS-33) en el período húmedo.

Finalmente, el restante de puntos tuvieron caudales que están dentro del rango de los 200

L/s y los 10.000 L/S. El mayor valor aforado corresponde al río Cauca (PAS-20) este presenta un caudal de 235,904 m<sup>3</sup>/s y 237,952 m<sup>3</sup>/s, en época seca y húmeda, respectivamente. Continuando en magnitud de caudal está el río La Vieja (PAS-02) que presenta un caudal entre 74,251 m<sup>3</sup>/s y 70,462 m<sup>3</sup>/s.

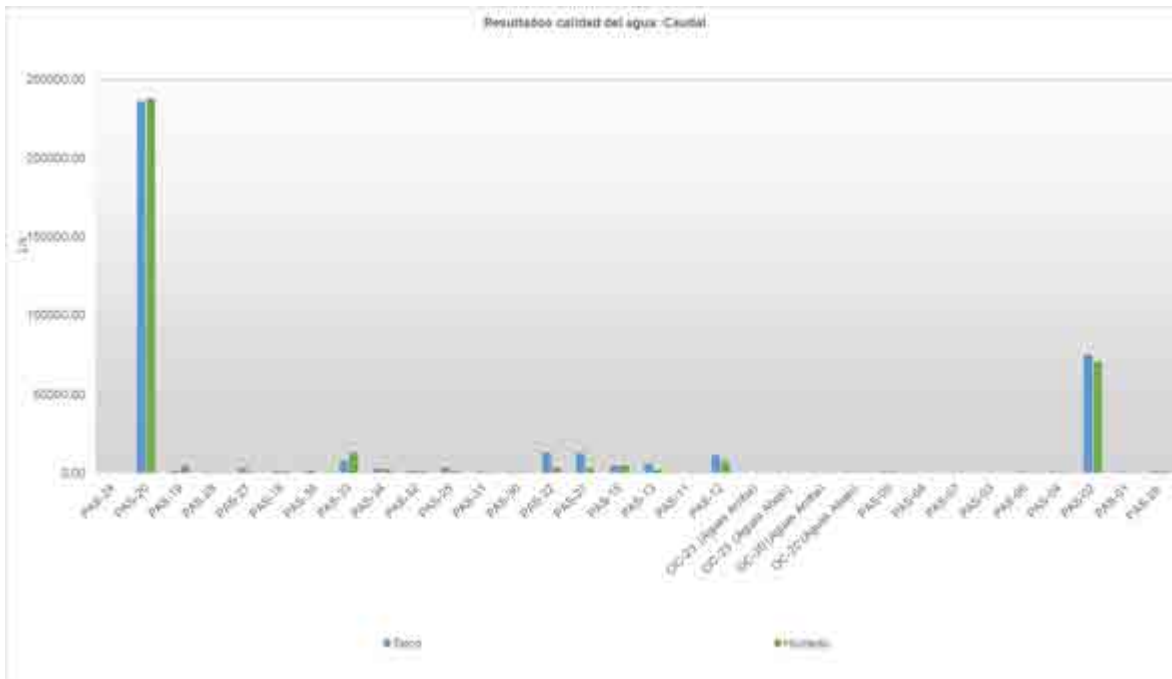


Figura 3. Comportamiento del Caudal

Por último, es importante mencionar que en la mayoría de los casos los caudales son mayores en el período seco que en el período húmedo. Debido a esto se hizo una revisión en la cual se definieron las dos épocas a partir del comportamiento predominante en 31 estaciones climatológicas identificadas en el área de estudio y con registros de precipitación para el periodo comprendido entre 1975 a 2019 (16.436 datos diarios por estación). Considerando que los cuerpos de agua sufren fluctuaciones en sus caudales constantemente, los caudales registrados en el monitoreo no deben reflejar dichos periodos dado que corresponden a un valor en un instante de tiempo. Establecer épocas húmedas o secas, no garantiza que no puedan existir datos más altos en tiempos secos y viceversa.

---

#### 5.1.7.4.1.2 Temperatura

La temperatura del agua es una variable relevante y significativa para la calidad del agua en la medida que determina la capacidad de almacenamiento de oxígeno disuelto en el agua, a mayor temperatura la capacidad de saturación de oxígeno disminuye, esto no es deseable dado que la concentración de oxígeno disuelto es indispensable para los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, la totalidad de reacciones del tipo bioquímico (oxidación de materia orgánica, nitrificación, etc) serán dependientes de la temperatura del agua, de manera que las tasas serán directamente proporcionales al valor de la temperatura.

En los objetivos de calidad del agua establecidos por la CVC mediante la Resolución No. 0686 de 2006, se establece que la temperatura en el tramo I (hasta el río Jamundí) del río Cauca no deberá ser mayor a 24 °C y en el tramo III (Entre ríos Guadalajara y Risaralda) a 28 °C. De este modo, para el caso del tramo I, únicamente en el humedal río Cauca (PAS-24) se supera para los dos periodos hidroclimáticos el límite de 24 °C. Por otro lado, para el tramo III, solo se sobrepasa el límite en la quebrada El Enfado (PAS-03) en el caso de periodo seco.

Los resultados de medición de temperatura, se presentan en la Figura 4. Como tendencia general en periodo seco la temperatura de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 17 a 28,3 °C, con un valor promedio de 23,15 °C. En el periodo húmedo la temperatura de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 19,7 a 27,6 °C, con un valor promedio de 23,43 °C. Se evidencia que las temperaturas son mayores durante el periodo seco en un tercio de los puntos analizados.

Se presentan temperaturas menores a 23 °C en periodo húmedo y seco en Los ríos Anaime (PAS - 33), Nima (PAS - 34), Cerrito (PAS - 32), Quebrada Las Paporrinas (PAS - 30), Guabas (PAS - 22), Guadalajara (PAS - 21), Tuluá (PAS - 15), así como las quebradas Quebrada sin nomenclatura (PAS - 07 y PAS - 04), Playa Rica (PAS - 06) y La Tigra (PAS - 01). Los ríos que registran los menores valores de temperatura, tanto en el periodo seco como en el periodo húmedo son el río Tuluá y Anaime.

Los cuerpos de agua que registran los mayores valores de temperatura en los dos periodos analizados fueron los puntos de quebradas El Enfado (PAS - 03) y Humedal río Cauca (PAS - 24) con valores de temperatura superiores a 26°C. Además, otros puntos que tuvieron temperaturas mayores a los 26°C en el período seco fueron: el río La Paila (PAS-12) y quebrada Chontaduro (PAS-28); mientras que, en el período húmedo fueron la quebrada La Honda (OC-20 Aguas Arriba y PAS-31).

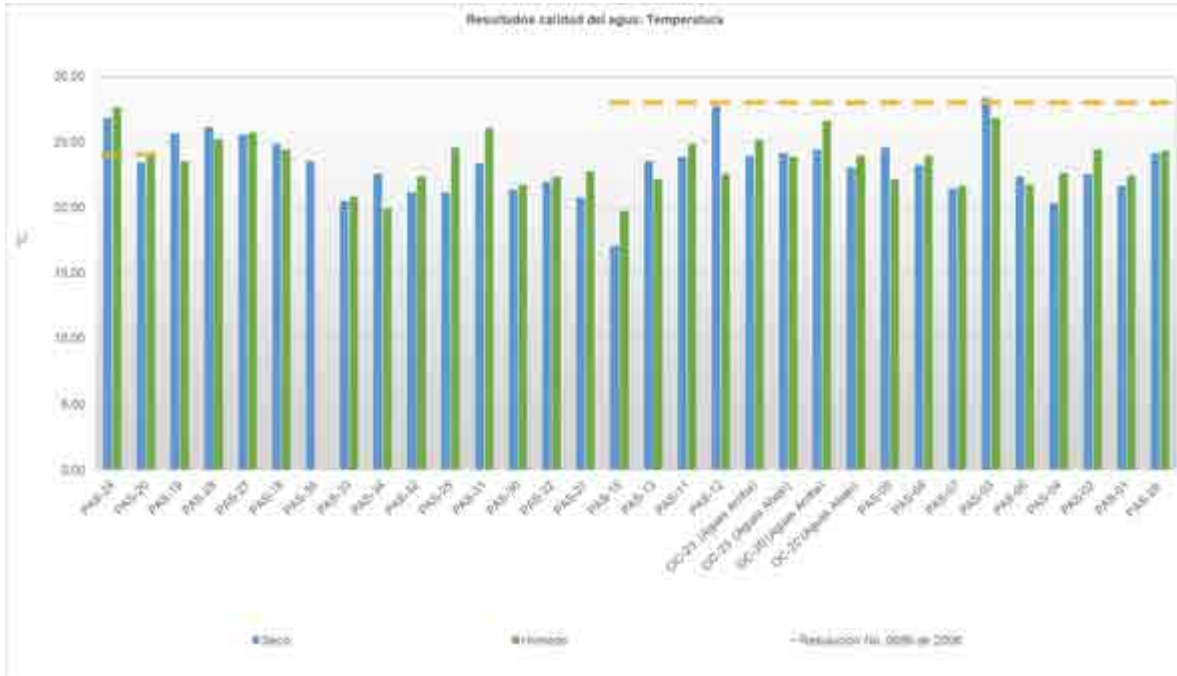


Figura 4. Comportamiento de la temperatura

---

#### 5.1.7.4.1.3 pH y Acidez total

El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de la acidez; es una forma de representar la actividad del ión hidrógeno ( $H^+$ ). Esta variable es utilizada frecuentemente para la categorización del agua según condiciones ácidas o alcalinas y es una condición que define la solubilidad de metales e iones en el agua. Para la normatividad colombiana asociada a agua destinada para potabilización con tratamiento convencional, correspondiente al Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.3 el valor de pH debe estar en el rango de 5 a 9 unidades de pH, mientras que en el caso de riego agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) el rango es entre 4,5 y 9 unidades de pH.

Los resultados de mediciones de pH se presentan en la Figura 5. Como tendencia general en periodo seco el pH de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 5,6 a 8,7 unidades de pH, con un valor promedio de 7,37 unidades de pH. En el periodo húmedo el pH de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 5 a 8,5 unidades de pH, con un valor promedio de 6,55 unidades de pH. De este modo, se puede notar que durante el período seco los cuerpos se caracterizan por sus aguas neutras; mientras que durante el período húmedo hay una débil tendencia hacia la acidez.

Para los puntos medidos en las subzonas hidrográficas encontradas en la zona más aguas arriba en la cuenca del río Cauca (como lo son las SZH de: Ríos Claro y Jamundí, Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga), Ríos Amaime y Cerrito, Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso, Ríos Guadalajara y San Pedro, Ríos Tuluá y Morales y Río Bugalagrande), se encuentra que el pH medido fue mayor o igual en época seca que en la época húmeda en 9 puntos de 16.

Por otro lado, en los puntos medidos en las subzonas hidrográficas encontradas en la zona más aguas abajo en la cuenca del río Cauca (como lo son las SZH de: Río La Paila, Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando, Río La Vieja y Río Otún y otros directos al Cauca), se evidencia que en el periodo hidrológico seco el valor medido de pH fue mayor o igual en 13 de 15 puntos ubicados en estas subzonas.

La totalidad de mediciones realizadas presentan valores de pH en el rango determinado por el decreto 1076 de 2015 (artículo 2.2.3.3.9.5) para el uso agrícola del agua. Para el caso del uso doméstico del agua (artículo 2.2.3.3.9.3, del mismo decreto), si bien no se presentan valores en incumplimiento del rango establecido, se evidencia que los siguientes cuerpos de agua se encuentran en el límite inferior del rango para una o las dos temporadas hidrológicas: río Cauca (PAS-20), quebrada El Pital (PAS-11), quebrada Pan de Azúcar (OC-23 Aguas Arriba) y quebrada NN (Afluente quebrada Cháscara) (PAS-08)

Con respecto a las metas de calidad del agua (Resolución No. 0686 de 2006), se evidencia que la mayoría de cuerpos de agua están por encima del rango establecido. De manera que en época seca el 6.5% de los cuerpos de agua (2 de 32) medidos presenta un pH menor a 6 y en época húmeda es el 12,9% (4 de 31 puntos) presentan esta condición.

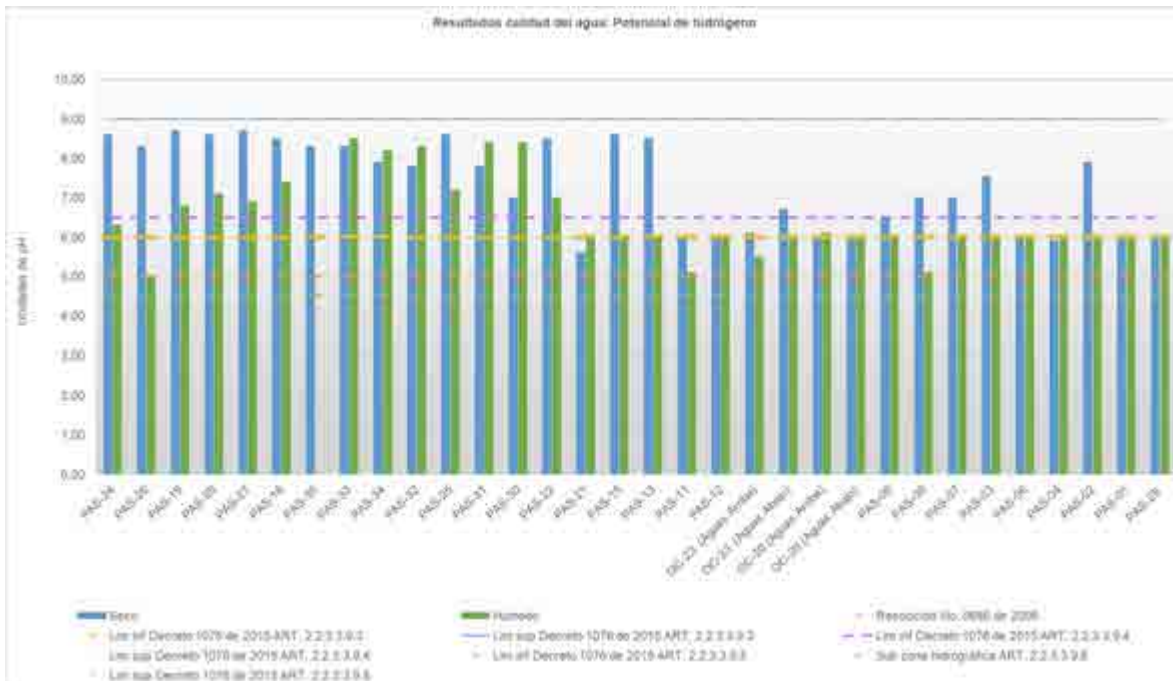


Figura 5. Comportamiento de pH

La acidez se refiere a la presencia de sustancias disociables en agua y que como producto de disociación generan el ión hidronio, como son los ácidos fuertes, débiles y de fuerza media; también la presencia de ciertos cationes metálicos como el Fe (III) y el Al (III) contribuyen a la acidez del agua (Secretaría de Economía, Estados Unidos Mexicanos, 2001).

Los resultados de la acidez total, se presentan en la Figura 6. Para el caso del periodo seco, se encontró que para el 56,3% de los puntos medidos la acidez se reportó por debajo del límite de cuantificación de las pruebas de laboratorio ejecutadas, el cual corresponde a 5 mg/l CaCO<sub>3</sub>. En el periodo húmedo, esta situación se presenta para el 43,8% de los datos.

El valor pico de acidez total en ambos periodos se presenta en el río Párraga (PAS - 27) con valores de 50,2 y 62,4 mg/l CaCO<sub>3</sub> (periodo seco y húmedo respectivamente). Esto



está en coherencia con los resultados de pH. La quebrada Chontaduro (PAS - 28) igualmente presenta valores elevados de acidez (29,3 y 18,1 mg/l CaCO<sub>3</sub> periodo seco y húmedo, respectivamente). No obstante, en este caso el resultado no es coherente con el pH, variable en la cual se obtuvieron resultados cercanos a la neutralidad (7 y 7,1 unidades de pH seco y húmedo respectivamente). Por otro lado, no se evidencian concentraciones elevadas de hierro o aluminio a las cuales se pueda atribuir la acidez. Nótese que ambos cuerpos de agua pertenecen a la unidad hidrográfica del río Párraga, al ser la quebrada Chontaduro un afluente de este río.

Por otro lado en la quebrada La Honda OC-20 (Aguas Arriba) igualmente se identifica un pico en la acidez total, únicamente en el periodo húmedo con un valor de 29,3 mg/l CaCO<sub>3</sub>. Sin embargo, en el punto medido inmediatamente aguas abajo, para el mismo periodo hidroclimático y la misma fecha de muestreo, los valores de acidez total se reportan por debajo del límite de cuantificación.

Para el caso del humedal El Estero, se evidencian picos de acidez (10,4 y 15,4 mg/l CaCO<sub>3</sub> periodo seco y húmedo, respectivamente). Nuevamente se encuentra que el resultado difiere de lo esperado teniendo en cuenta los resultados de pH, variable en la cual se midieron valores mayores a otros cuerpos de agua con menor acidez (6 y 6,3 unidades de pH seco y húmedo respectivamente). Por otro lado, no se evidencian concentraciones elevadas de hierro o aluminio a las cuales se pueda atribuir la acidez.

Se identifica que en la quebrada El Enfado (PAS - 03) para el periodo hidroclimático húmedo se presentan valores de 15,8 mg/l CaCO<sub>3</sub>. Nuevamente se encuentra que el resultado difiere de lo esperado teniendo en cuenta los resultados de pH.

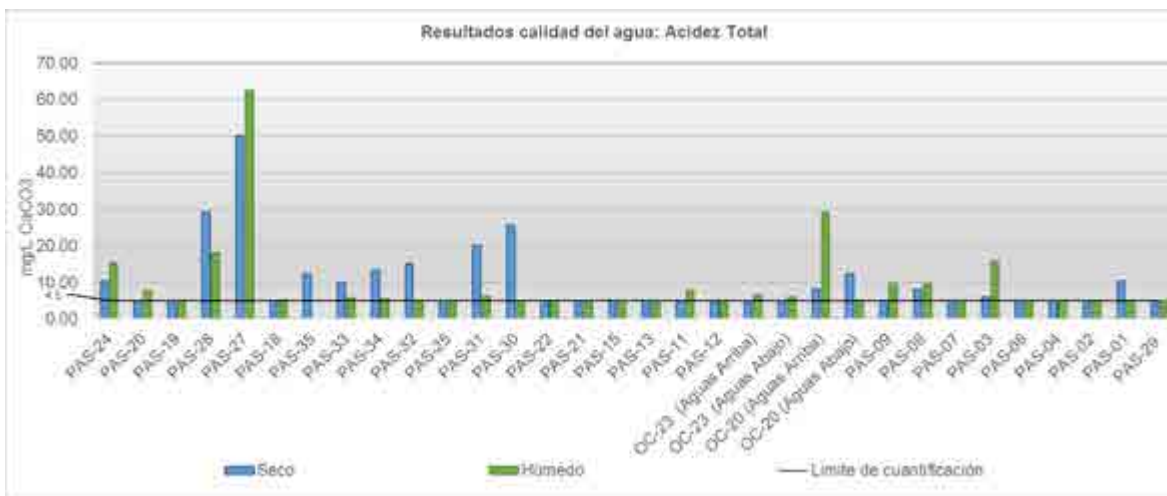


Figura 6. Comportamiento de la Acidez

---

#### 5.1.7.4.2 Iones y Sales disueltas

##### 5.1.7.4.2.1 Alcalinidad, Bicarbonatos y Carbonatos

La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ion hidroxilo, como son las bases fuertes los hidróxidos de los metales alcalinotérreos, los carbonatos y fosfatos (Secretaría de Economía, Estados Unidos Mexicanos, 2001). Dicho de otro modo, es una variable que cuantifica la cantidad de especies alcalinas en el agua y su capacidad para neutralizar ácidos, de manera que es una medida de la capacidad de amortiguación a descensos en el nivel de pH. Más que una condición desfavorable, la alcalinidad atribuye capacidad buffer al agua, cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generan disminuciones del pH (acidificación). De manera opuesta, en el cálculo de índices de contaminación como el ICOMI (índice de contaminación por mineralización), las alcalinidades mayores a 250 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  son consideradas con una calificación de contaminación “Muy alta”.

Los resultados de mediciones de alcalinidad total, se presentan en la Figura 7. Como tendencia general en periodo seco la alcalinidad de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 28,3 a 341 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , con un valor promedio de 133,30 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . En el periodo húmedo la alcalinidad de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de < 5 a 246 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , con un valor promedio de 89,87 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . Se presentó una mayor alcalinidad en tiempo seco que en tiempo húmedo.

El valor pico de alcalinidad total en ambos periodos se presenta en la quebrada Chontaduro (PAS - 28) con valores de 341 y 243 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (periodo seco y húmedo respectivamente). El río Párraga (PAS - 27) igualmente presenta valores elevados de alcalinidad (247 y 217 mg/l  $\text{CaCO}_3$  periodo seco y húmedo, respectivamente). Para estos dos cuerpos de agua igualmente se reportaron valores elevados de acidez, lo cual podría ser un indicador de contaminación inorgánica en los cuerpos de agua. Nótese que ambos cuerpos de agua pertenecen a la unidad hidrográfica del río Párraga, al ser la quebrada Chontaduro un afluente de este río.

Para la quebrada Las Palmas (PAS - 09) y el afluente innominado con código PAS - 08, ambos afluentes de la cuenca del río Los Micos, se identifican picos de alcalinidad en tiempo seco para el primer punto y en ambos periodos para el segundo, en un rango de 237 a 245 mg/l  $\text{CaCO}_3$ ).

Para el caso de la quebrada El Enfado (PAS - 03), afluente de la cuenca hidrográfica del río La Vieja, se encuentra que presenta valores elevados de alcalinidad en época húmeda (211 mg/l  $\text{CaCO}_3$ ) y valores bajos (por debajo del límite de cuantificación) en época húmeda. Situación que es similar para el caso de la quebrada innominada correspondiente al ID PAS - 07 y aportante de la cuenca del río Obando.

Por otro lado, se encuentra que el río Cauca (PAS - 20) presenta valores de alcalinidad cercanos a 30 mg/l  $\text{CaCO}_3$  para las dos épocas hidroclimáticas analizadas.

Para los cuerpos de agua restantes la alcalinidad se presenta en un rango entre 50 y 200  $\text{CaCO}_3$  para las dos épocas hidroclimáticas

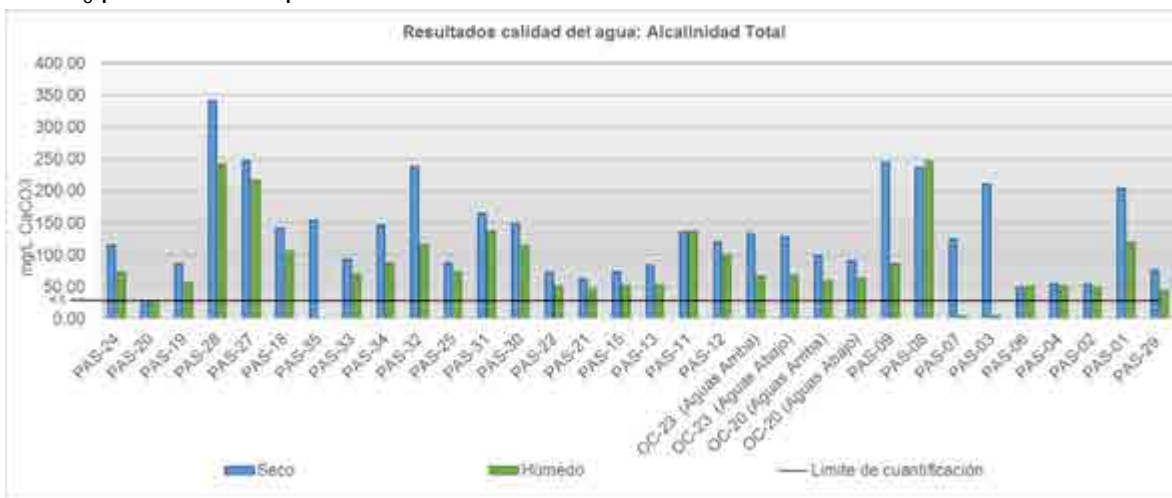


Figura 7. Comportamiento de la Alcalinidad

Las aguas naturales como resultado de la interacción con el  $\text{CO}_2$  atmosférico y la descomposición anaerobia de materia orgánica (que generalmente ocurre en la zona hiporreica de cuerpos de agua) contiene  $\text{CO}_2$  disuelto. La presencia de  $\text{CO}_2$  a su vez genera ácido carbónico, bicarbonatos y carbonatos. Estos elementos (entre otros), confieren alcalinidad al agua.

Típicamente para un pH del agua entre 5 y 7,5 unidades de pH (como los medidos en los cuerpos de agua estudiados) las especies con mayor concentración corresponde al dióxido de carbono y a los bicarbonatos. Por esta razón, es coherente que los resultados de bicarbonatos sean similares a los resultados de alcalinidad total (ver Figura 8).

Para el caso de los carbonatos, 3 mediciones en total se reportan por encima del límite de cuantificación de las pruebas de laboratorio.

Los otros cuerpos de agua para los cuales se reportan las mayores concentraciones de carbonatos entre 10,9 y 21,1 mg/l  $\text{CaCO}_3$  corresponden a la quebrada Pan de azúcar en los puntos medidos aguas arriba y aguas abajo del punto previsto para la solicitud de permiso de ocupación de cauce (OC - 23) y el afluente innominado de la cuenca del río Obando con código PAS - 7).

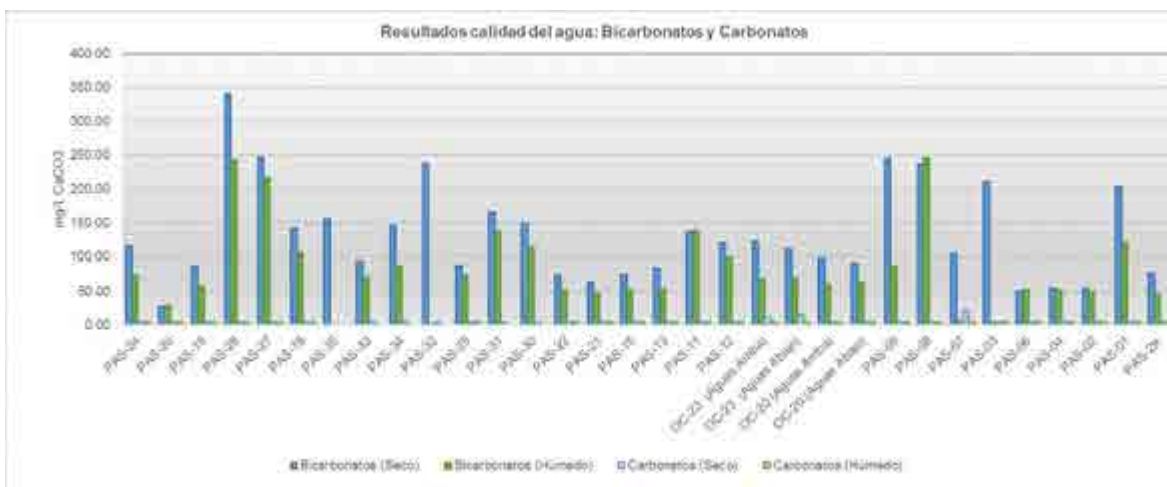


Figura 8. Comportamiento de los bicarbonatos y carbonatos

#### 5.1.7.4.2.2 Dureza total, Calcio y Magnesio

La dureza del agua depende de la cantidad de minerales disueltos en el agua. La dureza total del agua está compuesta en su mayoría por dos partes: la dureza por la presencia de iones de calcio y la dureza por la presencia de iones de magnesio. La medida de ambas durezas corresponde a los contenidos de los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , expresados como miligramos por litro de  $\text{CaCO}_3$ . Los problemas de la calidad del agua con respecto a la dureza se asocian principalmente a que el agua dura no tiene buena calidad para interactuar con productos de limpieza y las aguas con suficiente dureza tienden a producir una película de  $\text{CaCO}_3$  que se forma por la precipitación de este compuesto y esto representa un problema en sistemas de distribución de agua. En términos de dureza las aguas se pueden clasificar como se expone en la Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación del agua según su dureza.

Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Clasificación
D < 60	Blandas
61 < D < 120	Moderadamente dura
121 < D < 180	Dura
D > 180	Muy dura

Fuente: OMS, 2006

Los resultados de dureza total se presentan en la Figura 8. Como tendencia general en periodo seco la dureza total de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de < 7 a 375 mg/l CaCO<sub>3</sub>, con un valor promedio de 117,8 mg/l CaCO<sub>3</sub>. En el periodo húmedo la dureza total de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 37,2 a 339 mg/l CaCO<sub>3</sub>, con un valor promedio de 101,38 mg/l CaCO<sub>3</sub>. Se presentó una mayor dureza total en tiempo seco que en tiempo húmedo.

De acuerdo con los resultados, para los periodos húmedo y seco, en los ríos Cauca (PAS - 20), Guadalajara (PAS - 21) y las quebradas Playa Rica (PAS - 06), quebrada Innominada (PAS - 04) y Grande (PAS - 29), en el periodo húmedo el río Fraile (PAS - 19) y río Guabas (PAS - 22) y en el periodo seco la quebrada Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba), corresponden a aguas del tipo blando al presentar la dureza total menor a 60 mg/l CaCO<sub>3</sub>. La quebrada Pan de azúcar presenta la menor dureza medida en el periodo seco al presentarse valores por debajo del límite de detección.

El valor pico de dureza total en ambos periodos se presenta en la quebrada innominada asociada al punto de muestreo PAS - 08, esta presenta valores de dureza de 375 y 339 mg/l CaCO<sub>3</sub> (periodo seco y húmedo respectivamente). Lo que corresponde a agua muy dura.

La quebrada Chontaduro (PAS - 28) en época seca y el río Párraga (PAS - 27) para ambos periodos también se identifican en la categoría de agua muy dura. Para estos dos cuerpos de agua igualmente se reportaron valores elevados de acidez y alcalinidad total, lo cual podría ser un indicador de contaminación inorgánica en los cuerpos de agua. Nótese que ambos cuerpos de agua pertenecen a la unidad hidrográfica del río Párraga, al ser la quebrada Chontaduro un afluente de este río.

Otros cuerpos de agua identificados en la categoría de agua muy dura son la quebrada Las Palmas (PAS -09) y quebrada El Enfado (PAS - 01). Esta condición se presenta para

el periodo seco, en el periodo húmedo los resultados de dureza total se asocian a la categoría de agua dura.



Figura 9. Comportamiento de la dureza total

A continuación, se analizan las concentraciones de calcio (que se presentan en la Figura 10) y magnesio (que se presentan en la Figura 11), como los principales causantes de la dureza total del agua.

Se observa una coherencia de los resultados de calcio y magnesio total, con los de dureza total. Por ejemplo, la quebrada innominada asociada al punto de muestreo PAS - 08, presenta los mayores valores de dureza, calcio y magnesio total. Esta misma tendencia se extiende al punto de la quebrada Chontaduro (PAS - 28) y el río Párraga (PAS - 27).

En general el aporte del calcio a la dureza total es menor al 70%, con la excepción del punto OC 23 (aguas arriba) asociado a la quebrada Pan de azúcar en el periodo del tiempo seco, para el cual, el calcio corresponde a un 94% de la dureza total. En este orden de ideas el aporte a la dureza total del magnesio es en general menor al 35%, con excepción del punto PAS - 01 (quebrada La Tigra) en el cual el porcentaje de dureza total asociada al magnesio es del 43% en ambos periodos.

Como tendencia general se identifica que la concentración del calcio es menor a 30 mg/l, sin embargo, se presentan excepciones en los puntos que anteriormente se identificaron como problemáticos en cuanto a dureza total. Para la mayoría de los casos se encuentra que el calcio disuelto corresponde a más del 60% del calcio total, lo que implica que gran cantidad de la dureza del agua será permanente. Únicamente para la época seca, se



encuentran puntos en los cuales el calcio disuelto está entre el 50 - 60% del calcio total, estos corresponden al PAS - 20, PAS - 22 y PAS - 13. En estos puntos es posible que el calcio esté precipitado como carbonato de calcio.

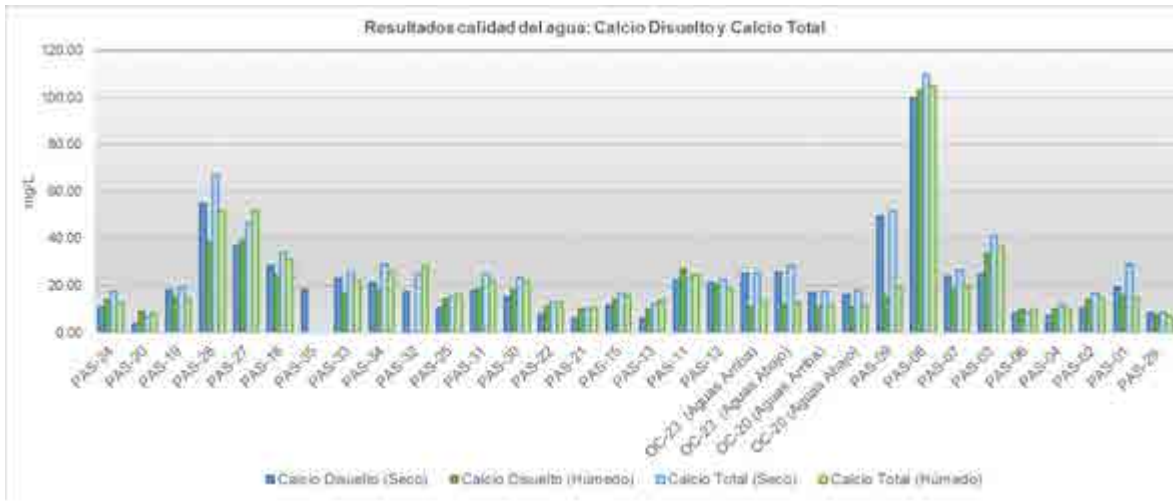


Figura 10. Comportamiento del Calcio

En general para cuerpos de agua superficial naturales, las concentraciones de magnesio se presentan en menor medida que las de calcio. En general se evidencia que los picos de magnesio están asociados a los picos de calcio por ejemplo en la corriente innominada asociada al punto de muestreo PAS - 08, quebrada Chontaduro (PAS - 28) y el río Párraga (PAS - 27). Se evidencia un único punto en el cual la concentración de magnesio supera a la concentración de calcio y corresponde a la quebrada La Tigresa (PAS - 01).

Para la mayoría de los casos se encuentra que el magnesio disuelto corresponde a más del 60% del magnesio total, lo que implica que gran cantidad de la dureza del agua será permanente. Mayoritariamente para la época seca, se encuentran puntos en los cuales el magnesio disuelto está entre el 50 - 60% del magnesio total, estos corresponden al PAS - 20, PAS - 13, PAS - 09, PAS - 04 y PAS - 02. En estos puntos es posible que el calcio esté precipitado como hidróxido de magnesio.

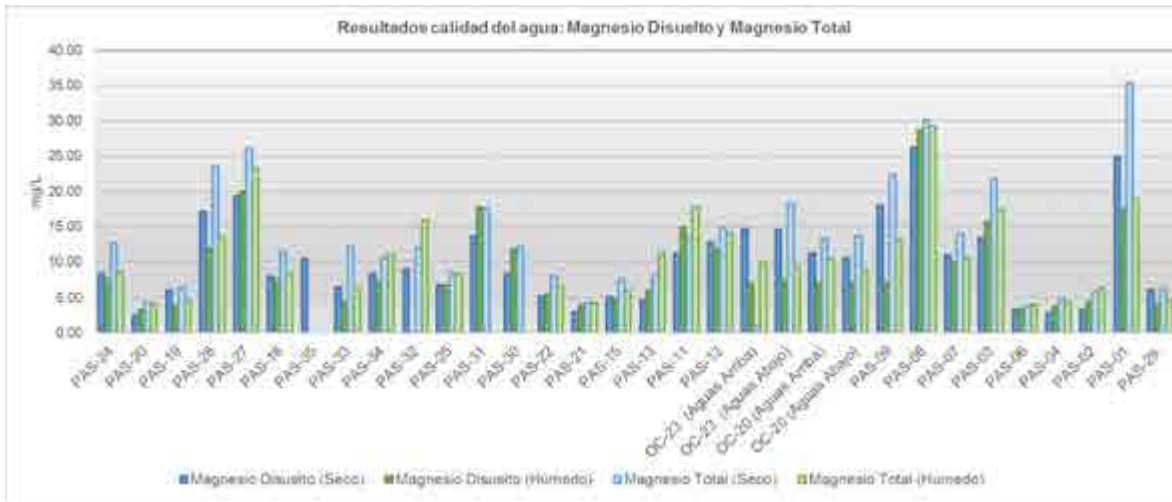


Figura 11. Comportamiento del Magnesio

#### 5.1.7.4.2.3 Sodio

El sodio es un metal alcalino que está presente en el agua en forma de catión. La presencia de este componente en el agua se da por la disolución y arrastre de materiales presentes en el suelo y rocas. Los principales conflictos con la calidad del agua asociados al sodio, es cuando está destinada para riego dado que puede afectar la permeabilidad del suelo y las raíces de las plantas.

Los resultados de mediciones de sodio, se presentan en la Figura 12. Como tendencia general en periodo seco la concentración de sodio total se presenta entre un rango de 4 a 87,7 mg/l, con un valor promedio de 14,47 mg/l. En el periodo húmedo la concentración de sodio se presenta entre un rango de < 4 a 48,4 mg/l, con un valor promedio de 10,23 mg/l. La mayor concentración de sodio total se presentó de sodio en tiempo seco que en tiempo húmedo.

Se presentan valores pico para la concentración de sodio En tiempo húmedo están asociados a la quebrada Chontaduro (PAS - 28) y en tiempo seco a la quebrada innominada asociada al punto de muestreo PAS - 08. Otros puntos en los que se identifican concentraciones de sodio por encima del promedio, corresponden al río Párraga (PAS - 27), la quebrada Pan de Azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo), las quebrada asociada al punto PAS -07, la quebrada Las Palmas (PAS - 09), El Enfado (PAS - 03) y la Tigrera (PAS - 01).

En los puntos en la quebrada El Pital (PAS - 11) y quebrada La Honda (OC - 20 aguas arriba y aguas abajo) la concentración de sodio está entre 10 y 15 mg/l. En los puntos restantes la concentración medida es menor a 10 mg/l y en los puntos del río Cauca (PAS - 20), Guadalajara (PAS - 21), Tuluá (PAS - 15), Bugalagrande (PAS - 13) y quebrada Poleal (PAS - 25) la concentración de sodio en ambos periodos se reportó por debajo del límite de cuantificación de las pruebas de laboratorio.

Se encuentra que para la mayoría de las mediciones el sodio disuelto es mayor al sodio total, esto es coherente dado que todas las sales de sodio son solubles en agua. Únicamente en tiempo seco, para los puntos medidos en El Enfadado (PAS - 03), innominado con código PAS - 04 y el río La Vieja (PAS - 02), se encuentra que el sodio disuelto representa entre el 60 a 65% del sodio total, existiendo así mayor proporción de sodio particulado. Nótese que los tres últimos puntos mencionados hacen parte de la SZH del río La Vieja.

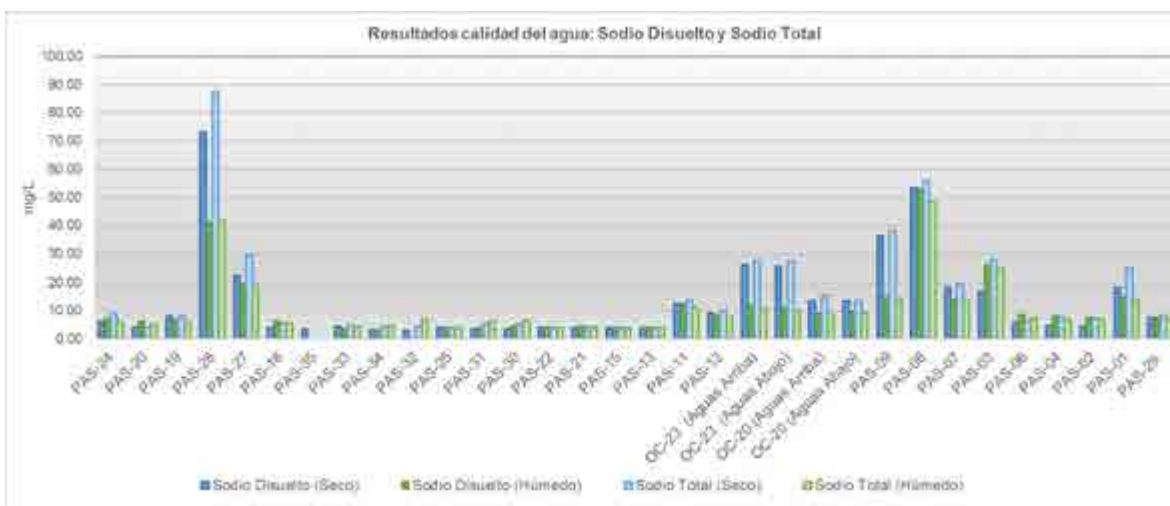


Figura 12. Comportamiento del sodio

Como se mencionó anteriormente, la presencia de sodio es indeseable en el agua de riego dado que afecta la permeabilidad del suelo, a grandes rasgos, esto sucede dado que el sodio es intercambiable en el suelo por otros iones (calcio y magnesio) que forman la estructura granular del suelo. Igualmente, el exceso de sodio genera en el suelo un ambiente anaerobio y concentrado de sales que daña las raíces de las plantas. La Relación de Absorción de Sodio (RAS) es un cálculo a partir de las concentraciones de sodio, magnesio y calcio que estima la tendencia del agua de propiciar la compactación y apelmazamiento del suelo.

En la Figura 13 se exponen los resultados para la RAS en los puntos de monitoreo. Como tendencia general se encuentra que la RAS se encuentra por debajo del límite de cuantificación de las pruebas de laboratorio. Sin embargo, mayoritariamente para la época seca en los puntos en los que se identificaron valores pico de sodio: quebrada Chontaduro (PAS - 28), innominadas asociadas a los puntos de muestreo PAS - 08 y PAS - 07, quebrada Pan de Azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo), Las Palmas (PAS - 09), El Enfado (PAS - 03) y el río Párraga (PAS - 27), se identifican valores entre 0,76 y 2,2. Dado que la conductividad del agua es en todos los casos menor a 0,1 dS/cm (ver Figura 19), esta podría representar una reducción en la tasa de infiltración del suelo al ser empleada para riego.



Figura 13. Comportamiento del Relación de Absorción de Sodio RAS

Otro indicador que permite evaluar el efecto en el suelo con respecto al sodio en el agua destinada a riego es el porcentaje de sodio posible, que evalúa igualmente la posibilidad de sustitución del calcio y el magnesio o por el sodio. Los resultados de porcentaje de sodio posible se presentan en la Figura 14.

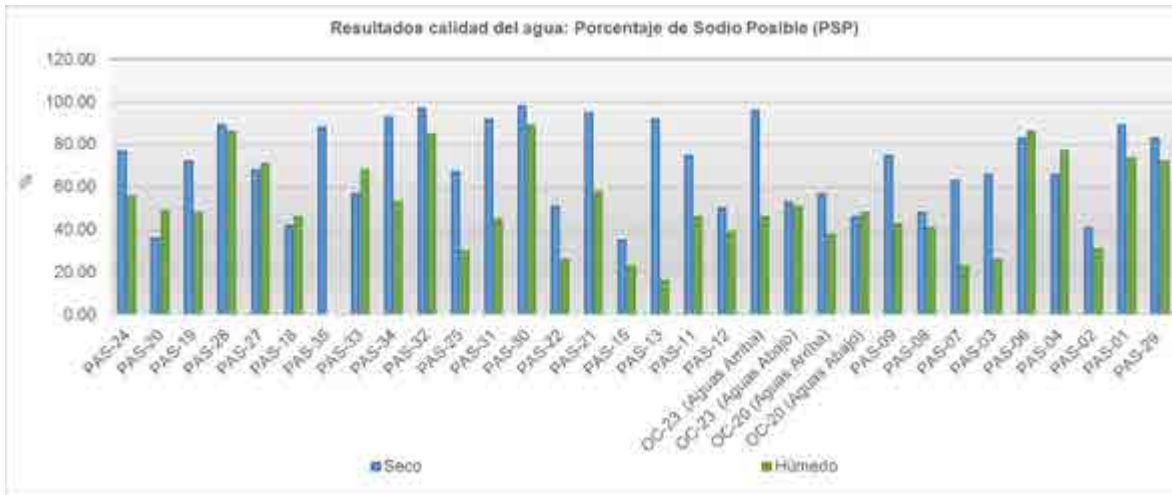


Figura 14. Comportamiento del Porcentaje de Sodio Posible (PSP)

#### 5.1.7.4.2.4 Potasio

El potasio es un metal alcalino que está presente en el agua en forma de catión. La presencia de este componente en el agua se da por la disolución y arrastre de materiales presentes en el suelo y rocas.

En la Figura 15 se presentan los resultados de mediciones de potasio total. Como tendencia general se encuentra que la concentración de potasio total se encuentra por debajo del límite de cuantificación de las pruebas de laboratorio. Sin embargo, en los puntos en los que se identificaron valores pico de otros iones (sodio, calcio, magnesio, etc.): quebrada Chontaduro (PAS - 28), innominada asociada al punto de muestreo PAS - 08, Pan de Azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo), La Honda (OC - 20 aguas arriba y aguas abajo) Las Palmas (PAS - 09), El Enfado (PAS - 03) y el río Párraga (PAS - 27), se identifican valores por encima del límite de cuantificación, en un rango entre 5,21 y 19,2. Nuevamente se identifica la quebrada Chontaduro como la que presenta los valores pico.



Figura 15. Comportamiento del potasio

#### 5.1.7.4.2.5 Fluoruros

Los fluoruros hacen referencia a todos los compuestos orgánicos e inorgánicos que tienen en su estructura en el ión fluoruro (F<sup>-</sup>). Este componente típicamente no ocurre de manera natural en las aguas, sin embargo en procesos de potabilización puede ser añadido como aditivo. La OMS (1993) recomienda que en agua potable, las concentraciones de fluoruros no excedan los 1,5 mg/l.

En la Figura 16 se presentan los resultados de mediciones de concentración de fluoruros. Se encuentra que para la totalidad de mediciones con excepción de La quebrada Chontaduro en periodo seco (PAS - 28), los resultados se presentan por debajo del límite de cuantificación de las pruebas de laboratorio. Esto es coherente dado que los fluoruros no ocurren de manera natural en el agua.



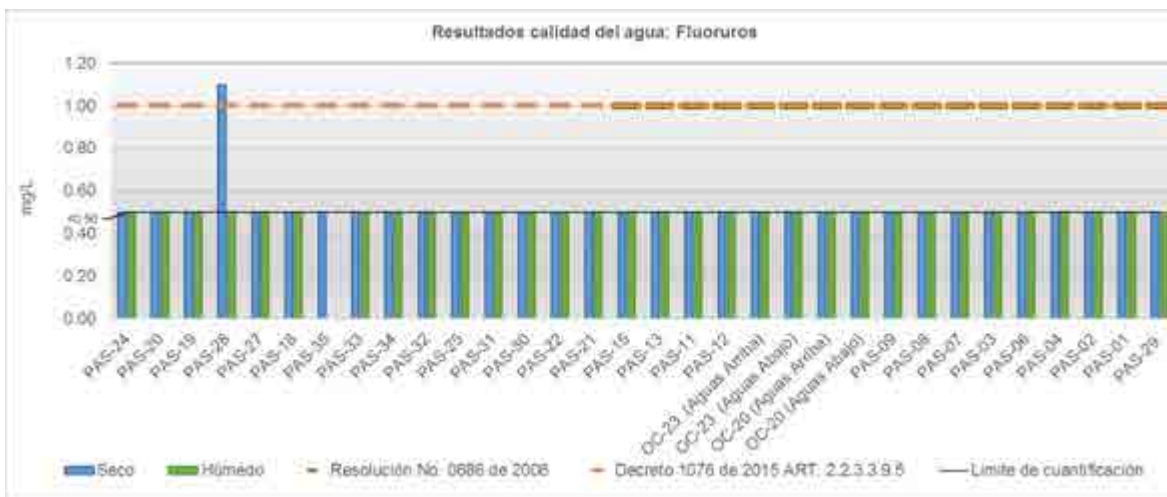


Figura 16. Comportamiento de los fluoruros

#### 5.1.7.4.2.6 Cloruros

Los cloruros son un anión altamente soluble en agua que se presenta en el agua superficial naturalmente, no obstante, en aguas naturales (sin intervención antropogénica) la concentración no suele superar los 50 mg/l. La normatividad para el uso de consumo doméstico (decreto 1075 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.3), establece que los cloruros deben ser como máximo de 250 mg/l. Por otro lado, en los objetivos del agua (Resolución No. 0686 de 2006) únicamente en el tramo II se establece un valor de 250 mg/l.

Los resultados de cloruros se presentan en la Figura 17. Como tendencia general en periodo seco la concentración de cloruros se presenta entre un rango de <0,7 a 101 mg/l, con un valor promedio de 5,75 mg/l. En el periodo húmedo la concentración de cloruros de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de < 0,7 a 43 mg/l, con un valor promedio de 5,45 mg/l. La mayoría de los puntos presentó una mayor concentración de cloruros en tiempo húmedo que en tiempo seco.

La quebrada Chontaduro (PAS - 28), en coherencia con lo encontrado en los resultados de otros iones disueltos), presenta las mayores concentraciones de cloruros de 42 y 101 mg/l, en tiempo húmedo y tiempo seco respectivamente. Si bien estas concentraciones no superan los límites normativos o las metas de calidad del agua, son elevadas con respecto a los otros cuerpos de agua analizados.

Otros cuerpos de agua en las que se observan concentraciones de cloruros alejadas de la tendencia general, son el río Párraga (PAS - 27) para los periodos de seco y húmedo y la

quebrada Las Palmas (PAS - 09) únicamente en el periodo húmedo. Para los demás cuerpos de agua la concentración permanece por debajo de 10 mg/l. En los cuerpos de agua, quebrada Poleal (PAS - 25) y río Guadalajara (PAS - 21), la concentración en tiempo seco, se encuentra por debajo del límite de cuantificación.

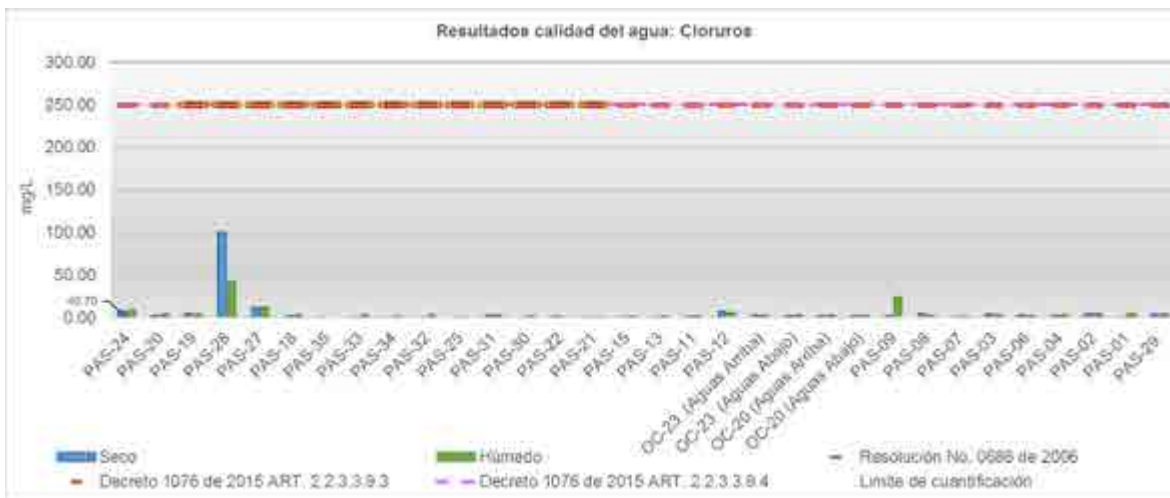


Figura 17. Comportamiento de los cloruros

#### 5.1.7.4.2.7 Sulfatos

Los sulfatos son un anión que está presente en la mayoría de los cuerpos de agua superficial, el azufre es uno de los elementos más comunes en el suelo, siendo esta la proveniencia de las concentraciones en el agua. Los niveles elevados de sulfatos en el agua suelen estar relacionados a actividades antropogénicas y son indeseables en agua destinadas al consumo humano. La normatividad para el uso de consumo doméstico (decreto 1075 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.3), establece que los sulfatos deben ser como máximo de 400 mg/l. Por otro lado, en los objetivos del agua (Resolución No. 0686 de 2006) únicamente en el tramo II se establece un valor de 400 mg/l.

Los resultados de sulfatos se presentan en la Figura 18. Como tendencia general en periodo seco la concentración de sulfatos se presenta entre un rango de 0,8 a 513 mg/l, con un valor promedio de 42,25 mg/l. En el periodo húmedo la concentración de sulfatos de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 2,01 a 214 mg/l, con un valor promedio de 17,32 mg/l. La mayoría de los puntos presentó una mayor concentración de sulfatos en tiempo seco que en tiempo húmedo.

La corriente innominada asociada al punto PAS -08, presenta las mayores concentraciones de sulfatos de 214 y 508 mg/l, en tiempo húmedo y tiempo seco respectivamente. Para el caso del periodo seco, se supera la normatividad nacional asociada al consumo doméstico del agua. Las concentraciones medidas en este punto son elevadas con respecto a los otros cuerpos de agua analizados. Adicionalmente el punto PAS-30 presenta la mayor concentración de sulfatos en época seca con un valor de 513 mg/l.

Se identifica que en los cuerpos de agua quebrada Poleal (PAS - 25), Las Palmas (PAS - 09), Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo), El Enfado (PAS - 03) y la Tigra (PAS - 01), Quebrada Chontaduro (PAS - 28) y los ríos Párraga (PAS - 27) y Bolo (PAS - 18), existen concentraciones de sulfatos entre 20 y 61 mg/l por lo menos en una época climática. Para los demás cuerpos de agua la concentración permanece por debajo de 15 mg/l por lo menos en una época climática.

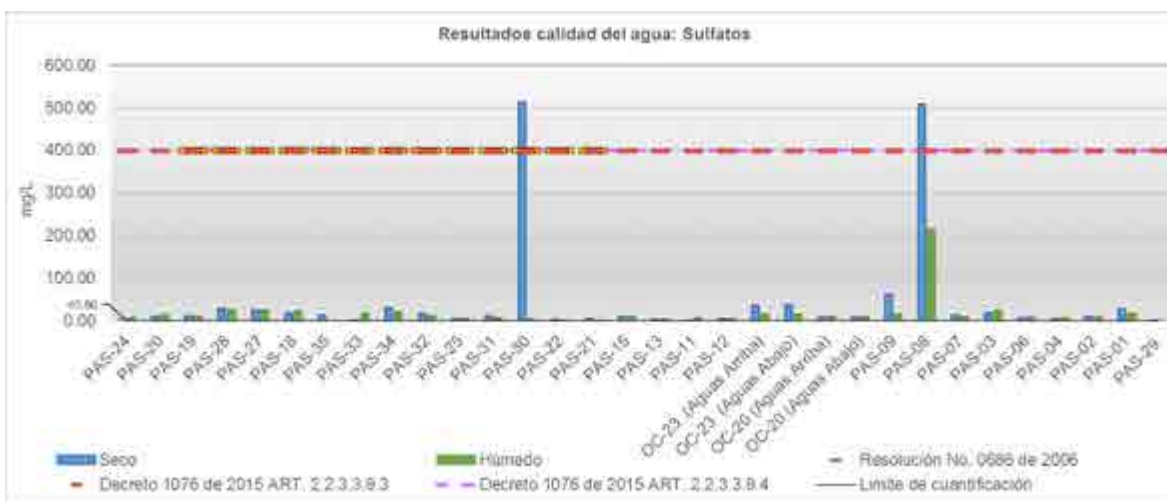


Figura 18. Comportamiento de los sulfatos

#### 5.1.7.4.2.8 Indicadores globales: Conductividad y sólidos disueltos totales

La conductividad eléctrica corresponde a la capacidad del agua de conducir electricidad, está asociada a la cantidad de sales disueltas (aniones y cationes) que presenta el agua. Los principales aniones asociados a la conductividad son los cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, mientras que los principales cationes son el calcio, magnesio, potasio y sodio. Estos iones se presentan naturalmente en el agua de ríos, no obstante, valores muy elevados pueden estar asociados a efectos de actividades antropogénicas.

---

En la normatividad colombiana no se presentan valores límites para la conductividad del agua, no obstante, en agua dulce (superficial) se espera que la conductividad se encuentre en un rango entre 30 y 1500 uS/cm.

Los resultados de conductividad se presentan en la Figura 19. Como tendencia general en periodo seco la conductividad de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 33 a 1.033 uS/cm, con un valor promedio de 286,73 uS/cm. En el periodo húmedo la conductividad de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de 93 a 840 uS/cm, con un valor promedio de 225,97 uS/cm. Se identificó que en 26 de los 31 puntos la conductividad fue mayor en tiempo seco que en tiempo húmedo, lo cual es coherente con los resultados de otras sales disueltas como calcio, magnesio, sodio y sulfatos.

De acuerdo con los resultados de los iones disueltos medidos, se confirma que la quebrada Chontaduro (PAS-28) tenga asociada la mayor conductividad dado que tiene las mayores concentraciones de sodio, potasio, cloruros y fluoruros. Igualmente, en el punto PAS-08 donde se identificaron las máximas concentraciones de calcio, magnesio y sulfatos es coherente con que también tenga una de las mayores conductividades. En coherencia con lo anterior, la quebrada Chontaduro presenta el valor pico de conductividad en tiempo seco y el punto PAS-08 en tiempo húmedo. Del mismo modo, se evidencian conductividades por encima de la tendencia general en los puntos en los cuales se reportaron elevadas concentraciones de otros iones disueltos como el río Párraga (PAS-27), la quebrada El Enfado (PAS-03), la Tigrera (PAS-01) y Pan de azúcar (OC-23).

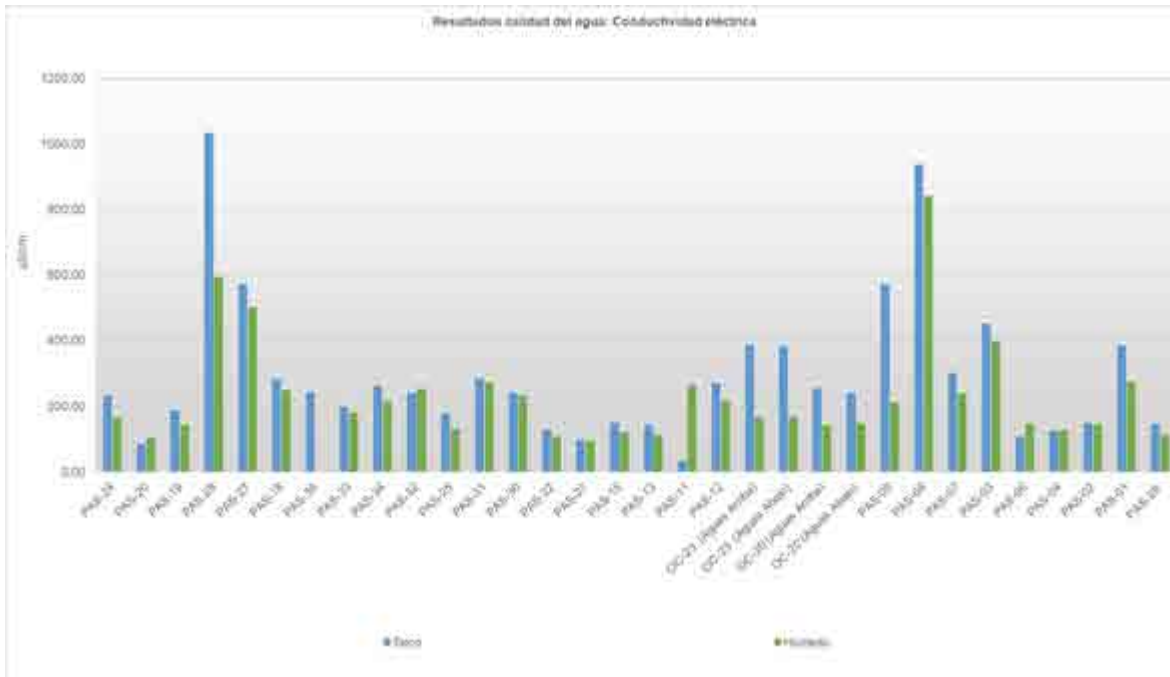


Figura 19. Comportamiento de la conductividad

Los sólidos disueltos totales (SDT) representan la concentración total de sustancias disueltas en el agua, las cuales son principalmente sales inorgánicas y menor medida materia orgánica. De este modo, están estrechamente relacionados con la conductividad.

Los resultados de SDT se presentan en la Figura 20. A diferencia de lo esperado, se encuentra que el valor pico de SDT se presenta en la quebrada innominada asociada al punto PAS - 07 en tiempo seco. En este punto no se registraron las mayores concentraciones de sales disueltas, sin embargo se evidencian concentraciones muy elevadas de nitratos (ver Figura 32) razón a la cual podría ser asociada la medición de SDT.

El punto PAS - 08 y la quebrada Chontaduro (PAS - 28) continúan estando en los valores pico identificados.

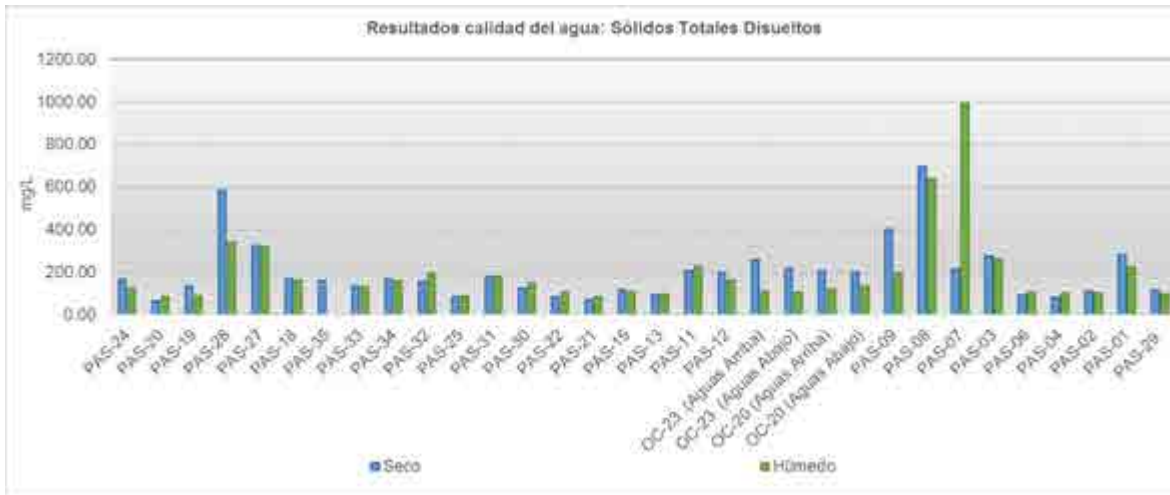


Figura 20. Comportamiento de los sólidos disueltos totales

#### 5.1.7.4.3 Sólidos

##### 5.1.7.4.3.1 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales (SST) corresponden a la cantidad de material particulado que está suspendido en el agua, el cual genera turbidez en la misma. Son un referente para la carga contaminante en cuerpos de agua, no obstante, estos pueden corresponder a la carga sólida que se transporta naturalmente por una corriente de agua. En la normatividad colombiana no se relacionan valores máximos de SST para agua destinada a diferentes usos.

Los resultados de SST se presentan en la Figura 21. Como tendencia general en periodo seco la concentración de SST se presenta entre un rango de <10 a 389 mg/l, con un valor promedio de 41,03 mg/l. En el periodo húmedo la concentración de SST de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de <10 a 488 mg/l, con un valor promedio de 69,79 mg/l. No se evidencia una tendencia clara que diferencie la concentración entre periodo seco y húmedo.

El valor pico se presenta para el periodo húmedo en la quebrada Las Palmas (PAS - 09), como se evidencia en la Fotografía 29 el agua presentó un color blanco y poca transparencia, esto explica las concentraciones resultantes de sólidos suspendidos totales. Por otro lado, para el caso del muestreo en tiempo seco, no se observaron estas



---

condiciones en el agua, de modo que era visible el lecho del cuerpo de agua en este caso la concentración de SST se reportó por debajo del límite de cuantificación.

Por otro lado, para el periodo húmedo se evidenciaron concentraciones pico de SST en el humedal río Cauca (único cuerpo léntico muestreado, PAS - 24), con un valor de 236 mg/l. En periodo seco, si bien la concentración es menor igualmente representa un valor pico (42 mg/l). Las concentraciones de sólidos pueden estar asociadas a que el cuerpo de agua se encontró en los dos muestreos completamente cubierto por plantas macrófitas (ver Fotografía 2) las cuales pueden retener el material particulado en las raíces.

Se identifican concentraciones de 141 y 163 mg/l en el río Cauca (PAS - 20), las cuales son mayores en el periodo seco. Este río es el más caudaloso de los cuerpos estudiados por esto tiene la mayor capacidad de transporte de carga sólida y consecuentemente es coherente que presente elevadas concentraciones de SST. Por otro lado, para el caso del muestreo en tiempo seco, el punto de monitoreo el río Bolo (PAS - 35) presentó una concentración de 389 mg/l.

En los ríos Tuluá (PAS - 15), La Paila (PAS - 12), y quebradas El Pital (PAS - 11), La Honda (OC - 20 aguas arriba y aguas abajo) y Pan de Azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo) se presentan concentraciones entre 61 y 179 mg/l en época húmeda y entre 19 y 83 en época seca.

En los ríos Fraile (PAS - 19), Párraga (PAS - 27) y quebrada Chontaduro (PAS - 28), se presenta una mayor concentración en época húmeda con un rango entre 38 y 56 mg/l que en época seca en la cual la concentración se encuentra entre 14 y 27.

Para el caso del río Bolo y los puntos ubicados en las SZH de los Ríos Amaime y Cerrito, Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso y Ríos Guadalajara y San Pedro (entre el PAS - 18 a PAS - 21 en la Figura 21) los SST se encuentran por debajo del límite de cuantificación.

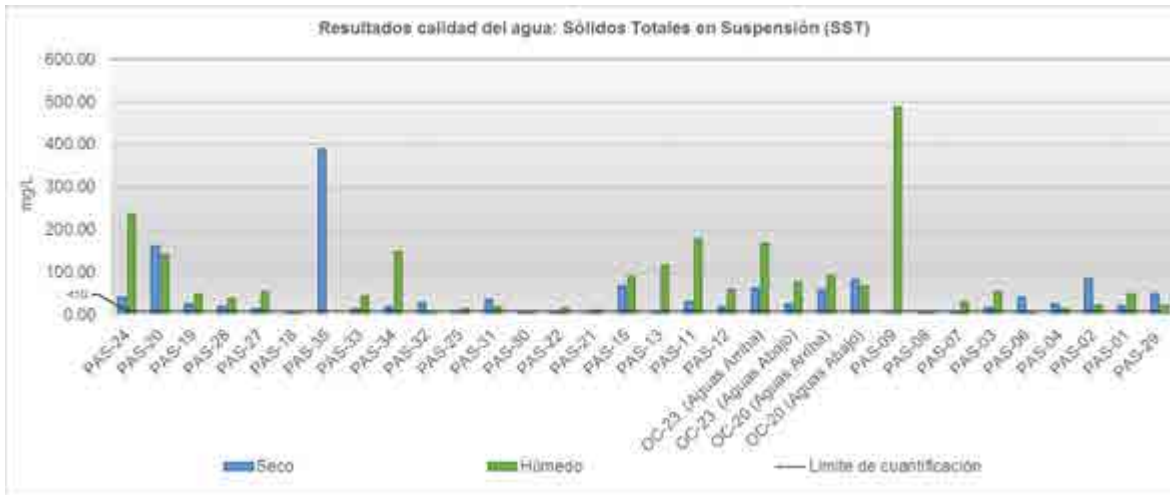


Figura 21. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales

#### 5.1.7.4.3.2 Sólidos totales

Los sólidos totales corresponden a la suma de los sólidos suspendidos totales (fracción particulada de los sólidos) y los sólidos disueltos totales (fracción disuelta de los sólidos), por esta razón es una variable dependiente de las dos variables mencionadas y anteriormente analizadas. Los resultados para sólidos totales se presentan en la Figura 22.

Se observa una coherencia con los resultados anteriormente analizados de modo que los puntos que presentaron los valores pico en SDT como el PAS - 07 o el PAS - 08 en tiempo húmedo y PAS- 28 y PAS - 27 en ambos periodos, igualmente presentan concentraciones elevadas de sólidos totales. Del mismo modo, los puntos que presentaron concentraciones elevadas de SST como el PAS - 09 y el PAS - 24 en tiempo húmedo, también presentan picos en las concentraciones de sólidos totales.

Por otro lado, los puntos que presentaron las mínimas concentraciones de SDT y SST, como el punto PAS - 21 coherentemente reportan la menor concentración de sólidos totales.

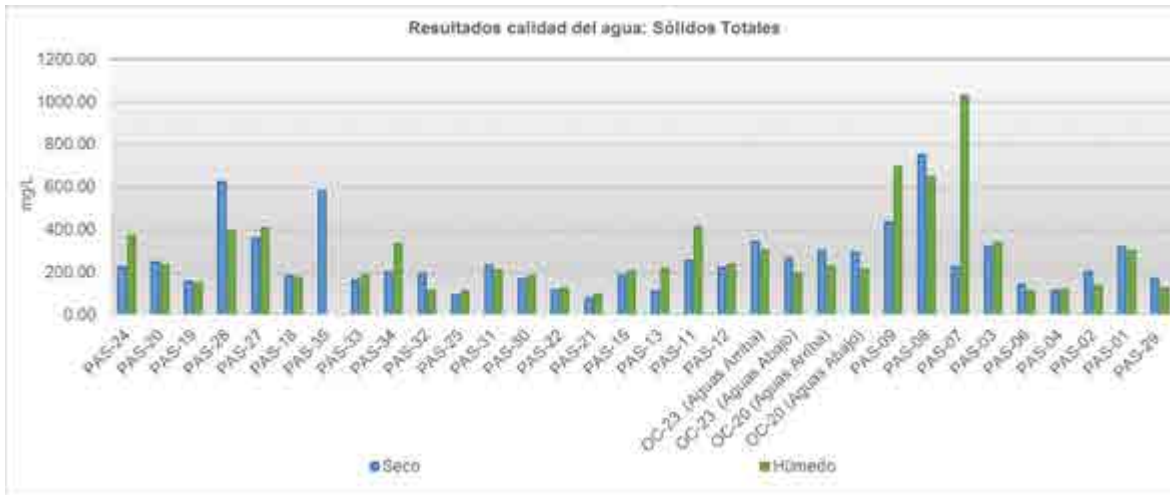


Figura 22. Comportamiento de los sólidos totales

#### 5.1.7.4.3.3 Sólidos sedimentables

Sólidos sedimentables es la cantidad de material que no se mantiene suspendido o disuelto y que sedimenta de un volumen de agua en un período de tiempo. Pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (mL/L), mediante volumetría.

Los resultados se presentan en la Figura 23. Como tendencia general en periodo seco la concentración de sólidos sedimentables se presenta entre un rango de <0,1 a 0,7 ml/l, con un valor promedio de 0,17 ml/l. En el periodo húmedo la concentración de sólidos sedimentables de los cuerpos de agua se presenta entre un rango de < 0,1 a 10 ml/l, con un valor promedio de 0,62 ml/l. Para los puntos que reportan mediciones, en todos los casos la concentración en tiempo húmedo es mayor a la presentada en tiempo seco, lo que es coherente con el arrastre de material del suelo que se produce por la escorrentía asociada al tiempo húmedo.

La mayor concentración de sólidos sedimentables, se presenta para el humedal río Cauca (PAS - 24) en época húmeda, como se explicó anteriormente, en este cuerpo de agua se encontró gran cantidad de macrófitas, las cuales pueden retener material sólido en sus raíces. En este punto igualmente se encontraron concentraciones de sólidos suspendidos totales.

En los cuerpos lóticos la concentración de sólidos sedimentables en general está por debajo de 1 ml/l, con excepción del punto PAS - 7 para época húmeda, en el cual se presenta una concentración de 2 ml/l.

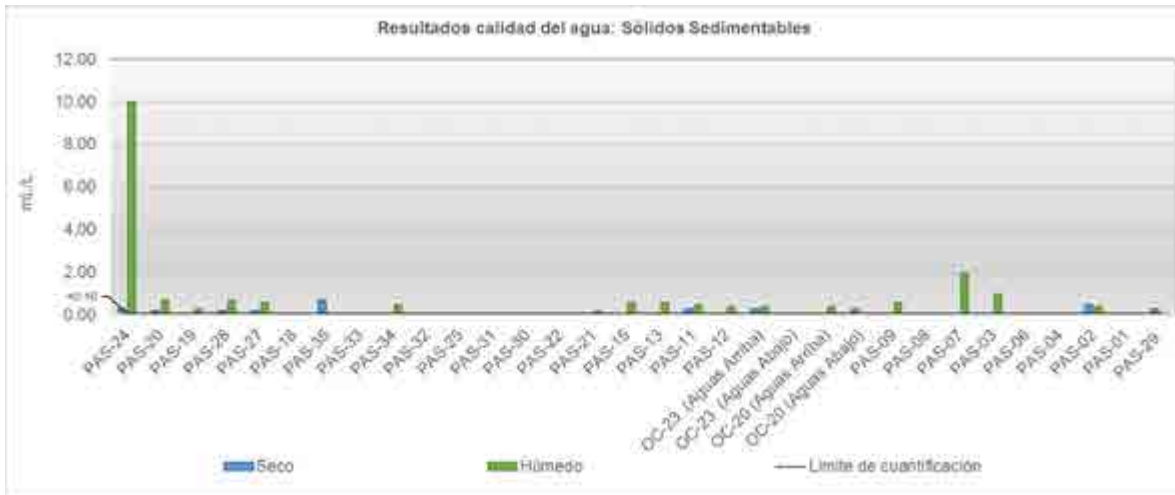


Figura 23. Comportamiento de los sólidos sedimentables

#### 5.1.7.4.4 Color y Turbidez

##### 5.1.7.4.4.1 Turbidez

La turbidez se define como la pérdida de transparencia del agua asociada a la presencia de partículas en suspensión (Universidad de Jaén, 2005). Los resultados de mediciones de turbiedad se presentan en la Figura 24. Dada la asociación de la turbiedad con los sólidos suspendidos, se evidencia una similitud y paralelismo en el comportamiento de ambas variables.

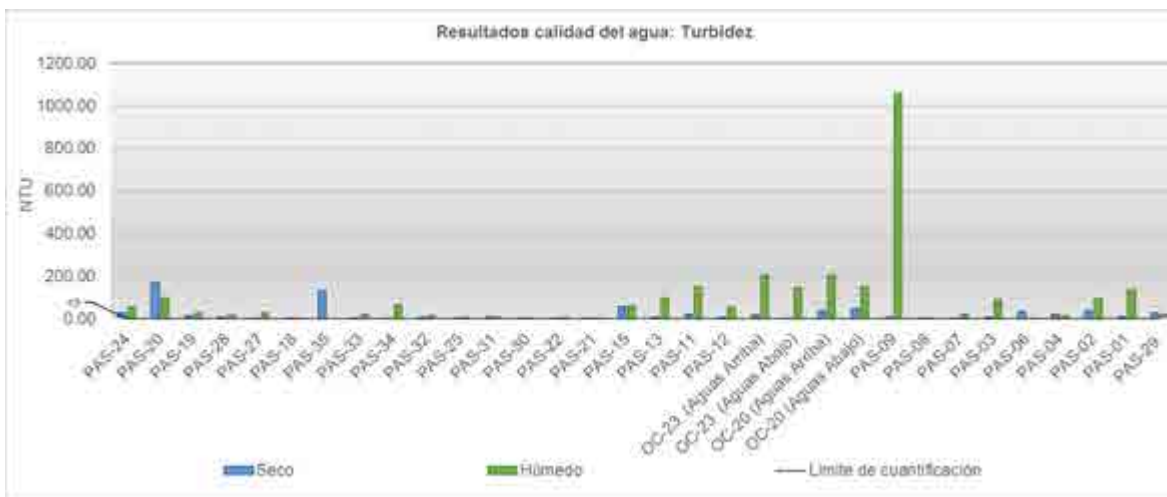


Figura 24. Comportamiento de la Turbidez

#### 5.1.7.4.4.2 Color

El color, está relacionado con las sustancias disueltas (conductividad, sólidos disueltos totales, materia orgánica disuelta) y los sólidos suspendidos totales. El color del agua se debe a la presencia de materia orgánica o ciertos metales como hierro, manganeso o cobre, que se encuentra disuelta o en suspensión (HANNA instruments, 2019).

De acuerdo con la literatura la longitud de onda de 436 nm, estará relacionada al color amarillo, el cual a su vez se asocia a sustancias orgánicas, húmicas y flúvicas (es decir, contaminación orgánica). Para el caso de la medición de color a 525 nm, generalmente asociada al color rojo reflejado por el agua. Por último la medición de color a 620 nm, se asocia al color azul reflejado por el agua, esta y la medición a 525 nm

En la Figura 25 se presentan los resultados de color para el periodo de tiempos seco, en la gran mayoría de los resultados la medición se presenta por debajo del límite de cuantificación en las tres longitudes de onda. Únicamente en la quebrada La Honda (OC - 20 aguas arriba y aguas abajo) y quebrada Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba), se reportan valores de color a 436 nm en un rango entre 4 y 5 m<sup>-1</sup>. Si bien este tipo de color está asociado a presencia de contaminación orgánica o por ARD, en estos puntos no se identifican concentraciones mayores a los otros puntos contemplados de DBO<sub>5</sub>, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo orgánico o coliformes fecales indicadores de la presencia de este tipo de contaminación.

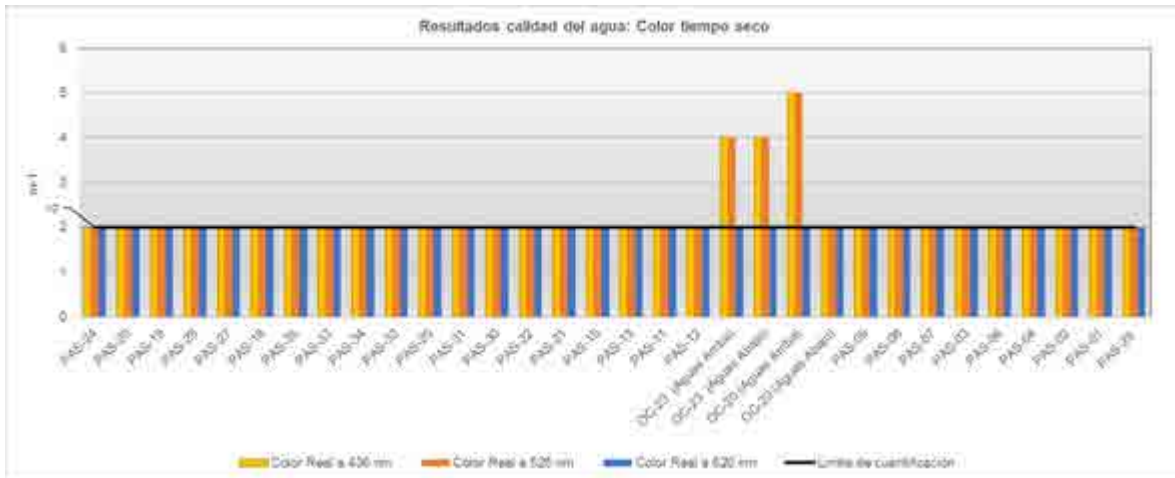


Figura 25. Comportamiento del Color tiempo seco

En la Figura 26, se presentan los resultados en el periodo húmedo. En la gran mayoría de los resultados la medición se presenta por debajo del límite de cuantificación en las tres longitudes de onda. Únicamente en la quebrada La Honda (OC - 20 aguas arriba y aguas abajo), quebrada Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo), quebrada El Enfado (PAS - 03), quebrada La Tigresa (PAS - 01), quebrada El Pital (PAS - 11) y el río Párraga (PAS - 27), se reportan valores de color a 436 nm en un rango entre 3 y 9 m-1. Si bien este tipo de color está asociado a presencia de contaminación orgánica o por ARD, estos puntos no tienen asociadas las mayores concentraciones de DBO<sub>5</sub>, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo orgánico o coliformes fecales indicadores de la presencia de este tipo de contaminación.

Por otro lado, se encuentra que en los puntos en la quebrada La Honda (OC - 20 aguas arriba y aguas abajo) y quebrada Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo) se reportan valores de color a 525 nm entre 3 y 4 nm. Se resalta que en estos puntos se midieron igualmente las mayores concentraciones de hierro total (ver Figura 48), componente que está asociado a una coloración rojiza de las aguas.



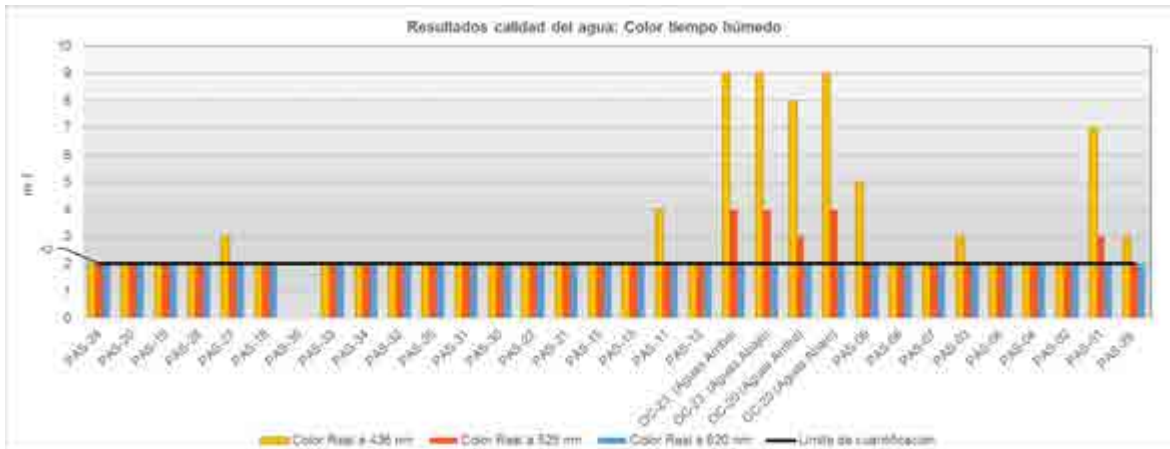


Figura 26. Comportamiento del Color tiempo húmedo

#### 5.1.7.4.5 Oxígeno disuelto y demanda de oxígeno

##### 5.1.7.4.5.1 Oxígeno disuelto y saturación de oxígeno

El oxígeno disuelto en el agua es una característica deseable dado que es indispensable para los ecosistemas acuáticos y mantiene un ambiente aerobio en el medio. La disponibilidad de oxígeno otorga al cuerpo de agua la capacidad de asimilar cargas de materia orgánica (carbonácea o nitrogenácea). En ambientes sin oxígeno se promueven reacciones de reducción que resultan en gases tóxicos como es el ácido sulfhídrico o el gas metano los cuales producen malos olores. La cantidad de oxígeno en un cuerpo de agua se mide en términos de saturación que corresponde al oxígeno disponible respecto al oxígeno máximo que puede contener el cuerpo de agua según sus condiciones de salinidad, temperatura y posición sobre el nivel del mar (oxígeno de saturación). Si bien en la normatividad colombiana no se relaciona un valor mínimo de oxígeno disuelto para agua destinada a usos domésticos, agrícolas o pecuarios, se asigna un valor mínimo de 4 mg/l de oxígeno disuelto para la conservación de la flora y la fauna en cuerpos de agua dulce (artículo 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015). Por otro lado, en los objetivos de calidad del agua (Resolución No. 0686 de 2006) para los tramos I, II, y III, se establecen en 4, 1,2 y 2 mg/L respectivamente.

En la Figura 27 se presentan los resultados de oxígeno disuelto. En general los resultados de oxígeno disuelto se encuentran por encima del mínimo para la conservación de la flora y la fauna de 4 mg/L, con determinadas excepciones. Para la época húmeda el humedal río Cauca (PAS-24) en el cual se presenta una concentración de 1,09 mg/L, la quebrada

Chontaduro (PAS-28) y el río Párraga (PAS-27), en los cuales se presentan concentraciones de 0,56 mg/L y 0,29 mg/L respectivamente, y la quebrada El Enfadado (PAS-03) para la cual se presenta una concentración de 1,57 mg/L. Para el período seco los punto que reportaron valores inferiores a los 4 mg/L fueron (PAS-11), la quebrada Pan de Azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo) con una concentración de 2,66 mg/L y de 3,69 mg/L respectivamente, la quebrada sin nomenclatura (Afluente quebrada Cháscara) (PAS-08) y la quebrada El Enfadado (PAS - 03) con una concentración de 2,15 mg/L.

La concentración medida durante el periodo húmedo fue en la mayoría de los casos mayor a la concentración medida en tiempo seco (en 20 de 31 puntos). Sin embargo, las mediciones en las que la concentración de oxígeno disuelto se encuentra por debajo de las metas de calidad del agua, ocurren mayoritariamente en el periodo húmedo (PAS - 24, PAS-28, PAS-27 y PAS-03) con excepción del punto PAS-08. En los puntos mencionados se identifica un ambiente anaerobio en el sistema acuático.

Para el caso del Tramo III que incluye las SZH del río La Paila, ríos Las Cañas, Los Micos y Obando, río La Vieja y río Otún y otros directos al Cauca durante el período húmedo se presenta en la mayoría de los casos una concentración de oxígeno disuelto mayor o igual a 8 mg/L. Lo anterior se identifica como un valor elevado considerando que la temperatura medida en el agua tiene asociada una concentración entre los 7,0 mg/L y los 7,5 mg/L.

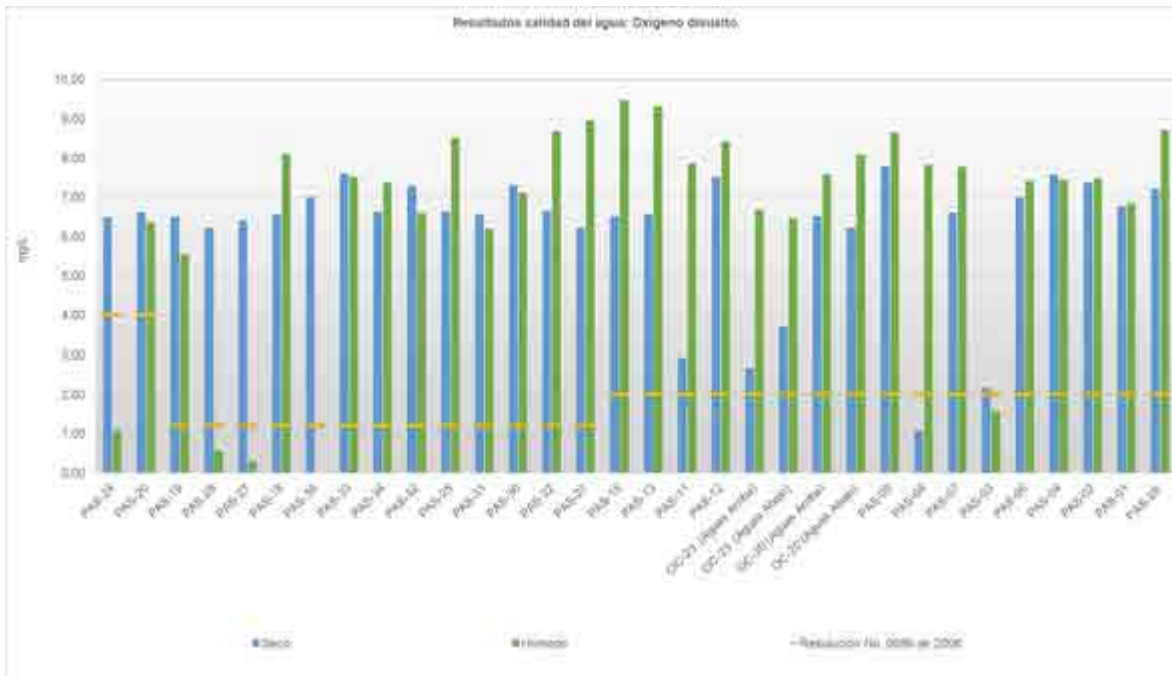


Figura 27. Comportamiento del oxígeno disuelto

---

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto corresponde a la cantidad de oxígeno disuelto en el agua en relación con la máxima cantidad de oxígeno disuelto que el agua podría almacenar, este valor es denominado oxígeno disuelto de saturación. La capacidad de almacenamiento de oxígeno del agua depende (como para el caso de otros gases) principalmente de la temperatura y la elevación sobre el nivel del mar, en el caso del oxígeno, también es influenciado por la salinidad. Es por esta razón que dos cuerpos de agua con la misma concentración de oxígeno disuelto (por ejemplo los puntos PAS- 08 y PAS - 07 en tiempo húmedo) pueden presentar diferentes porcentajes de saturación.

En la Figura 28 se presentan los resultados del porcentaje de saturación. Como primera observación y en concordancia con lo afirmado anteriormente, se encuentra que en 14 de los 16 los cuerpos de agua con concentraciones de oxígeno disuelto mayores a 7,5 mg/L, presentan una sobresaturación de oxígeno (saturación mayor al 100%), esta condición se presenta mayoritariamente en el periodo de tiempo húmedo.

Para el periodo de tiempo seco los resultados de saturación se encuentran mayoritariamente entre el 80 - 100 %, esto corresponde al 81,25% de los puntos, lo que representa un ambiente aerobio en los cuerpos de agua. Para el período húmedo el 41,94% de los puntos presentaron una saturación entre el 80% y el 100%; además en este período el 45,16% presentan una condición de sobresaturación (mayor al 100%).

Se identifica una correlación entre los puntos con saturación menor al 50% y aquellos puntos con una concentración de oxígeno disuelto menor a 4 mg/L.

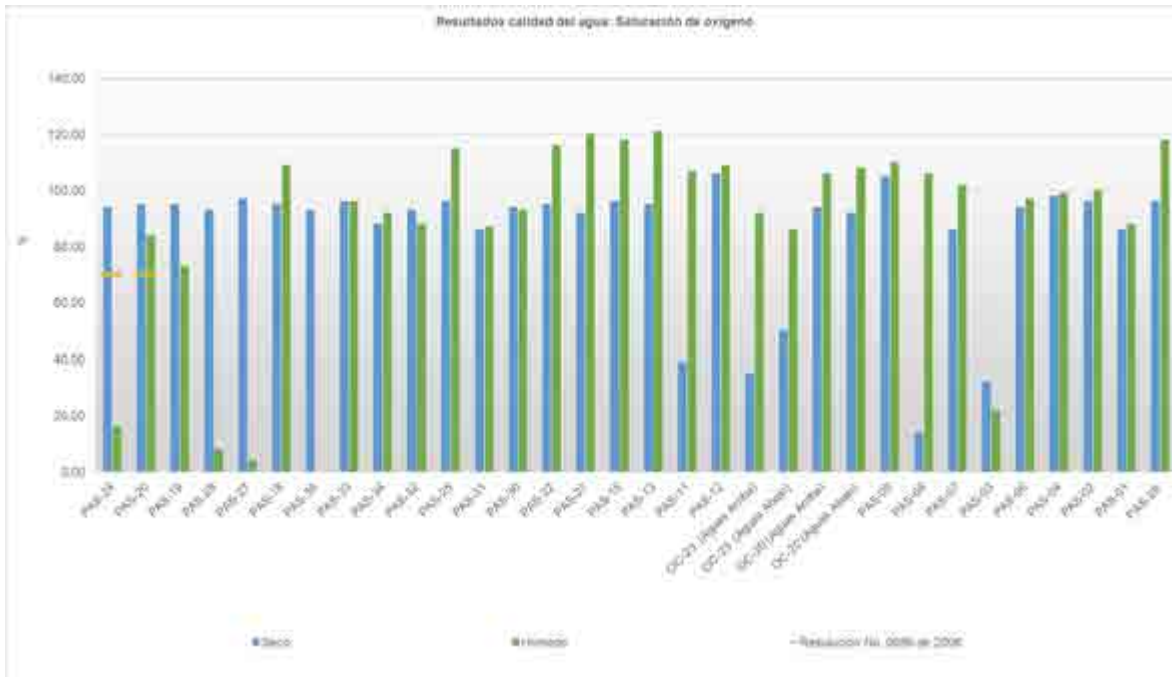


Figura 28. Comportamiento de la Saturación de oxígeno

#### 5.1.7.4.5.2 Demanda bioquímica de oxígeno - DBO

La demanda de oxígeno, es un indicador de la calidad del agua en cuanto al consumo y la potencial disminución de oxígeno disuelto asociada a la carga contaminante presente en el cuerpo de agua. Esta se encuentra representada por la demanda bioquímica de oxígeno (orgánicos) y la demanda química de oxígeno (orgánicos e inorgánicos), esta última se analiza posteriormente. La demanda bioquímica de oxígeno se analiza mediante el indicador  $DBO_5$ , el cual se asocia a la cantidad de oxígeno disuelto requerida para oxidar la materia orgánica carbonácea en condiciones aeróbicas en 5 días y a  $20^{\circ}C$ . Es una indicación indirecta del carbono orgánico biodegradable presente en una masa líquida dada.

Los resultados de concentración  $DBO_5$  se presentan en la Figura 29. Se encontró que para la gran mayoría de los resultados la concentración de  $DBO_5$  se reportó por debajo del límite de cuantificación de las pruebas de laboratorio realizadas. En la mayoría de los casos la concentración en época húmeda fue mayor que en época seca, con excepción del punto en la quebrada El Pital (PAS - 11), en la cual se presenta una concentración de 2,8 mg/l en época seca y  $<2,1$  mg/l en época húmeda.

Se evidencia que la mayor concentración de  $DBO_5$  para ambos periodos se presentó en la quebrada Chontaduto (PAS - 28) y el río Párraga (PAS - 27), con valores entre 9,45 y 27,1 mg/l. Igualmente, se identifican concentraciones pico para el humedal río Cauca (PAS - 24) y la quebrada Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba), para el periodo húmedo con un valor de 14 y 13 mg/l, respectivamente.

Por otro lado, en los puntos de los ríos Cauca (PAS - 20), Fraile (PAS - 19) y Bolo (PAS - 18) y quebradas Pan de azúcar (OC-23 aguas abajo), Las Palmas (PAS - 09), El Enfado (PAS - 03) y La Tigrera (PAS - 01), se reportó una concentración de  $DBO_5$  en el periodo húmedo, en el rango de 3 a 7 mg/l.

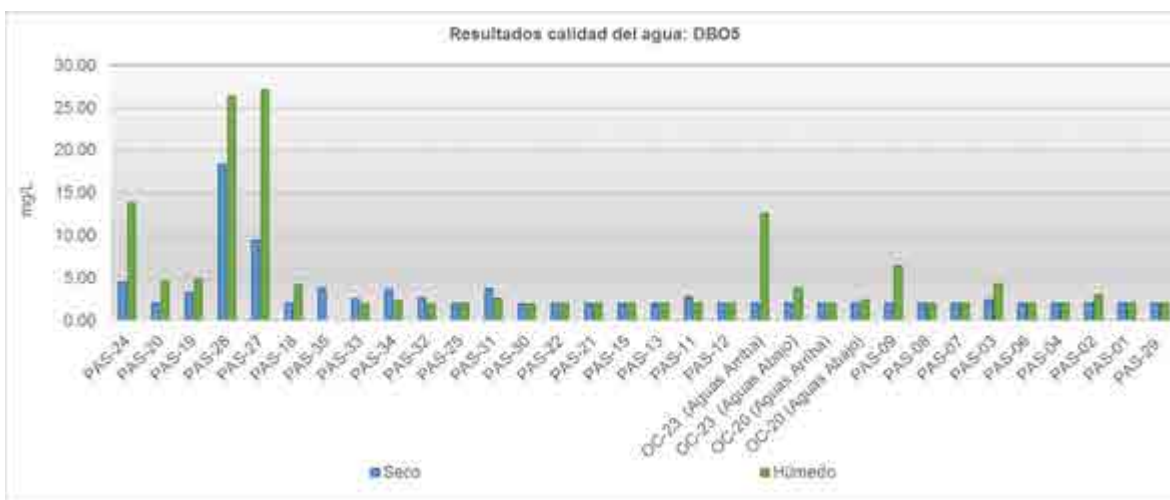


Figura 29. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno

#### 5.1.7.4.5.3 Demanda Química de Oxígeno - DQO

La demanda química de oxígeno se asocia a la cantidad de oxígeno disuelto requerida para oxidar el material susceptible a oxidación química en el agua, puede ser orgánico o inorgánico, por esta razón, siempre será mayor o igual que la demanda bioquímica de oxígeno.

En la Figura 30 se presentan los resultados de DQO. Como tendencia general en periodo seco la concentración de DQO se presenta entre un rango de <10 a 81,1 mg/l, con un valor promedio de 27,5 mg/l. En el periodo húmedo la concentración de DQO se presenta entre un rango de < 10 a 256,9 mg/l, con un valor promedio de 38,63 mg/l.

---

El pico de concentración de DQO se presenta en el río Párraga (PAS - 27) para el periodo húmedo en el cual se presentó un valor de 256,9 mg/l. Si bien a este punto se asocian los picos de DBO<sub>5</sub> en el periodo húmedo, la concentración de DQO es significativamente mayor, esta condición es un indicativo de la presencia de materia orgánica no biodegradable o materia inorgánica: se identifican concentraciones elevadas de manganeso total (ver Figura 50) en este punto, la presencia de manganeso II tiene asociado consumo de oxígeno. Para el periodo de tiempo seco, no se presentan los valores pico en este punto (PAS - 27), la concentración medida es de 51,9 mg/l.

Por otro lado, se encuentra que en los puntos en la quebrada La Honda (OC - 20 aguas arriba y aguas abajo), quebrada Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo) y quebrada El Pital (PAS - 11) y quebrada Las Palmas (PAS - 09), se presentan valores de DQO entre 39 y 74 mg/l, siendo las concentraciones mayores en tiempo húmedo. En estos puntos la DBO se reportó en la mayoría de los casos por debajo del límite de cuantificación. De este modo, los valores de concentración de DQO estarían mayoritariamente asociados a materia inorgánica u orgánica no biodegradable. Se identifican concentraciones elevadas de hierro total (ver Figura 48) en el periodo húmedo estos puntos, la presencia de hierro II tiene asociado consumo de oxígeno.

En el humedal río Cauca (PAS - 24) se reportan valores de DQO de 57 y 75,2 mg/l para periodo húmedo y seco respectivamente. Contrario a lo encontrado con la DBO<sub>5</sub> la concentración de la DQO es mayor en tiempo seco que en tiempo húmedo.

Para el caso de los puntos ubicados en las SZH de los Ríos Amaime y Cerrito, Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso y Ríos Guadalajara y San Pedro y río buga la grande (entre el PAS - 21 y PAS - 13 en la Figura 21) la DQO se encuentran por debajo del límite de cuantificación.



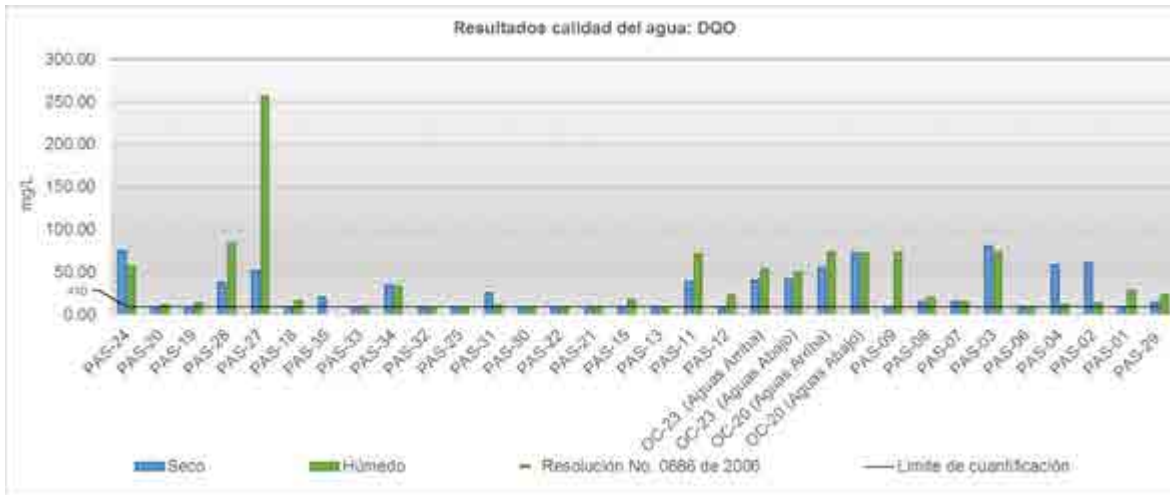


Figura 30. Demanda Química de Oxígeno

#### 5.1.7.4.6 Compuestos de nitrógeno

El nitrógeno en el agua es de interés por ser un nutriente importante con consecuencias ambientales y sanitarias por su presencia en el recurso hídrico. Entre las consecuencias se citan el aumento de acidez, eutrofización y toxicidad de los ecosistemas acuáticos, que afectan la sobrevivencia, crecimiento y capacidad reproductiva de algunos animales.

El nitrógeno se presenta en diferentes especies orgánicas (nitrógeno orgánico) e inorgánicas (nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos). Las especies de nitrógeno son un indicador en la calidad del agua de acuerdo a diferentes factores: Primero el nitrógeno representa un consumo de oxígeno disuelto para realizar procesos de nitrificación, el consumo está asociado directamente al nitrógeno amoniacal e indirectamente al nitrógeno orgánico (el cual se convierte en amoniacal por mineralización), de este modo, ambas especies se han agrupado en el nitrógeno total Kjeldahl (NTK) como un indicador de demanda de oxígeno nitrogenácea. Por otro lado, el nitrógeno es un nutriente esencial en el crecimiento de plantas, por lo cual, en concentraciones elevadas, puede sobreestimar este crecimiento generando el fenómeno conocido como eutrofización, el cual afecta directamente la calidad del agua. Por último, como producto último de los procesos de nitrificación se generan los nitratos, un componente que en altas concentraciones presenta toxicidad.

A continuación, se analizan las diferentes especies de nitrógeno.

---

#### 5.1.7.4.6.1 Nitrógeno total Kjeldahl y nitrógeno amoniacal

En la Figura 31 se exponen los resultados de NTK y nitrógeno amoniacal. Se encontró que para la mayoría de puntos, en periodo húmedo y seco la concentración de nitrógeno amoniacal se reportó por debajo de los límites de cuantificación que corresponden a 0,3 mg/l. Únicamente en tres puntos se reportaron concentraciones de nitrógeno amoniacal por encima de los límites de cuantificación, esta condición se presentó en los dos periodos climáticos:

La mayor concentración de nitrógeno amoniacal, se presentó en la quebrada Chontaduro (PAS - 28) con valores de 3 y 4 mg/l. Por otro lado, en el humedal río Cauca (PAS - 24) se presenta una concentración de 0,9 y 3 mg/l. Por último en la quebrada El Enfado (PAS - 03) la concentración es de 0,4 y 0,7 mg/l. En los tres casos en el periodo seco se presentó la mayor concentración.

Por otro lado, para el NTK (que es la suma de nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico) se encuentra que en la gran mayoría de puntos, la concentración está igualmente por debajo del límite de cuantificación que corresponde a 5 mg/l. Sin embargo, principalmente en las SZH ubicadas más aguas arriba en la cuenca del río Cauca se presentan concentraciones de NTK.

El valor pico en tiempo húmedo se presenta en el río Párraga (PAS - 27) con un valor de 11,4 mg/l. Dado que en estos dos cuerpos de agua no se reportaron valores de nitrógeno amoniacal, la presencia de NTK está asociada a nitrógeno orgánico. La tendencia de esta especie de nitrógeno en el agua es mineralizarse en su especie inorgánica, por esta razón, se concluye que los aportes de esta especie son recientes y no han estado en el agua el tiempo suficiente para sufrir asimilación por transformación. Esta situación se presenta igualmente en los ríos, Bolo (PAS - 18), Guadalajara (PAS - 21), Tuluá (PAS - 15) y Bugalagrande (PAS - 13).

Para la quebrada Chontaduro (PAS - 28), y el humedal río Cauca (PAS - 24) se presenta que el nitrógeno amoniacal representa entre un 12 a 76% del NTK, esto implica que el nitrógeno orgánico ha estado en el agua suficiente tiempo para sufrir procesos de hidrólisis (o mineralización) o que existen fuentes de contaminación de nitrógeno amoniacal.

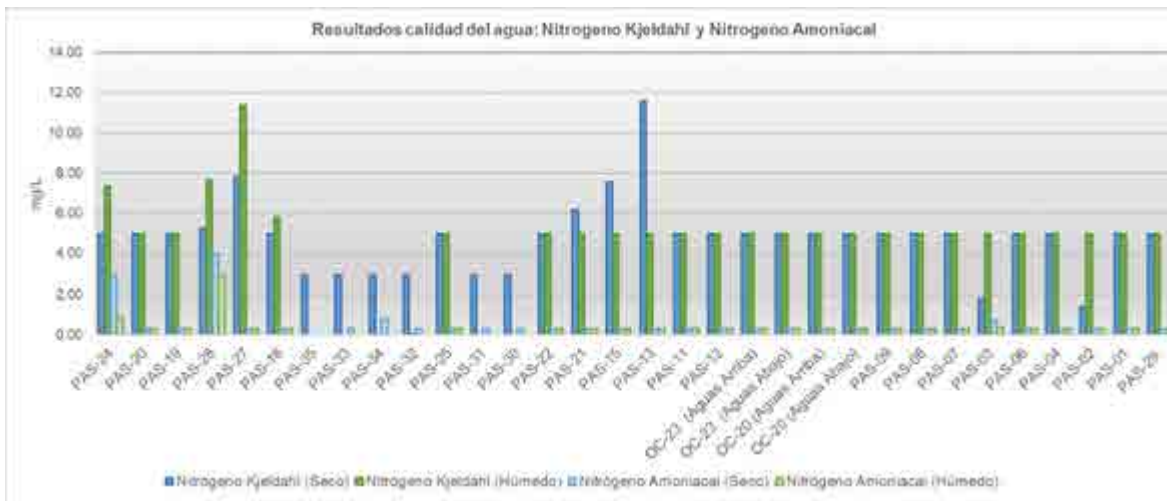


Figura 31. Comportamiento del NTK y amoniacal

#### 5.1.7.4.6.2 Nitratos y nitritos

En la Figura 32 se presentan los resultados de mediciones de nitratos y nitritos. Los nitritos, una especie intermedia en el proceso de nitrificación, y los nitratos especie final de este proceso, son un indicativo de que está ocurriendo oxidación del nitrógeno en el agua. Igualmente, se asocian a aportes de carga contaminante puntuales o difusos de estos componentes. La normatividad para el uso de consumo doméstico (decreto 1075 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.3), establece que los nitritos deben ser como máximo de 1 mg/l y los nitratos 10 mg/l. Por otro lado, en los objetivos del agua (Resolución No. 0686 de 2006) únicamente en el tramo II se establece un valor para los nitratos de 10 mg/l.

El único punto en el cual se presenta un conflicto con los valores máximos permisibles para consumo doméstico es el punto PAS - 07. En este punto se reporta una concentración de nitratos de 60 mg/l, únicamente en el periodo húmedo. Dado que no se reportaron valores por encima del límite de cuantificación de nitritos, nitrógeno amoniacal o NTK, es posible que la concentración de nitratos provenga de un aporte puntual de este componente y no de la transformación de otras especies de nitrógeno.

Por otro lado, la concentración pico de nitritos, corresponde a 0,87 mg/l y se presentó en el periodo seco en la quebrada El Enfado (PAS - 03). En este punto igualmente se reportan las mayores concentraciones en tiempo húmedo las cuales corresponden a 0,079 mg/l. La presencia de esta especie de nitrógeno que corresponde a un producto de la oxidación de su forma inorgánica más reducida (nitrógeno amoniacal), da soporte al

análisis realizado anteriormente: la contaminación por nitrógeno es antigua y ha tenido tiempo para asimilarse por transformación en el cuerpo de agua. La presencia de nitritos se evidencia igualmente en la quebrada Chontaduro (PAS - 28) y el humedal río Cauca (PAS - 24), puntos para los cuales se generó un análisis similar. En ninguno de los tres puntos se presentan valores de nitratos por encima del límite de cuantificación.

Por otro lado, en los ríos Párraga (PAS - 27) y Bolo (PAS - 18) se presentaron concentraciones de nitritos y nitratos por encima del límite de cuantificación. Retomando el análisis realizado para el NTK, se encontró que existía la presencia de nitrógeno orgánico más no de nitrógeno amoniacal, de este modo, las especies de nitrógeno encontradas pueden ser un indicativo de tasas altas de nitrificación y bajas de mineralización o aportes puntuales de fuentes contaminantes de nitrógeno orgánico, nitritos y nitratos.

Para el caso del Río Fraile (PAS - 19) y la quebrada Las Palmas (PAS - 09), se reportan concentraciones de nitritos y nitratos por encima del límite de cuantificación. Dado que en estos ríos no se reportaron concentraciones de nitrógeno orgánico o amoniacal, es posible que la presencia de las formas oxidadas de nitrógeno corresponde a aportes aguas arriba de NTK (que han sido transformadas de acuerdo con el ciclo del nitrógeno hacia aguas abajo) o a aportes puntuales de nitratos y nitritos. Este análisis es igualmente aplicable a los ríos Cauca (PAS - 20), Bolo (PAS - 18), Guabas (PAS - 22), Las Paila y la Vieja (PAS - 02) y las quebradas Poleal (PAS - 25), Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba y abajo), La Honda (OC - 20 aguas arriba y abajo), Playa Rica (PAS - 09) y La Grande (PAS - 29).

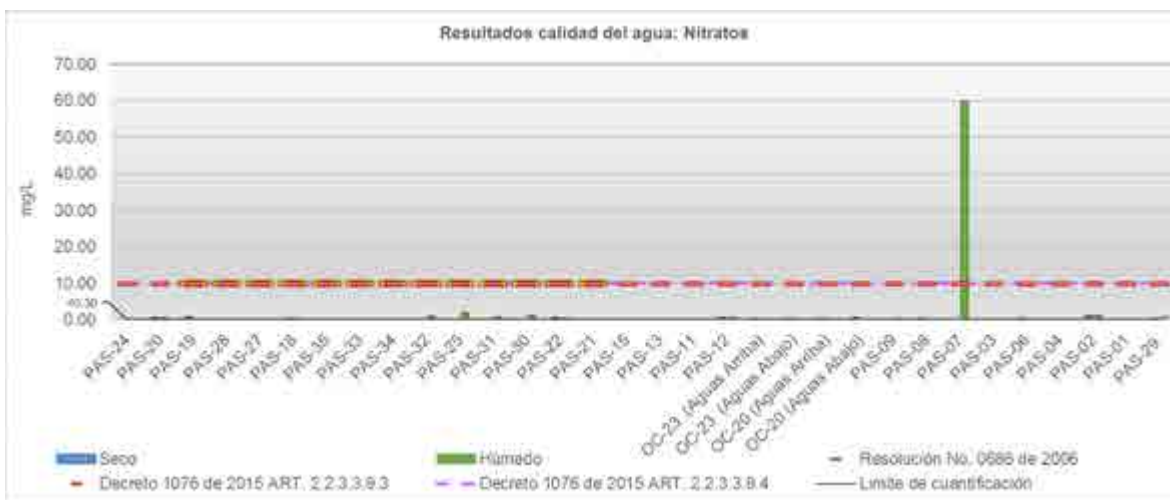


Figura 32. Comportamiento de nitratos

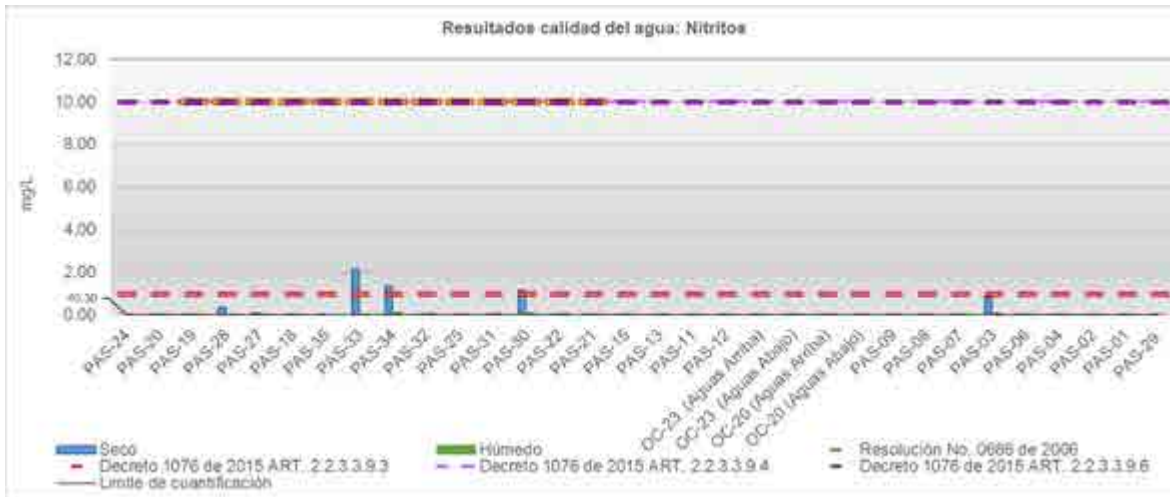


Figura 33. Comportamiento de nitritos

#### 5.1.7.4.7 Compuestos de fósforo

El fósforo desde la perspectiva de la calidad del agua superficial es importante dado que en ambientes naturales generalmente es escaso, por lo cual, es un nutriente limitante para el crecimiento de plantas. No obstante, es incluido en las aguas como producto de actividades antropogénicas (por ejemplo residuos de detergentes) y cuando se encuentra en altas concentraciones en el agua puede causar el fenómeno de eutroficación. En general se emplea el índice ICOTRO (índice de contaminación por trofia) para clasificar la calidad del agua de acuerdo a la cantidad de fósforo total presente en esta.

El fósforo total, está compuesto por el fósforo orgánico e inorgánico, como en el caso del nitrógeno, las especies orgánicas sufren mineralización o hidrólisis para transformarse en inorgánicas. Para el caso del fósforo orgánico, este puede ser particulado; fósforo presente en organismos vivos así como en detritos orgánicos, o no particulado; compuestos disueltos o coloidales que se derivan de la descomposición del fósforo orgánico particulado. Por otro lado, el fósforo inorgánico también puede ser particulado; tipo al cual corresponden los minerales de fosfato, el fosfato asociado con sólidos y los ortofosfatos en sorción con sólidos. Adicionalmente, se presenta la especie de fósforo reactivo soluble, también llamado como ortofosfatos; este es el único tipo de fósforo que está disponible para el crecimiento de las plantas. Por último el fósforo inorgánico puede ser del tipo no particulado; al cual se asocian los fosfatos condensados como los que se presentan en los detergentes.

Los resultados de fósforo total, se presentan en la Figura 32. La concentración pico se presenta en la mayoría de los puntos para el periodo seco.

Se identifican 6 puntos que presentan los valores pico de fósforo total, en estos la concentración es mayor a 0,94 mg/l correspondiente a La Quebrada Chontaduro (PAS - 28), río Párraga (PAS - 27), quebrada El Pital (PAS - 11), río La Paila (PAS - 12), quebrada Las Palmas (PAS - 09) y innominado asociado al punto PAS -08.

Para los 6 cuerpos de agua mencionados, en periodo húmedo, únicamente la quebrada Chontaduro (PAS - 28), sobrepasa la concentración de 1 mg/l. En el caso del río Fraile y quebrada Las Palmas la concentración es de 0,8 y 0,7 mg/l, respectivamente. En los tres cuerpos restantes la concentración en tiempo húmedo es menor a 0,2 mg/l, por lo cual, el valor pico se asocia únicamente al periodo seco.

Por otro lado, en los cuerpos de agua, humedal río Cauca (PAS - 24), río Cauca (PAS - 20), río Fraile (PAS - 19), río Guabas (PAS - 22), quebrada Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo), quebrada La Honda (OC - 20 aguas arriba y aguas abajo), quebrada El Enfado (PAS - 03), innominada (PAS - 04), río La Vieja (PAS - 02), La Tigrera (PAS - 01), Grande (PAS - 29) y (PAS - 35) la concentración de fósforo total se encuentra entre 0,11 y 0,43 mg/l.

Para los puntos restantes, la concentración se presenta por debajo del límite de cuantificación.

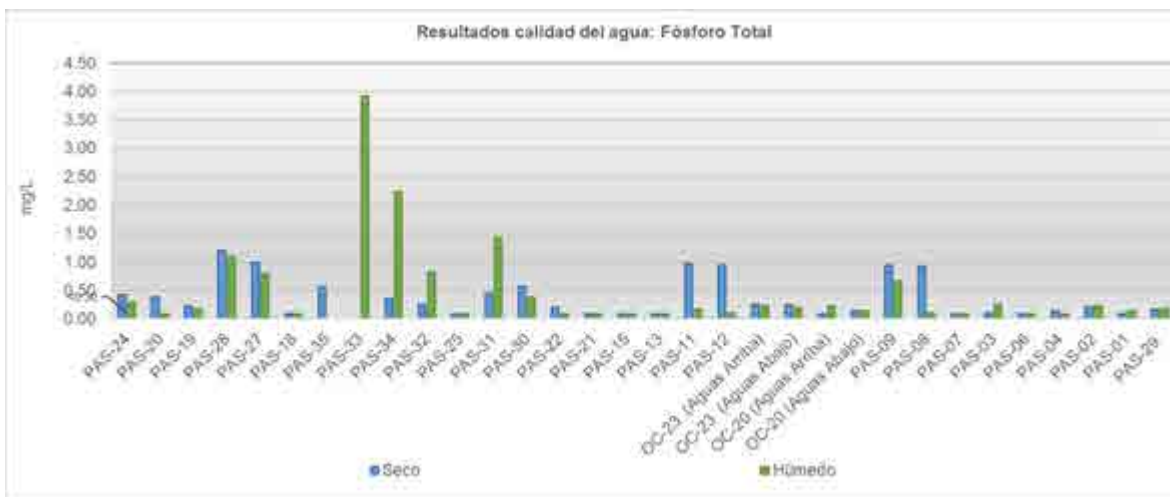


Figura 34. Comportamiento del fósforo total



---

Las proporciones de fósforo total asociadas a fósforo orgánico e inorgánico se presentan en la Figura 35. Nótese que la técnica de medición para fósforo orgánico e inorgánico, presenta un menor límite de detección (0,02 mg/l) al de la técnica empleada para medir fósforo total (0,1 mg/l). De este modo, en puntos en los cuales el fósforo total se presentó por debajo del límite de cuantificación, se pueden calcular concentraciones de fósforo total a partir de las especies inorgánicas y orgánicas, como es el caso de los ríos Bolo (PAS - 18), Guadalajara (PAS - 21) y Bugalagrande (PAS - 13) entre otros.

Se encuentra que en el humedal río Cauca (PAS - 24) la totalidad del fósforo total, corresponde a fósforo orgánico, esto es coherente dado que este tipo de fósforo se asocia a plantas vivas, animales, bacterias y detritos. El espejo de agua del humedal estaba completamente cubierto por macrófitas.

Otros cuerpos de agua en los cuales se identifica que el fósforo orgánico corresponde a más del 70% del fósforo total son el río Cauca (PAS - 20), Fraile (PAS - 18), Guabas (PAS - 22), Guadalajara (PAS - 21), Tuluá (PAS - 15), quebrada Las Palmas (PAS - 09) y El Enfado (PAS - 03). Para los cuerpos de agua en los que la concentración de fósforo total es baja ( $< 0,1$  mg/l), puede que esta esté asociada al ecosistema del río (algas y bacterias), cuando se presentan mayores valores la concentración de fósforo puede estar asociada a ARD (caso por ejemplo del río Fraile y Cauca).

Se encuentra que el fósforo inorgánico está en mayor proporción que el fósforo orgánico en el siguiente punto: en ambas épocas en el río Párraga (PAS - 27) el fósforo inorgánico es el 70% del fósforo total, y en época húmeda la quebrada Chontaduro (PAS - 28) y el río Bolo (PAS - 18) en los cuales la proporción de fósforo inorgánico es del 60%. Para estos dos cuerpos de agua la proporción de fósforo inorgánico en tiempo seco es menor al 20%, lo cual es un indicativo de la diferencia de aporte de carga contaminante entre ambas épocas.

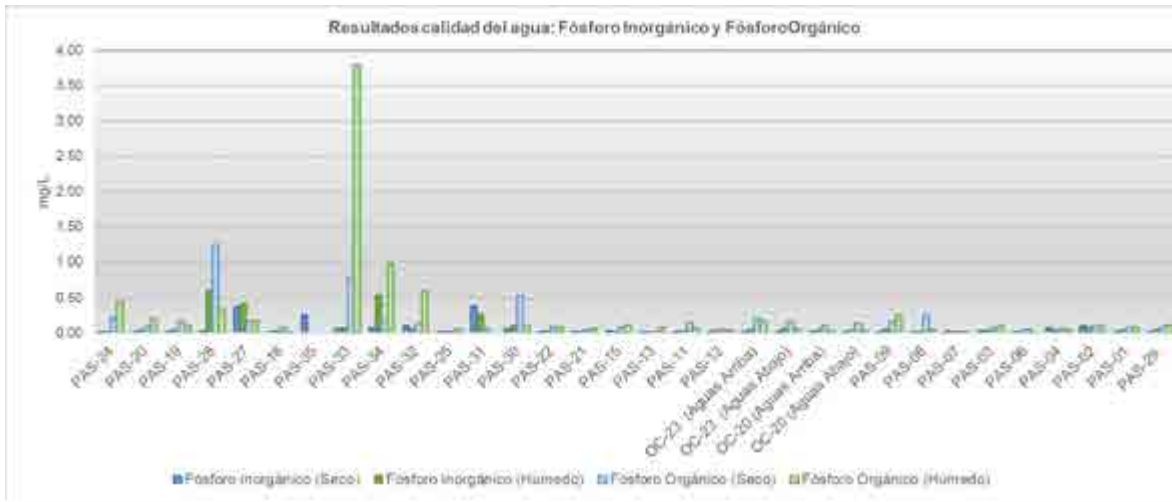


Figura 35. Comportamiento del fósforo orgánico e inorgánico

Por último los resultados de los fosfatos se presentan en la Figura 36. Se debe resaltar que si bien la totalidad del fósforo inorgánico corresponde a especies de fosfatos, no todos los fosfatos son especies inorgánicas, existiendo igualmente fosfatos orgánicos (como el ácido fosfórico). Para la mayoría de resultados de fosfatos el resultado se establece por debajo del límite de cuantificación de las pruebas de laboratorio. Se resaltan los picos en tiempo seco en los puntos PAS - 11, PAS -12 y PAS -08 y en tiempo húmedo en los puntos PAS - 28, PAS - 09 y PAS - 03.

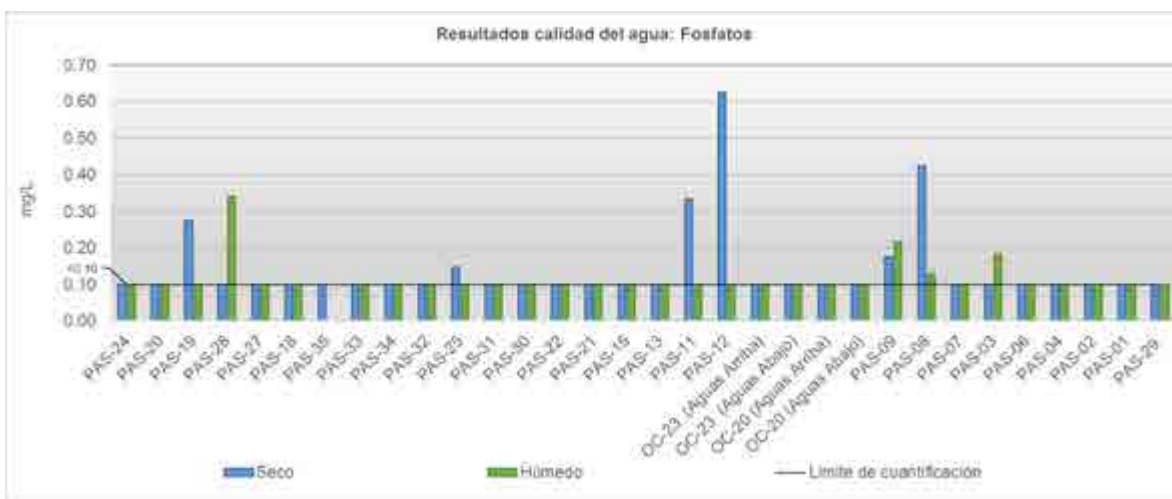


Figura 36. Comportamiento de los ortofosfatos

---

#### 5.1.7.4.8 Microbiológicos

##### 5.1.7.4.8.1 Coliformes totales

Los coliformes son un grupo de microorganismos con ciertas características bioquímicas en común y son un determinante de alteración de la calidad microbiológica del agua al ser un indicador de presencia de materia fecal. No obstante, algunos coliformes dentro del grupo de coliformes totales no poseen origen fecal y están ampliamente distribuidos en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales.

En la Figura 37 se presentan los resultados de coliformes totales, nótese que el eje y se presenta en escala logarítmica con el fin de facilitar la lectura de resultados. Como tendencia general en periodo seco la concentración de coliformes totales se presenta entre un rango de 240 a 410000 NMP/100 ml, con un valor promedio de 21374,72 NMP/100 ml. En el periodo húmedo la concentración de coliformes totales se presenta entre un rango de 78 a 2400000000 NMP/100 ml, con un valor promedio de 7647485,09 NMP/100 ml.

En tiempo húmedo en el 93,8% de los casos se supera el límite máximo permisible establecido por la normatividad nacional para riego agrícola. Por otro lado, en el 62,5% de los casos se supera la normatividad nacional para consumo doméstico, estando por debajo del límite el río La Paila (PAS - 12), quebrada Pan de Azúcar (OC - 23 aguas arriba y aguas abajo), quebrada La Honda (OC - 20 aguas arriba y aguas abajo), río La Vieja (PAS - 02), la quebrada Grande (PAS - 29) y el punto PAS - 08, adicional a los dos ríos ya mencionados.

En tiempo seco en el 28,1% de los casos, se supera el límite máximo permisible establecido por la normatividad nacional para riego agrícola. Por otro lado, solo en el 6,3 % de los casos se supera la normatividad nacional para consumo doméstico, los cuerpos de agua que superan este límite son el río Párraga (PAS - 27) y el punto PAS - 08.

Los valores pico de coliformes totales se identifican en el río Párraga (PAS - 27). Se debe aclarar que la quebrada Vanegas en el punto inmediatamente aguas arriba no presenta valores elevados de coliformes totales, por lo cual, es posible que exista un aporte de carga entre ambos puntos o que la actividad identificada de extracción de arena en este cuerpo de agua tenga asociada una alteración en los coliformes totales. (Ver Figura 37)

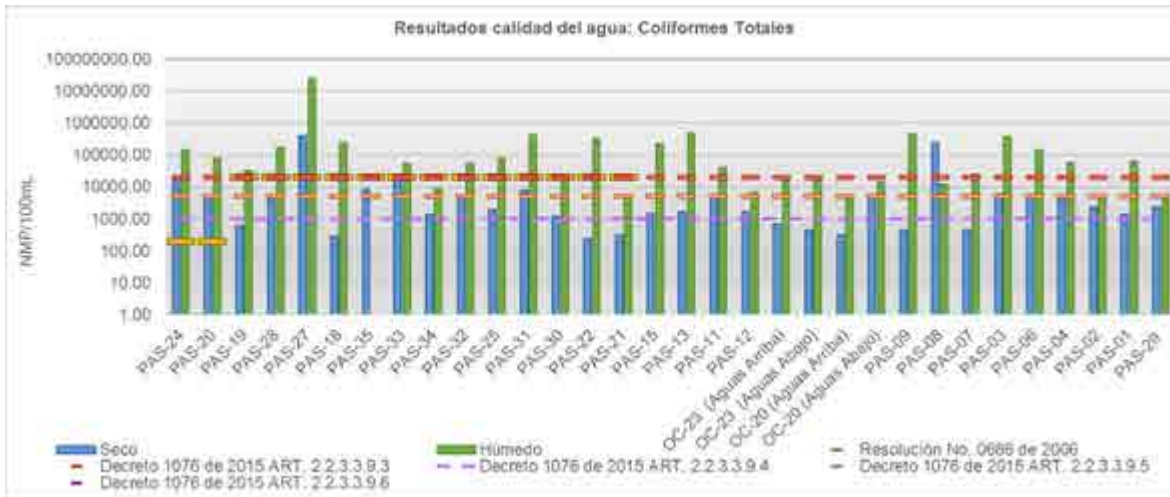


Figura 37. Comportamiento de Coliformes totales

#### 5.1.7.4.8.2 Coliformes fecales

Los coliformes fecales o termotolerantes son la proporción de los coliformes que se asocia a un origen fecal. Los resultados para coliformes fecales se exponen en la Figura 38, nótese que el eje y se presenta en escala logarítmica con el fin de facilitar la lectura de resultados.

Como tendencia general en periodo seco la concentración de coliformes totales se presenta entre un rango de 6,8 a 330000 NMP/100 ml, con un valor promedio de 9382,08 NMP/100 ml. En el periodo húmedo la concentración de coliformes totales se presenta entre un rango de 1700000 a NMP/100 ml, con un valor promedio de 497247,63 NMP/100 ml. En la mayoría de los casos la concentración en tiempo húmedo es mayor a la concentración en tiempo seco.

En tiempo húmedo en el 34% de los casos, se supera el límite máximo permisible establecido por la normatividad nacional para riego agrícola. Por otro lado, solo en el 43,8% de los casos se supera la normatividad nacional para consumo doméstico.

En tiempo seco únicamente el río Párraga (PAS - 27) y la quebrada Chontaduro (PAS-28) presentan concentraciones de coliformes fecales que superan el límite máximo permisible establecido por la normatividad nacional para riego agrícola. Por otro lado, solo el río Párraga supera la normatividad nacional para consumo doméstico.

Los valores pico de coliformes fecales se identifican en el río Párraga (PAS - 27).

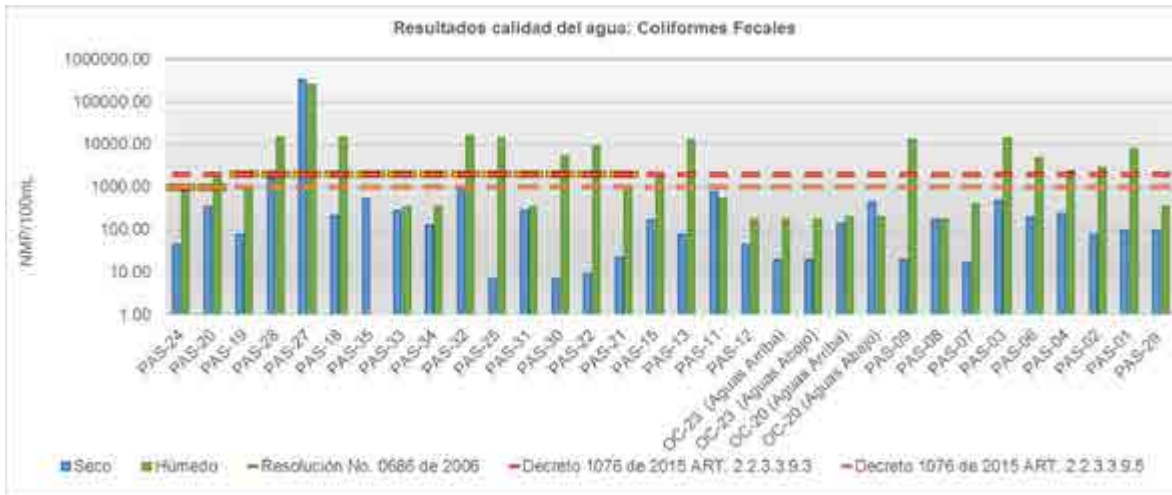


Figura 38. Comportamiento de Coliformes fecales

#### 5.1.7.4.9 Metales

##### 5.1.7.4.9.1 Aluminio

El aluminio es un metal no ferromagnético que se encuentra naturalmente en las aguas superficiales, adicionalmente, es el principal aditivo en procesos de potabilización de agua. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se plantean límites máximos permisibles para los usos agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.6), en ambos casos corresponde a 5 mg/l.

Los resultados de aluminio se presentan en la Figura 39. Como tendencia general en periodo seco la concentración de aluminio se presenta entre un rango de <0,10 a 10,9 mg/l, con un valor promedio de 0,93 mg/l. En el periodo húmedo la concentración de aluminio se presenta entre un rango de < 0,2 a 17,2 mg/l, con un valor promedio de 3,18 mg/l.

Se encuentra que para los puntos medidos en las SZH del Río Bugalagrande y Río La Paila así como la mayoría (5 de 6) de puntos en la unidad hidrográfica del río Los micos y en la quebrada La Tigra (PAS - 01) en la SZH de río Otún y otros directos al cauca, la

concentración de aluminio en época húmeda supera los límites máximos permisibles para uso agrícola y pecuario del agua.

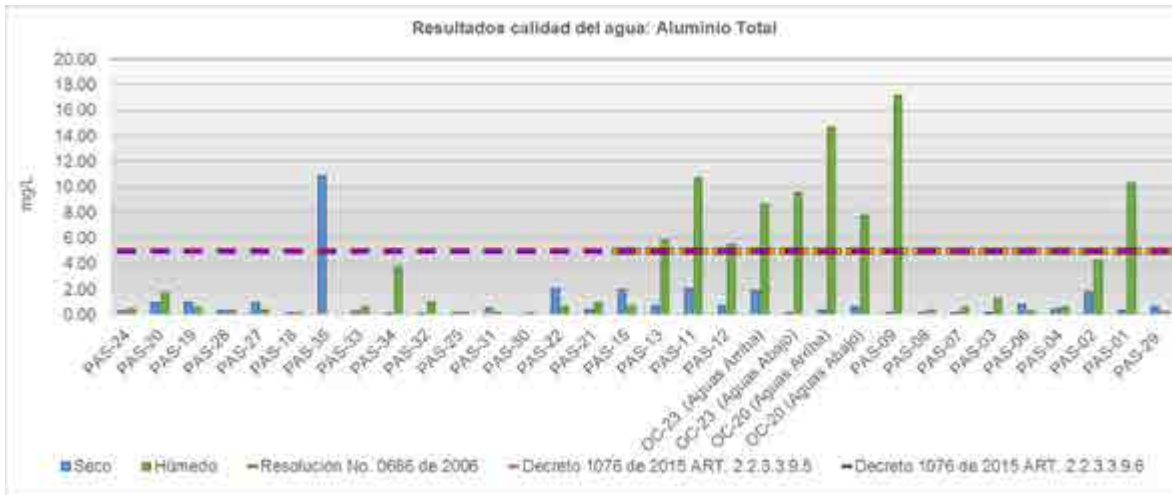


Figura 39. Comportamiento del aluminio

#### 5.1.7.4.9.2 Arsénico

El arsénico es un metaloide que es tóxico en bajas concentraciones especialmente en sus formas inorgánicas, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3), agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 0,05, 0,1 y 0,2 mg/l, respectivamente.

Los resultados de concentración de arsénico se presentan en la Figura 40. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de arsénico se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.



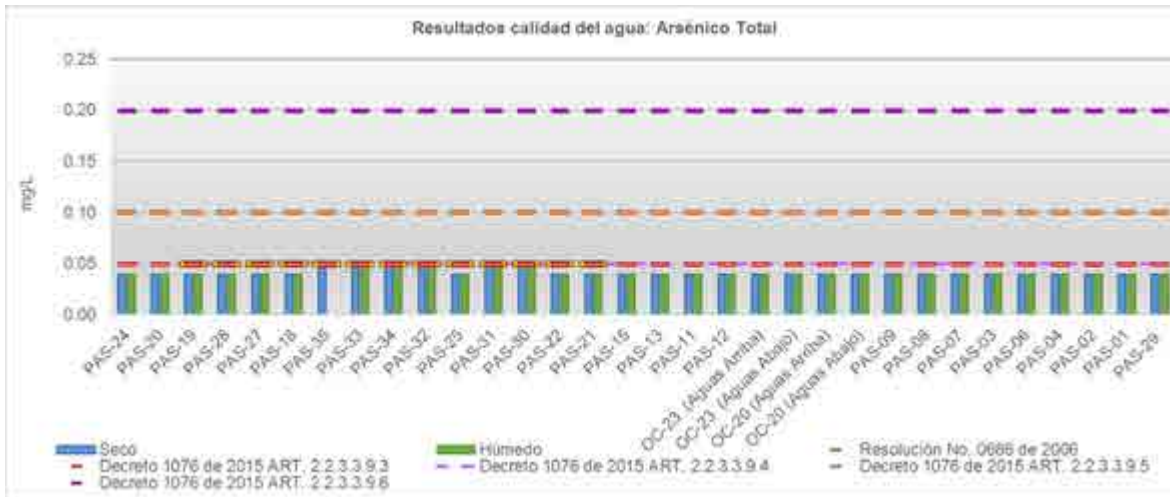


Figura 40. Comportamiento del arsénico

#### 5.1.7.4.9.3 Bario

El bario es un metal alcalinotérreo común en las aguas superficiales, presenta un nivel medio de aproximadamente 0,1 mg/l. Algunas sales de bario pueden presentar efectos tóxicos para el consumo humano (Universidad de Jaén, 2005). Para la normatividad colombiana asociada a agua destinada a potabilización con tratamiento convencional, correspondiente al Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.3 la concentración de bario debe ser como máximo de 1 mg/l.

En la Figura 41 se presentan los resultados de concentración de Bario. Para la mayoría de resultados, y principalmente para los ubicados en la parte alta de la cuenca del río Cauca (en el tramo de análisis), la concentración de bario se presenta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas de medición empleadas.

Se encuentra que las concentraciones de bario se reportan por encima del límite de cuantificación para los puntos medidos en las SZH del Río Bugalagrande, Río La Paila y río Otún y otros directos al cauca así como la mayoría (5 de 6) de puntos en la unidad hidrográfica del río Los micos. En estos puntos igualmente se identificaron las mayores concentraciones de aluminio. En general la concentración en época húmeda es mayor a la presentada en época seca, la concentración se presenta en un rango entre 0,12 y 0,34 mg/l.

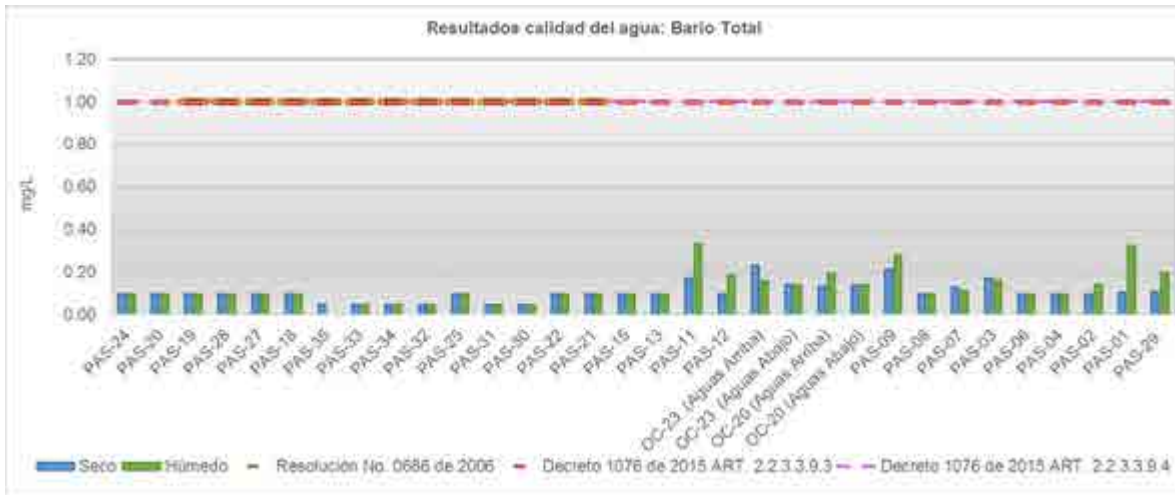


Figura 41. Comportamiento del bario

#### 5.1.7.4.9.4 Berilio

El berilio es un metal alcalinotérreo tóxico en bajas concentraciones, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural y es un elemento altamente insoluble por lo cual en cuerpos de agua se deposita y almacena en el lecho. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) el cual corresponde a 0,1 mg/l

Los resultados de concentración de berilio se presentan en la Figura 42. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de berilio se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.

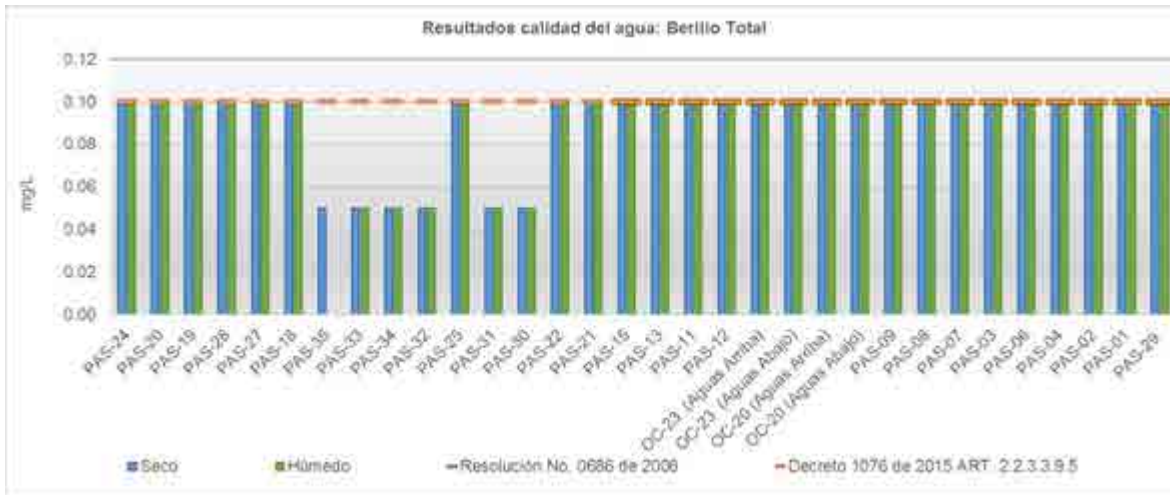


Figura 42. Comportamiento del berilio

#### 5.1.7.4.9.5 Boro

El boro es un elemento esencial para el crecimiento de plantas, no obstante, cuando se exceden ligeramente los niveles requeridos también genera toxicidad para cultivos. Del mismo modo en determinadas concentraciones es tóxico para la salud humana. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 0,4 y 5 mg/l, respectivamente. Por otro lado, para el agua destinada a riego agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) la concentración debe estar en el rango de 0,3 a 0,4 mg/l.

Los resultados de concentración de boro se presentan en la Figura 43. Para la mayoría de los puntos en ambas temporadas la concentración de Boro se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición. Únicamente en la quebrada Pan de azúcar (OC - 23 aguas arriba) en el periodo seco y el punto PAS -08 en ambos periodos se reporta una concentración de boro entre 0,12 a 0,14 mg/l. En todos los casos la concentración de boro está por debajo del rango especificado por la resolución 1076 de 2015, cabe aclarar que este rango se establece dependiendo del tipo de suelo y tipo de cultivo.

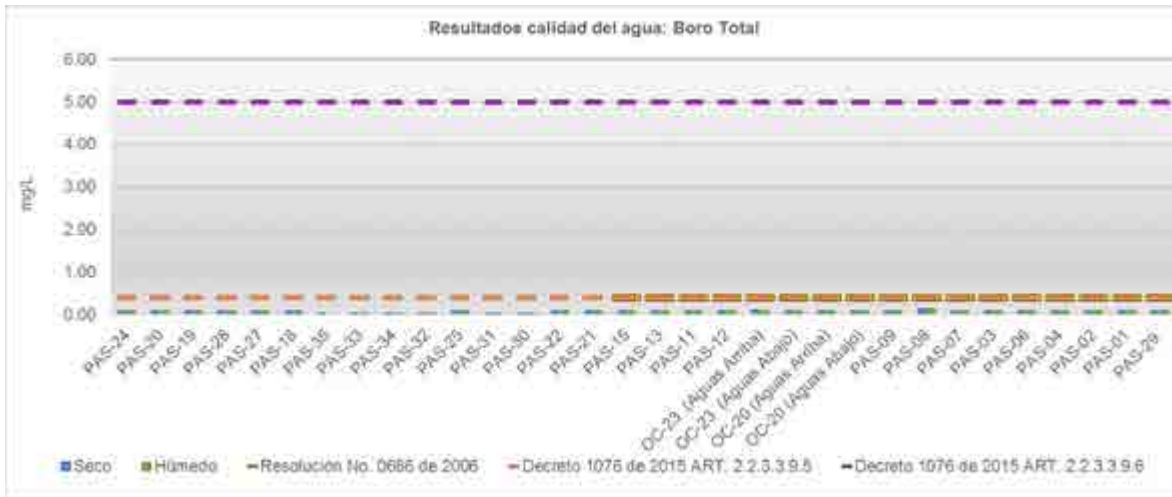


Figura 43. Comportamiento del boro

#### 5.1.7.4.9.6 Cadmio

El cadmio es un metal de transición el cual es tóxico en bajas concentraciones, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3) y agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) los cuales corresponden a 0,01 mg/l y para uso pecuario (artículo 2.2.3.3.9.5), de 0,05 mg/l.

Los resultados de concentración de arsénico se presentan en la Figura 44. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de arsénico se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.

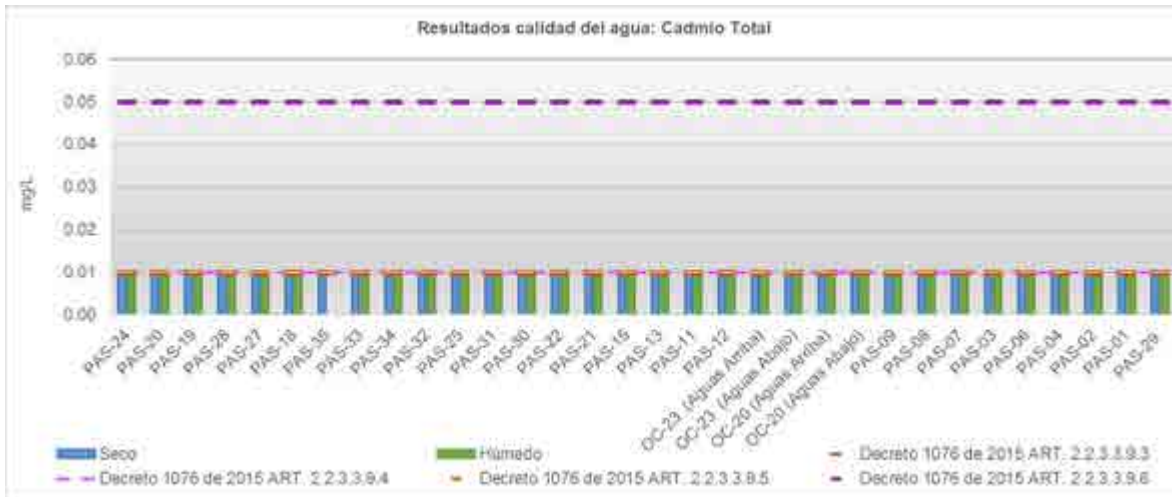


Figura 44. Comportamiento del cadmio

#### 5.1.7.4.9.7 Cobalto

El cobalto es un metal de transición que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, es un micronutriente para plantas y humanos, no obstante, en elevadas concentraciones tiene efectos adversos. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) el cual corresponde a 0,05 mg/l.

Los resultados de concentración de cobalto se presentan en la Figura 45. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de cobalto se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.

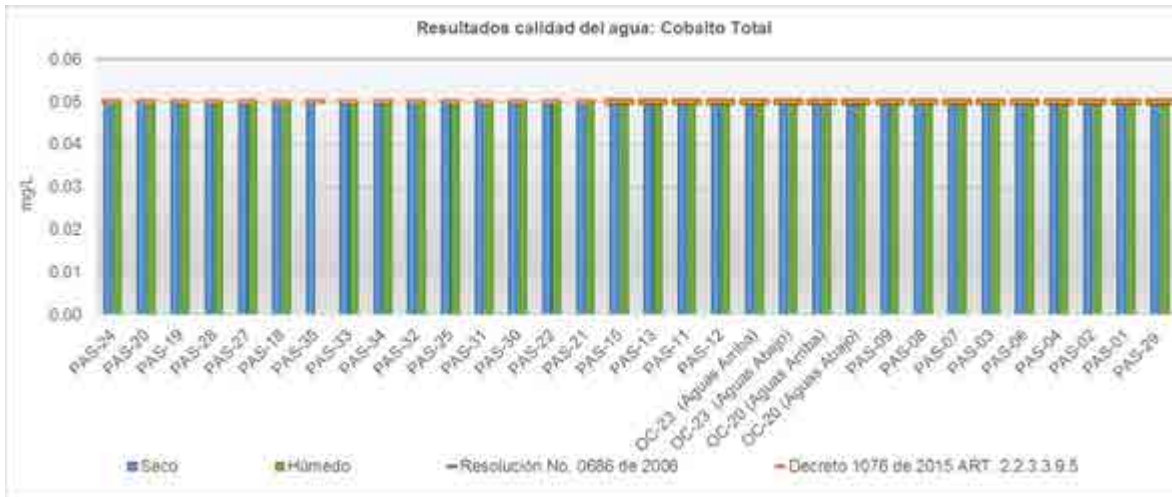


Figura 45. Comportamiento del cobalto

#### 5.1.7.4.9.8 Cobre

El cobre es un metal de transición indeseable en el agua dado que conlleva a problemas de coloración y genera efectos adversos sobre la salud, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3), agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 1, 0,2 y 0,5 mg/l, respectivamente.

Los resultados de concentración de cobre se presentan en la Figura 46. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de cobre se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.



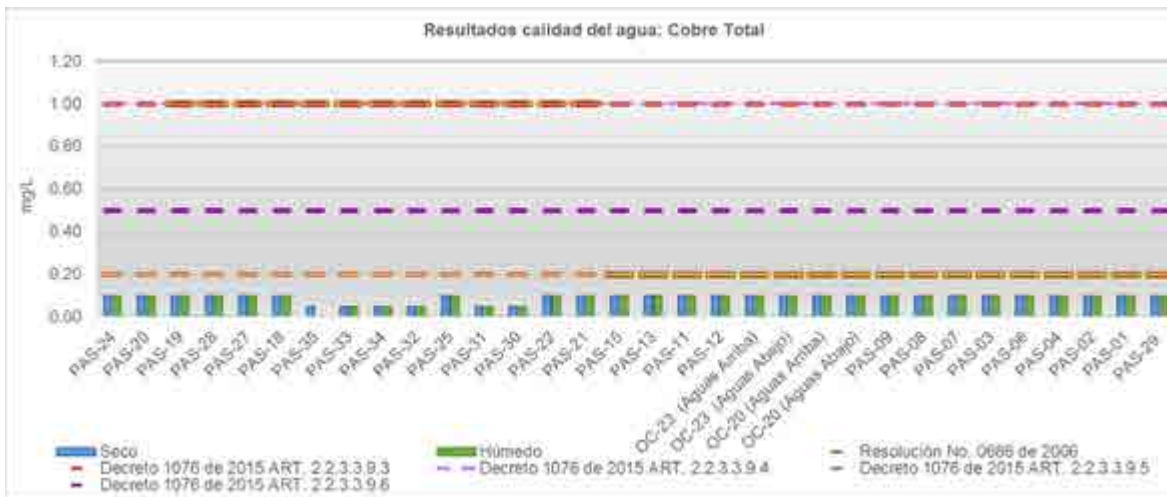


Figura 46. Comportamiento del cobre

#### 5.1.7.4.9.9 Cromo

El cromo es un metal de transición polivalente que en su estado de oxidación III es un micronutriente y en su estado de oxidación VI es altamente tóxico, no es común que se presente en altas concentraciones en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el cromo hexavalente asociados a los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3) y agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 0,05 y 0,1 mg/l, respectivamente.

Los resultados de concentración de cromo total se presentan en la Figura 47. Para todos los puntos medidos en época húmeda la concentración de cromo total se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición. Por otro lado, en época seca se reportan concentraciones de cromo total entre 0,058 y 3,96 mg/l. En orden descendente, los puntos en los que se reportaron concentraciones de cromo total corresponden a río Fraile (PAS - 19), quebrada Pan de Azúcar (OC - 23 aguas abajo), quebrada Playa Rica (PAS - 06), quebrada La Honda (OC - 20 aguas abajo y aguas arriba) y (PAS - 35) Dado que la concentración reportada es de cromo total y no de cromo hexavalente, no se puede identificar si se incumplen los límites normativos para usos del agua.

Por otro lado, se encuentra que en los puntos aguas abajo de las quebradas Pan de Azúcar y La Honda, la concentración de cromo total es mayor aguas abajo que aguas arriba, indicando un aporte de carga entre ambos puntos de este componente.

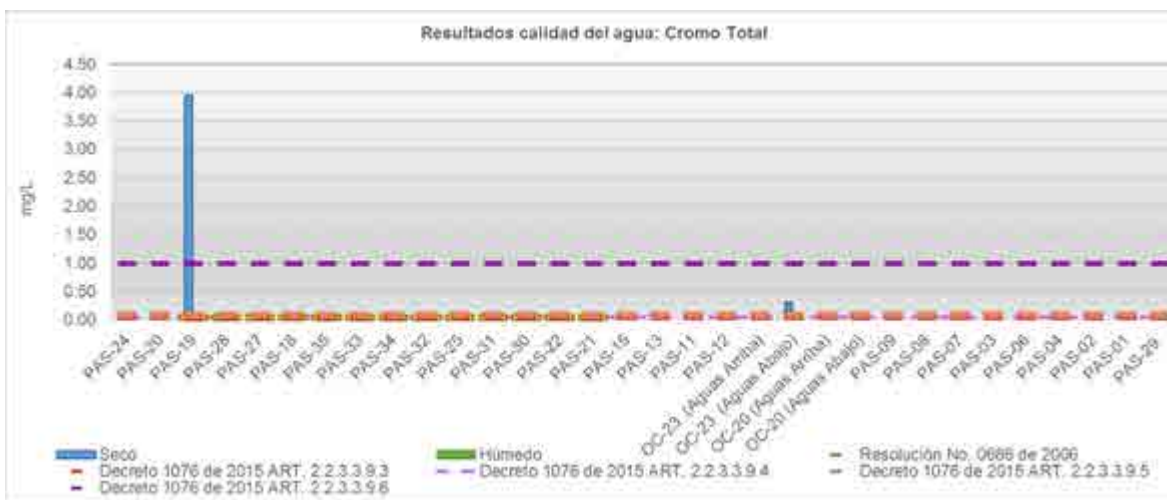


Figura 47. Comportamiento del cromo

#### 5.1.7.4.9.10 Hierro

El hierro es un metal de transición abundante en la corteza terrestre y se encuentra naturalmente en las aguas superficiales. Aunque su consumo no representa problemas de salud, genera conflictos en los sistemas de potabilización de agua al otorgar propiedades de sabor, color y olor indeseables. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se plantean límites máximos permisibles para los usos agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.6), en ambos casos corresponde a 5 mg/l.

Los resultados de hierro se presentan en la Figura 48. Como tendencia general en periodo seco la concentración de hierro se presenta entre un rango de <0,1 a 21,1 mg/l, con un valor promedio de 2,6 mg/l. En el periodo húmedo la concentración de hierro se presenta entre un rango de < 0,1 a 26,9 mg/l, con un valor promedio de 4,04 mg/l. En los puntos asociados a las SZH ubicadas más aguas arriba en la trayectoria del río Cauca (hasta el río Tuluá, PAS - 15), la concentración de hierro es mayor en el periodo seco. Por otro lado, los puntos asociados a las SZH ubicadas más aguas abajo en la trayectoria del río Cauca, la concentración pico se presenta en el periodo húmedo.

En época húmeda se encuentra que las máximas concentraciones de hierro se reportan para los puntos medidos en las SZH del Río Bugalagrande, Río La Paila y río Otún y otros directos al cauca así como la mayoría (5 de 6) de puntos en la unidad hidrográfica del río Los micos. En estos puntos igualmente se identificaron las mayores concentraciones de

aluminio y bario. La concentración de hierro en estos puntos se presenta entre 6,5 y 26 mg/l, de este modo, en todos los casos se supera el límite para riego agrícola.

En época seca los valores pico se presentan en el río Cauca (PAS - 20) y el río Fraile (PAS - 18), la concentración de hierro en estos puntos es de 9,27 y 21,1 mg/l, respectivamente. De este modo, se supera el límite para riego agrícola.



Figura 48. Comportamiento del hierro

#### 5.1.7.4.9.11 Litio

El litio es un metal alcalino el cual no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) el cual corresponde a 2,5 mg/l

Los resultados de concentración de litio se presentan en la Figura 49. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de litio se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.



Figura 49. Comportamiento del litio

#### 5.1.7.4.9.12 Manganeseo

El manganeso es un metal de transición abundante en la corteza terrestre y se encuentra naturalmente en las aguas superficiales. Aunque su consumo no representa problemas de salud, genera conflictos en los sistemas de potabilización de agua. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) el cual corresponde a 0,2 mg/l

Los resultados de concentración de manganeso se presentan en la Figura 50. La mayoría de los resultados se presentaron por debajo del límite de cuantificación, sin embargo, en los puntos en los que se reportan concentraciones de manganeso, en general la concentración en tiempo húmedo es mayor que la concentración en tiempo seco.

Una excepción a lo anteriormente explicado, es la quebrada Pan de Azúcar (OC - 23 aguas arriba), punto en el cual se presenta una mayor concentración en tiempo seco que en tiempo húmedo, que además es el máximo valor de manganeso medido, este corresponde a 2 m/l. De este modo, se generan conflictos con el uso agrícola en este punto. Otros puntos en los cuales se presentan mayores concentraciones en tiempo seco y se presenta un sobrepaso del límite para uso agrícola es el río Fraile (PAS - 19).

En el humedal río Cauca (PAS - 24), río Párraga (PAS - 28) y quebrada El Enfado (PAS 03), para ambos periodos, la concentración de manganeso se encuentra por encima de los límites establecidos para uso agrícola. La concentración se presenta en un rango entre

0,24 y 1,7 mg/l.



Figura 50. Comportamiento del manganeso

#### 5.1.7.4.9.13 Mercurio

El mercurio es un metal de transición que presenta propiedades únicas al presentarse en estado líquido, tener la capacidad de volatilizarse y de presentar procesos de metilación. Es un componente tóxico en bajas concentraciones especialmente en su forma elemental y metilada, no es común que se presente en elevadas concentraciones en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 0,002 y 0,01 mg/l, respectivamente.

Los resultados de concentración de mercurio total se presentan en la Figura 51. Con excepción de dos puntos, en todos los casos en ambas temporadas la concentración de mercurio se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición. Por otro lado, en periodo seco en la quebrada La Honda (OC -20 aguas abajo) se reportó una concentración de 0,004 mg/l, en este caso si se supera el límite para consumo doméstico del agua. Se debe resaltar que en la quebrada La Honda, en el punto medido aguas arriba, no se reportaron concentraciones de mercurio, por lo cual es posible que en el tramo comprendido entre ambos puntos, se presenten aportes de carga de este metal.

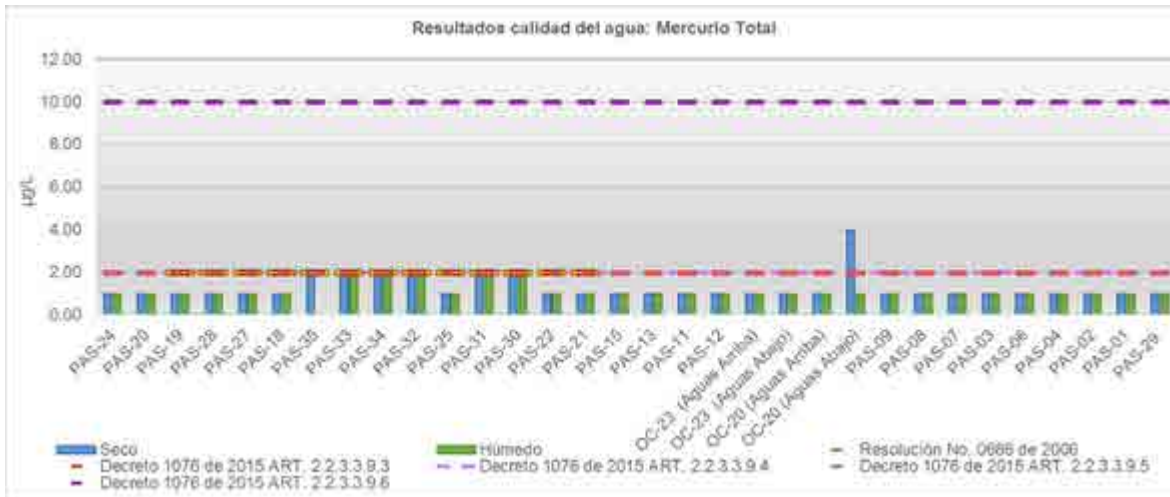


Figura 51. Comportamiento del mercurio

#### 5.1.7.4.9.14 Molibdeno

El Molibdeno es un metal de transición que corresponde a un nutriente esencial en plantas, pero tiene asociada toxicidad para la salud humana. No es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) el cual corresponde a 0,01 mg/l.

Los resultados de concentración de arsénico se presentan en la Figura 52. Con excepción de 4 puntos, en todos los casos en ambas temporadas la concentración de mercurio se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición. En primera instancia para el periodo seco en los ríos Fraile (PAS -19) y La Vieja (PAS -02) y las quebradas Pan de Azúcar (OC -23 aguas abajo) y innominada (PAS -04) se reporta una concentración de molibdeno en un rango entre 0,013 y 0,034 mg/l, en todos los casos se supera el límite para uso agrícola. Se debe resaltar que en la quebrada Pan de azúcar, en el punto medido aguas arriba, no se reportaron concentraciones de molibdeno, por lo cual, es posible que en el tramo comprendido entre ambos puntos, se presenten aportes de carga de este metal. Por otro lado, en periodo húmedo en el río Bolo (PAS -18) se reportó una concentración de 0,011 mg/l, valor que igualmente supera los límites de uso agrícola.



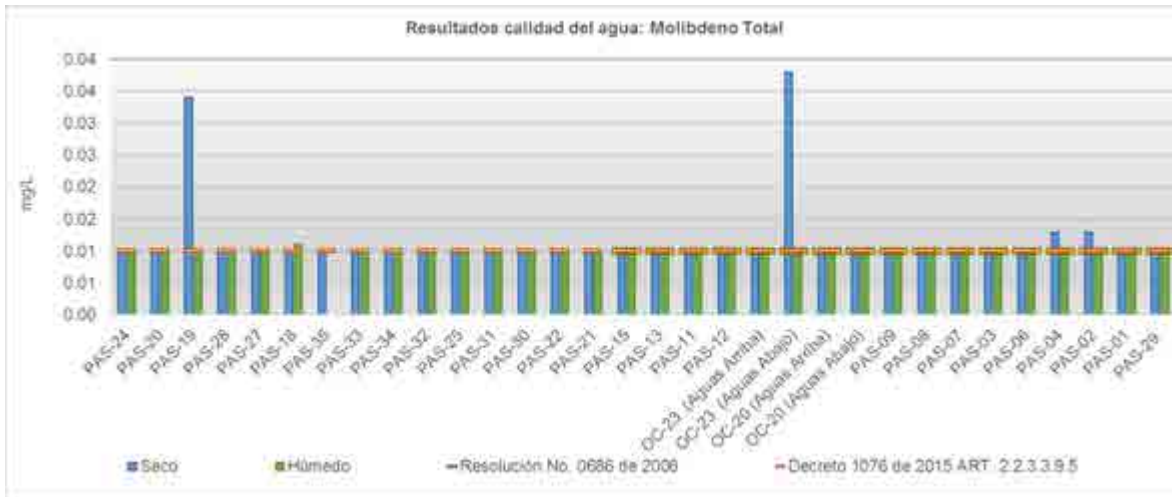


Figura 52. Comportamiento del molibdeno

#### 5.1.7.4.9.15 Níquel

El níquel es un elemento abundante en la corteza terrestre y por esta razón puede ocurrir bajo condiciones naturales en el agua superficial. Sin embargo, elevadas concentraciones de este componente pueden ser perjudiciales y tóxicas para la salud humana. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) el cual corresponde a 0,2 mg/l.

Los resultados de concentración de arsénico se presentan en la Figura 53. Para la mayoría de mediciones, la concentración de níquel se presenta por debajo de los límites de cuantificación de las pruebas de laboratorio.

En el río Fraile (PAS - 19), se reporta una concentración de níquel de 1,82 mg/l, este valor supera el límite establecido para uso agrícola del agua. Nótese que en este punto igualmente se reportaron concentraciones de molibdeno y hierro total, por encima de la norma.

En los puntos quebrada Pan de azúcar (OC - 23 aguas abajo) en tiempo húmedo y quebrada La Honda (OC - 23 aguas arriba y abajo) en ambos periodos, se presentaron concentraciones de níquel entre 0,025 y 0,2, de modo que no se incumple con la normatividad para uso agrícola. Se debe resaltar que en la quebrada Pan de Azúcar, en el punto medido aguas arriba, no se reportaron concentraciones de níquel, por lo cual, es

posible que en el tramo comprendido entre ambos puntos, se presenten aportes de carga de este metal.

Para el periodo húmedo en el Río Bugalagrande (PAS - 13) se reporta una concentración de 0,037 mg/l y en la quebrada Las Palmas (PAS - 09) de 0,025 mg/l. Por otro lado, en el periodo seco en la quebrada Playa Rica (PAS - 06) la concentración es de 0,044 mg/l.



Figura 53. Comportamiento del níquel

#### 5.1.7.4.9.16 Plata

La plata es un metal es un metal de transición que es tóxico en bajas concentraciones para la salud humana y comunidades microbianas, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3) que corresponden a 0,05 mg/l.

Los resultados de concentración de níquel se presentan en la Figura 54. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de plata se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición, con excepción de la medición realizada en periodo seco en el humedal río Cauca (PAS - 24), en la cual se reportó una concentración de plata de 0,083 mg/l. Este valor supera el límite máximo permisible para consumo doméstico del agua.

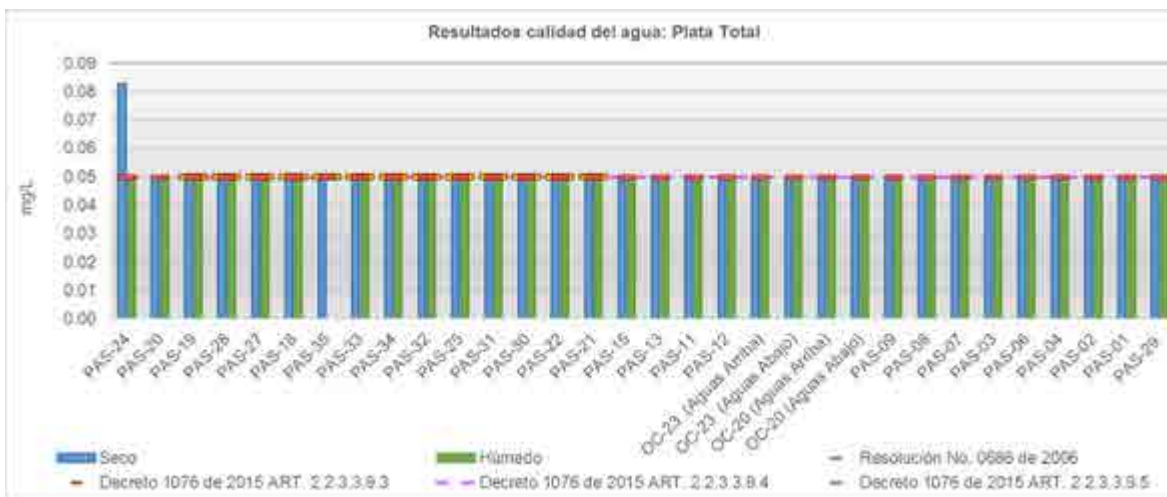


Figura 54. Comportamiento de la plata

#### 5.1.7.4.9.17 Plomo

El plomo es un metal pesado al ser tóxico en bajas concentraciones, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3), agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 0,05, 5 y 0,1 mg/l, respectivamente.

Los resultados de concentración de plomo se presentan en la Figura 55. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de plomo se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición, con excepción de la medición realizada en periodo húmedo en el río Bolo (PAS - 18), en la cual se reportó una concentración de plomo de 0,26 mg/l. Este valor supera el límite máximo permisible para consumo doméstico y uso pecuario del agua.



Figura 55. Comportamiento del plomo

#### 5.1.7.4.9.18 Selenio

El selenio es un no metal necesario en bajas concentraciones para todas las formas de vida, al ser un micronutriente. No obstante, cuando se presenta en elevadas concentraciones se asocia a efectos negativos en la salud. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3) y agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 0,01 y 0,02 mg/l, respectivamente.

Los resultados de concentración de selenio se presentan en la Figura 56. Para la mayoría de los puntos, en ambas temporadas la concentración de selenio se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.

En el periodo húmedo en el río Bolo (PAS - 18), se reportó una concentración de plomo de 0,213 mg/l. Se debe resaltar que para este periodo en el río Bolo igualmente se reportan concentraciones de plomo y molibdeno en el cuerpo de agua. Este valor supera el límite máximo permisible para consumo doméstico y agrícola del agua.

Por otro lado en el río La Vieja (PAS - 02), para el periodo seco, se reporta un concentración de selenio de 0,017 mg/l, valor que se encuentra por encima de los límites máximos establecidos para uso doméstico del agua.

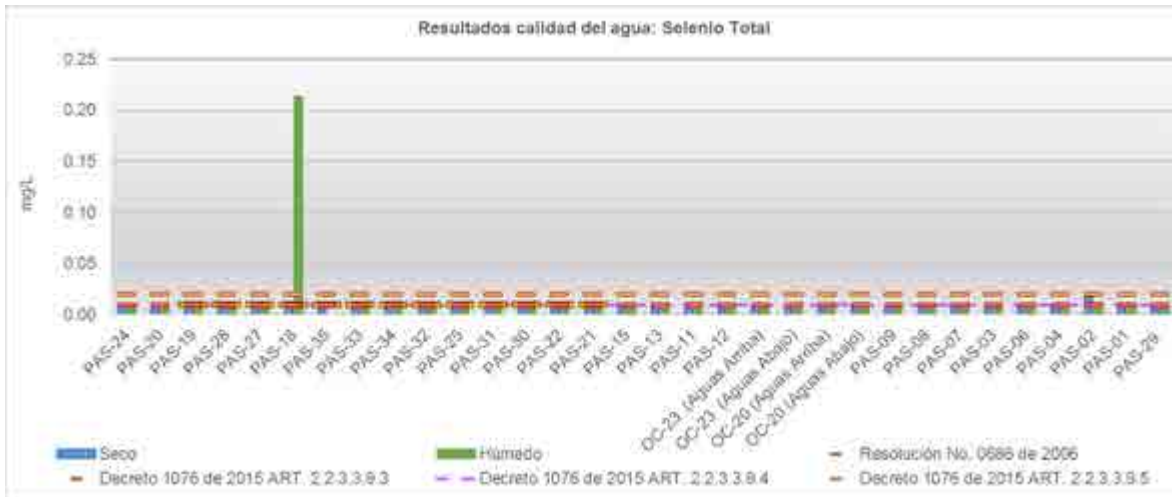


Figura 56. Comportamiento del selenio

#### 5.1.7.4.9.19 Vanadio

El vanadio es un metal de transición, que presenta efectos adversos sobre la salud humana, no es común que se presente en aguas superficiales de manera natural. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para el uso agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) el cual corresponde a 0,1 mg/l.

Los resultados de concentración de vanadio se presentan en la Figura 57. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de vanadio se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.

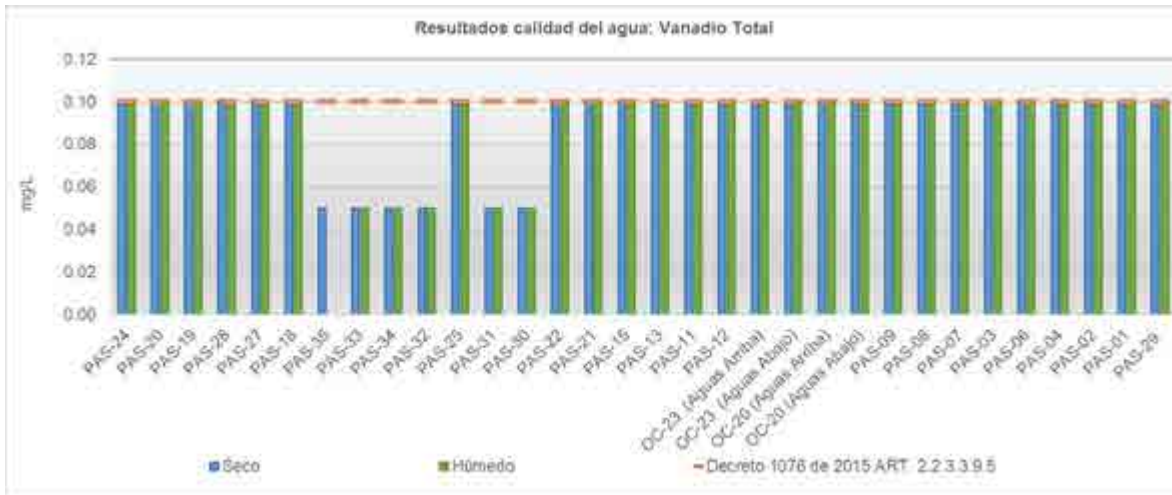


Figura 57. Comportamiento del vanadio

#### 5.1.7.4.9.20 Zinc

El zinc es un metal de transición que es un nutriente esencial en humanos, no obstante, pueden presentarse efectos adversos si se consume en concentraciones elevadas. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015) se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3), agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 15, 2 y 25 mg/l, respectivamente.

Los resultados de concentración de zinc se presentan en la Figura 58. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de zinc se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.



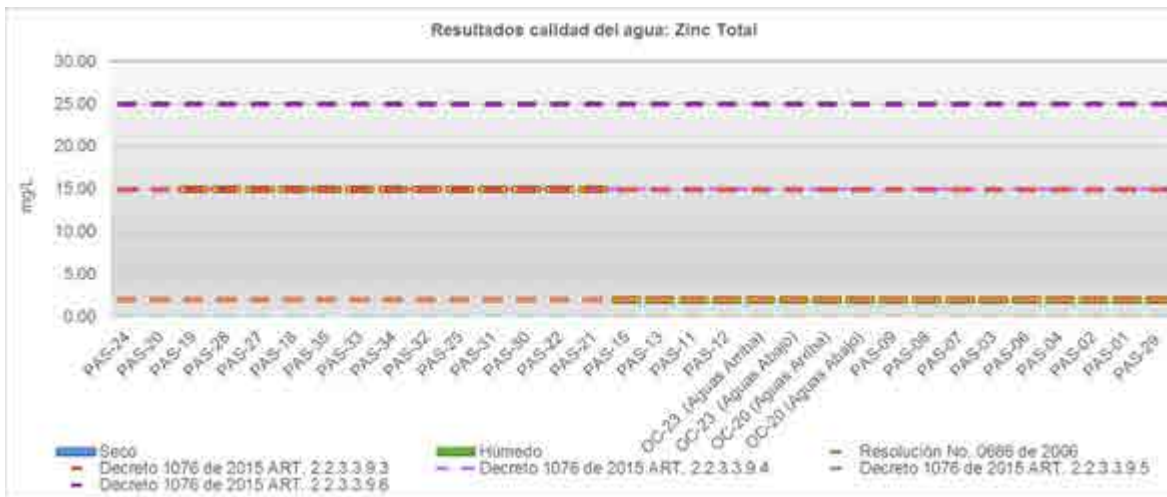


Figura 58. Comportamiento del zinc

#### 5.1.7.4.10 Hidrocarburos, tóxicos orgánicos y otros

##### 5.1.7.4.10.1 Aceites y Grasas

Las grasas y aceites son compuestos menos densos que el agua e inmiscibles con ella. Por esta razón, se difunden por la superficie y bajas concentraciones de grasas y aceites pueden cubrir grandes superficies de agua. Además de producir un impacto estético, reducen la reoxigenación a través de la interfase aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando a la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto (Aguamarket). En la normatividad nacional no se establece una concentración límite para el uso doméstico o recreacional del agua.

Los resultados para la concentración de grasas y aceites se presentan en la Figura 59. Para la gran mayoría de puntos contemplados la concentración de grasas y aceites se reporta por debajo del límite de cuantificación en ambas épocas. Únicamente para 4 puntos de medición, se presentan concentraciones de grasas y aceites, en 4 puntos (PAS - 11, OC -23 aguas abajo y OC - 20 aguas arriba y PAS -33) esta situación se presenta únicamente para época húmeda, mientras que en el punto OCT - 23 aguas arriba se presenta para ambos periodos. La concentración de grasas y aceites se presenta en el rango entre 5,5 y 6,8 mg/l.

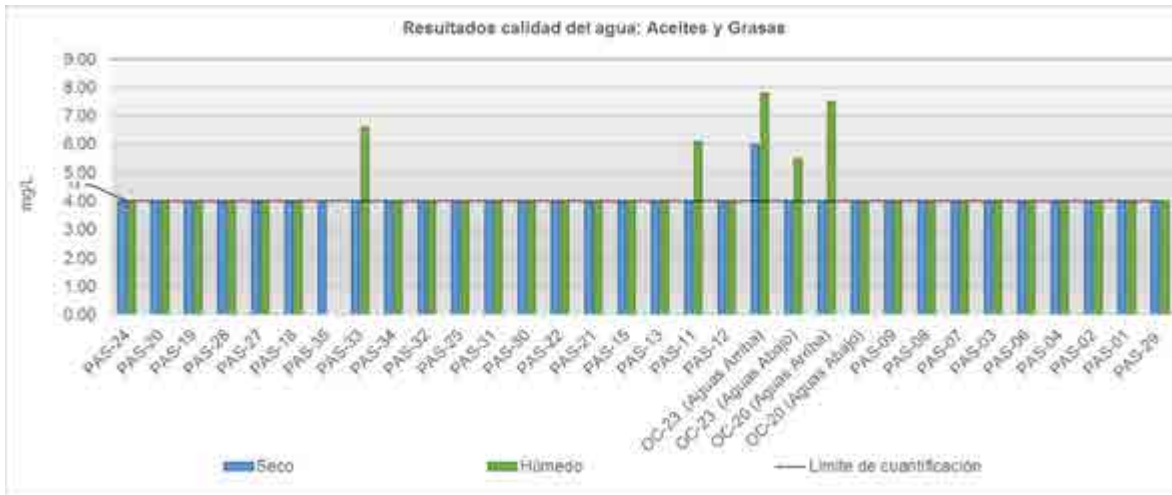


Figura 59. Comportamiento de los aceites y grasas

#### 5.1.7.4.10.2 Hidrocarburos Totales

El grupo de los hidrocarburos totales corresponde a la totalidad de compuestos originados del petróleo, son una mezcla de productos químicos compuestos principalmente de carbono e hidrógeno.

Los resultados de hidrocarburos totales se presentan en la Figura 60. Para la gran mayoría de puntos contemplados la concentración de hidrocarburos totales se reporta por debajo del límite de cuantificación en ambas épocas. Únicamente los puntos de medición, se presentan concentraciones de hidrocarburos totales: PAS - 11, PAS-33 OC -23 aguas arriba y aguas abajo. En todos los casos el reporte se presenta únicamente en época húmeda, periodo en el cual la concentración de hidrocarburos totales está en el rango de 4,7 a 7,2 mg/l. Nótese que en estos puntos igualmente se reportan concentraciones de grasas y aceites.

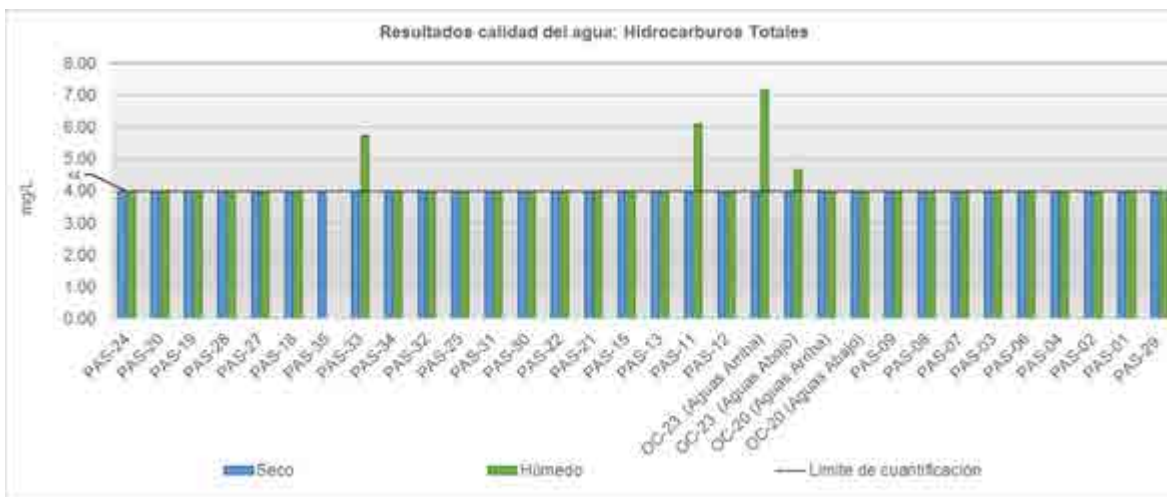


Figura 60. Comportamiento de los hidrocarburos totales

#### 5.1.7.4.10.3 SAAM

Los tensoactivos son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial, en la superficie de contacto entre dos fases. Un tensoactivo combina en una sola molécula un grupo hidrófobo con uno hidrófilo. Dichas moléculas tienden a congregarse en las interfases entre el medio acuoso y las otras fases del sistema, como aire, líquidos oleosos y partículas, impartiendo por tanto propiedades tales como formación de espuma, emulsificación y suspensión de partículas. Esta variable se asocia a la presencia de espumas en el agua, característica indeseable para las aguas para consumo humano y para el uso recreativo mediante contacto primario. La normatividad nacional con respecto al uso doméstico del agua, corresponde a 0,5 mg/l (decreto 1075 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.3).

En la Figura 61 se presentan los resultados para tensoactivos. Para la gran mayoría de puntos contemplados, la concentración de tensoactivos se reporta por debajo del límite de cuantificación en ambas épocas.

Para los puntos PAS - 20, PAS - 28, PAS - 25, PAS - 07 PAS - 30 y PAS - 32, únicamente se reportaron concentraciones en el periodo seco. Para el punto PAS - 09, solo se reportan concentraciones en periodo húmedo y en el punto PAS - 27 en ambos periodos se reportan valores detectables de tensoactivos. En los puntos mencionados la concentración oscila entre 0,23 a 0,53 mg/l.

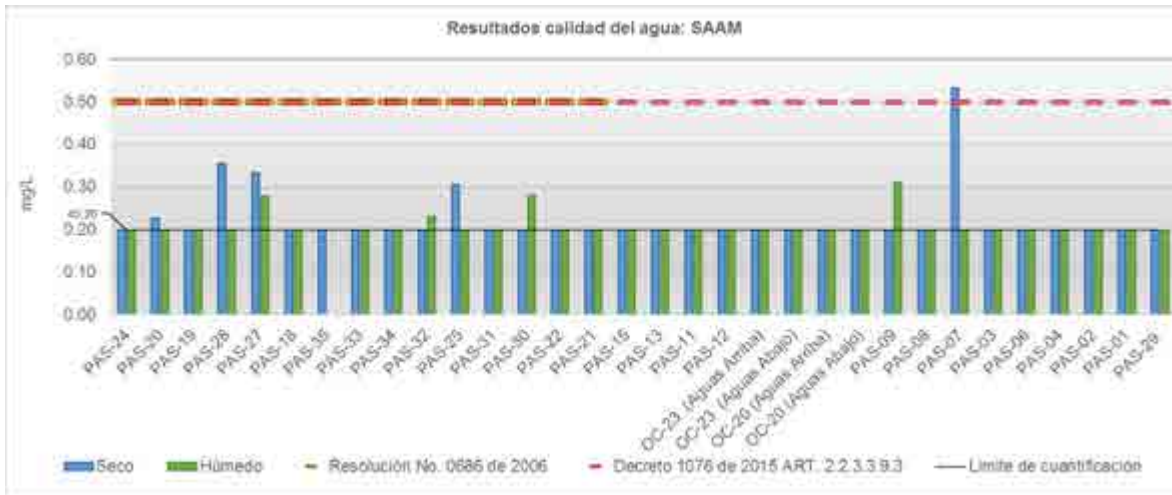


Figura 61. Comportamiento del SAAM

#### 5.1.7.4.10.4 Fenoles

Los fenoles son compuestos orgánicos aromáticos que presentan el grupo hidroxilo como grupo funcional. En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015), se establece que la concentración de fenoles totales no debe ser mayor a 0,002 mg/l cuando el agua está destinada para consumo doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3).

En la Figura 62 se presentan los resultados para fenoles totales. Para la gran mayoría de puntos contemplados, la concentración de fenoles totales se reporta por debajo del límite de cuantificación en ambas épocas.

Únicamente en los resultados de periodo húmedo de los puntos: humedal río Cauca (PAS - 24), río Párraga (PAS - 27), río Tuluá (PAS - 15), quebrada La Honda (OC - 20 aguas abajo), quebrada Las Palmas (PAS - 09), quebrada Playa Rica (PAS - 06), río La Vieja (PAS - 02) y quebrada La Tigrera (PAS - 01), se presentan concentraciones de fenoles detectables por la técnica de medición. La concentración se encuentra en el rango entre 0,003 y 0,04 mg/l, de este modo, en todos los casos se sobrepasa el límite máximo permisible para uso doméstico del agua. El valor pico se presenta en el río Tuluá.

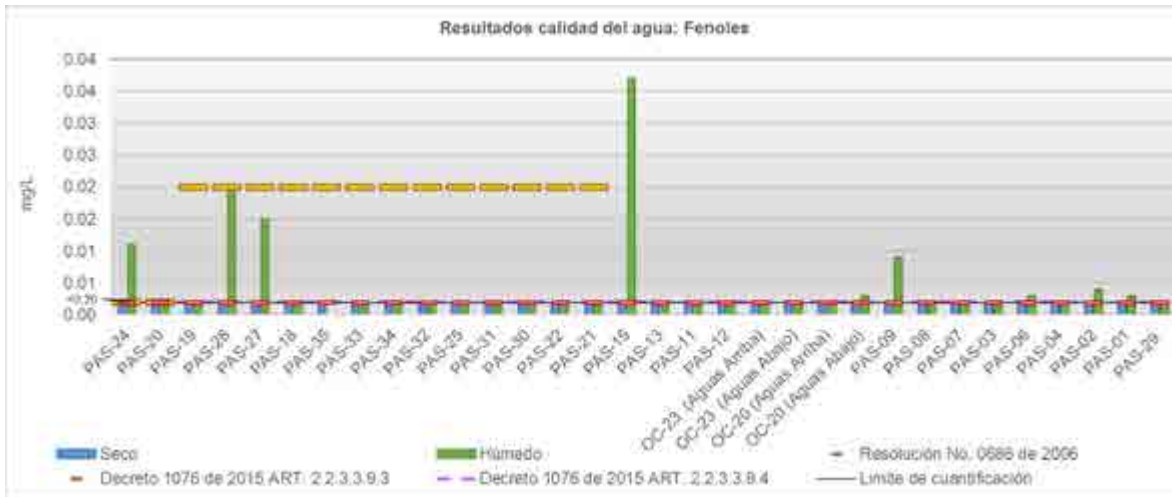


Figura 62. Comportamiento de los fenoles

Los resultados de concentración de fenoles semivolátiles se presentan en la Figura 63. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de fenoles semivolátiles se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.

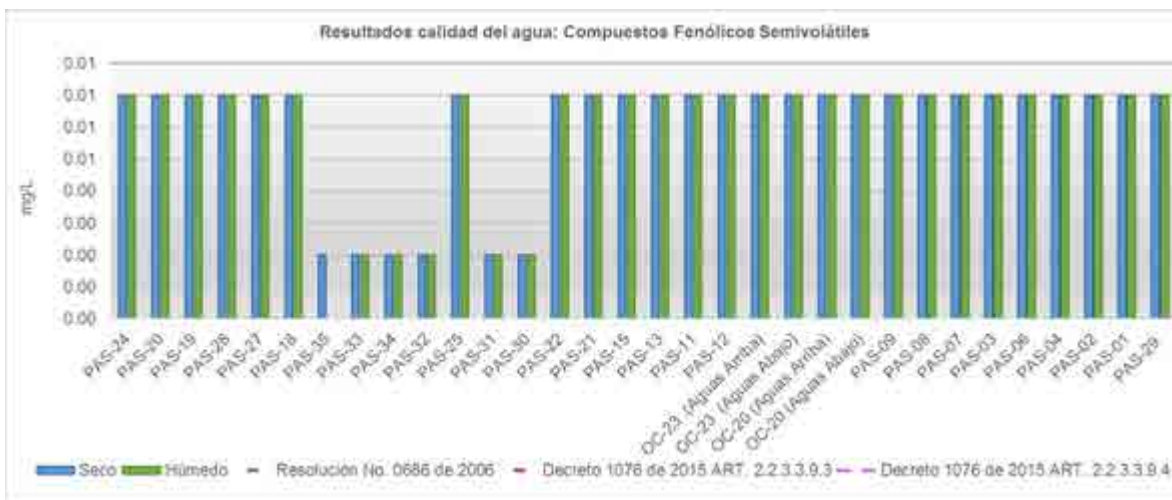


Figura 63. Comportamiento de los compuestos Fenólicos Semivolátiles

#### 5.1.7.4.10.5 Cianuro Total

Corresponde a los compuestos que presentan en ión cianuro (CN<sup>-</sup>). En la normatividad nacional (decreto 1076 de 2015), se establece que la concentración de cianuros totales no debe ser mayor a 0,2 mg/l cuando el agua está destinada para consumo doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3).

Los resultados de concentración de cianuros totales se presentan en la Figura 64. Para todos los puntos en ambas temporadas la concentración de cianuros totales se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición.

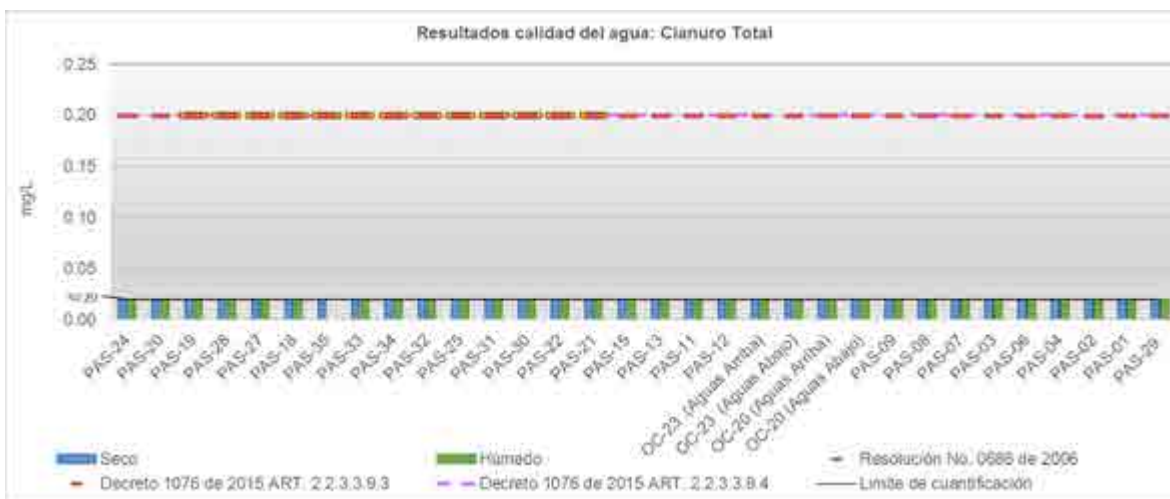


Figura 64. Comportamiento del cianuro total

#### 5.1.7.5 Análisis Índices de calidad del agua

A continuación, se presentan los índices de calidad del agua y de contaminación los cuales describen las características de cada punto de monitoreo.

Para complementar el análisis de calidad de agua superficial realizado anteriormente, se calcularon los índices de calidad del agua exigidos por los términos de referencia para la elaboración del EIA - Proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica - TdR-17 de la ANLA. Estos son el Índice de Calidad del Agua (ICA), el Índice de Langelier, el Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) y la Capacidad Buffer.



Además de los índices indicados anteriormente, se calcularon los Índices de Contaminación - ICO's. A continuación se describe y se indica el procedimiento para el cálculo de cada índice.

#### 5.1.7.5.1 Índice de calidad del agua ICA

El indicador de calidad del agua superficial se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco variables que determinan la calidad de las aguas corrientes superficiales. Las variables son: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH.

A continuación, se presentan las ecuaciones de referencia para cada una de las variables:

Tabla 12. Ecuaciones para cálculo del índice ICA

Variable	Descripción
Oxígeno disuelto (OD)	<p>Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.</p> $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD})$ <p>Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%.</p> $I_{OD} = 1 - (0,01 * PS_{OD} - 1)$
Sólidos suspendidos totales (SST)	<p>La presencia de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula así:</p> $I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>SST \leq 4,5</math>, entonces <math>I_{SST} = 1</math></li> <li>• Si <math>SST \geq 320</math>, entonces <math>I_{SST} = 0</math></li> </ul>

Variable	Descripción
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<p>La DQO refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no y la materia inorgánica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>DQO \leq 20</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,91</math></li> <li>• Si <math>20 &lt; DQO \leq 25</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,71</math></li> <li>• Si <math>25 &lt; DQO \leq 40</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,51</math></li> <li>• Si <math>40 &lt; DQO \leq 80</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,26</math></li> <li>• Si <math>DQO &gt; 80</math>, entonces <math>I_{DQO} = 0,12</math></li> </ul>
Conductividad eléctrica (C.E.)	<p>Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en la forma química, refleja la mineralización.</p> $I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,261,34 \text{Log}10C.E)}$ <p>Cuando <math>I_{C.E.} &lt; 0</math>, entonces <math>I_{C.E.} = 0</math></p>
pH	<p>Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y la fauna acuáticas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>pH &lt; 4</math>, entonces <math>I_{pH} = 0,1</math></li> <li>• Si <math>4 \leq pH \leq 7</math>, entonces <math>I_{pH} = 0,02628419 * e^{(pH*0,520025)}</math></li> <li>• Si <math>7 &lt; pH \leq 8</math>, entonces <math>I_{pH} = 1</math></li> <li>• Si <math>8 &lt; pH \leq 11</math>, entonces <math>I_{pH} = 1 * e^{[(pH-8)-0,5187742]}</math></li> <li>• Si <math>pH &gt; 11</math>, entonces <math>I_{pH} = 0,1</math></li> </ul>

Fuente: IDEAM - Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2014).

Tabla 13. Variables y ponderación

Variable	Unidad de medición	Ponderación
Oxígeno disuelto (OD)	% Saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	0,2
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	0,2

Variable	Unidad de medición	Ponderación
(DQO)		
Conductividad eléctrica (C.E.)	uS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: IDEAM - Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2014).

Por último, el Índice de calidad del agua que contempla todas las variables, se determina a través de la sumatoria del producto de cada variable por el factor ponderador, como se ilustra a continuación:

$$\sum_{i=1}^n (W * I)$$

Ecuación 1.

El indicador es comparado y clasificado a través de un código de colores que permite emitir señales de alerta, según el nivel de contaminación del cuerpo hídrico, como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 - 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 - 0,50	Mala	Naranja
0,51 - 0,70	Regular	Amarillo
0,71 - 0,90	Aceptable	Verde
0,91 - 1,00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM - Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2014)

Los resultados del cálculo del índice ICA para los puntos de monitoreo ejecutados en la presente caracterización ambiental se exponen en la Figura 65 para periodo seco y Figura 66 para periodo húmedo.

Para los resultados en tiempo seco se encontró que el 33,3% de los resultados se reportaron con la calificación de aceptable. Las principales razones por las cuales la

calidad del agua es aceptable y no buena son: pH mayor o igual a 7 unidades o conductividad eléctrica por encima de los 100 uS/cm. Para algunos puntos como en el río Cauca (PAS-20), la quebrada Grande (PAS-29), río La Vieja (PAS-02), quebrada Playa Rica (PAS-06) y río Tuluá (PAS-15) la calificación de aceptable también se asocia a una concentración de sólidos suspendidos totales mayor a 40 mg/L.

Por otro lado, el 58,8% de los puntos tiene asociada una calificación de regular. Las principales razones por las cuales la calidad del agua es regular son: pH menor o igual a 7 unidades o conductividad eléctrica por encima de los 200 uS/cm. Para algunos casos como el PAS-24, PAS-28, PAS-31, OC-23 aguas abajo, OC-20 aguas arriba y aguas abajo y PAS - 04, la calificación de regular se asocia igualmente por concentraciones de DQO mayores a 20 mg/L y/o concentraciones de SST mayores a 40 mg/L.

Por último, el 8,33% de los puntos: PAS-03, PAS-11 y OC-23 aguas arriba, la calificación asignada es mala. Adicional a las condiciones relacionadas a los puntos con calificación regular.

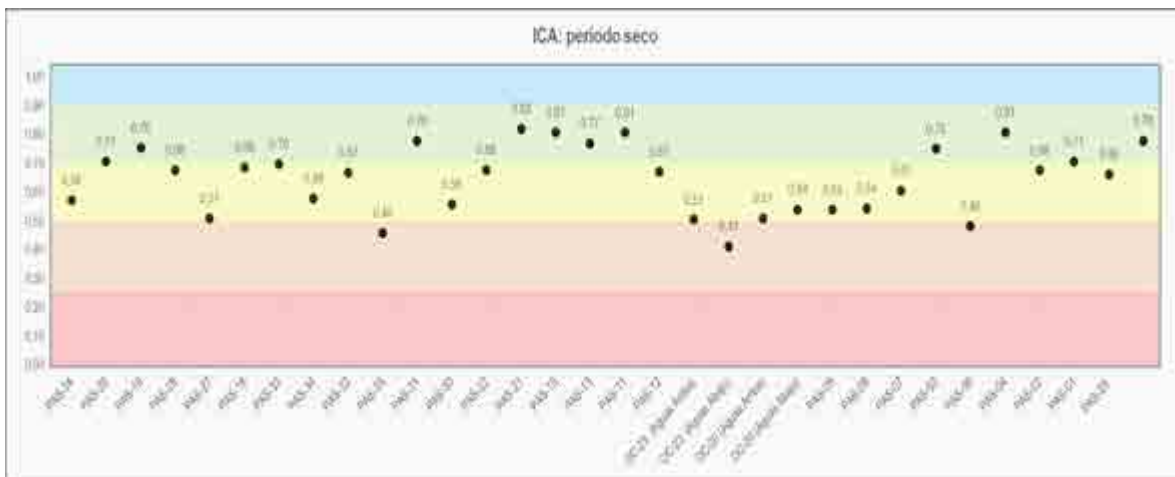


Figura 65. Resultados ICA, periodo seco

Para los resultados en tiempo húmedo se presenta que el 26,66% de los resultados se presentan en la calificación de aceptable. Sin embargo, más de la mitad de los puntos cambian su categorización con respecto a lo encontrado en el periodo seco: los puntos PAS-28, PAS-24, PAS-27, PAS-09 y PAS-11 en el periodo seco se categorizaron como regulares, sin embargo en el periodo húmedo se encuentran en la categoría de malo. Esto ocurre por un aumento en la concentración de DQO y disminución de la saturación de oxígeno (saturación menor al 10%).

Por otro lado, los puntos PAS-20, PAS-29, PAS-13, PAS-15, PAS-21 y PAS-07 que anteriormente habían sido clasificados con la categoría “Aceptable” en tiempo seco, presentan categoría “Regular” en tiempo húmedo. Y se encuentra que el 50% de los datos corresponden a la categoría de regular, de este modo, supera la cantidad de puntos calificados con calidad del agua mala (20%).

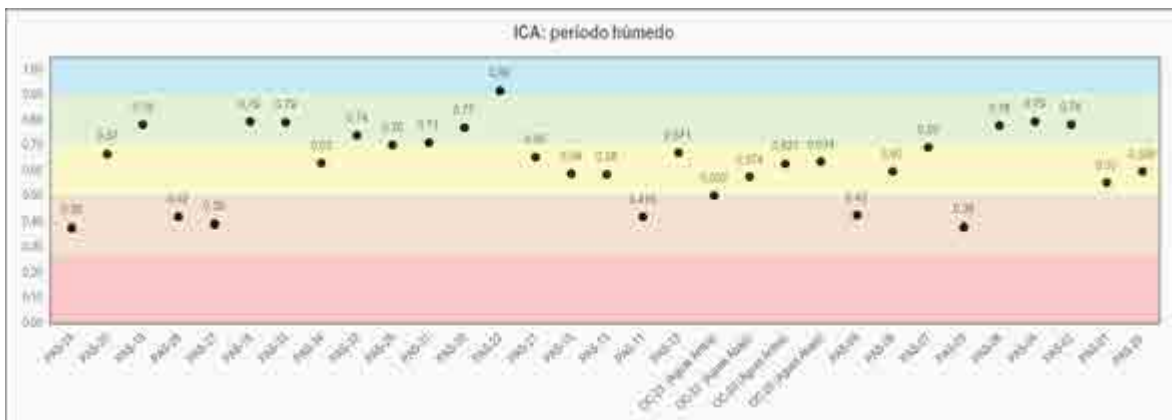


Figura 66. Resultados ICA, periodo húmedo

#### 5.1.7.5.2 Índice de la alteración potencial de la calidad del agua (IACAL)

El indicador refleja la alteración potencial de la calidad de los sistemas hídricos superficiales en una subzona hidrográfica dada. Permite reconocer zonas susceptibles a los tipos de contaminación estimada en la medida que la categoría de amenaza es calificada como alta y muy alta en un intervalo de tiempo específico. En otras palabras, es un reflejo de la vulnerabilidad a la contaminación a que puede estar sometida una subzona hidrográfica.

Este indicador determina la relación entre la carga contaminante y la oferta hídrica de un cuerpo de agua superficial para un año medio o un año seco, en el cual se consideran cinco (5) variables. Las variables que se utilizan para la estimación del IACAL son DBO, diferencia entre DQO y DBO, SST, NT y PT.

$$IACAL_{ijt \text{ año med}} = \frac{\sum_{i=1}^n Catiacal_{itj-\text{año med}}}{n}$$

Ecuación 2.

$$IACAL_{ijt \text{ año sec}} = \frac{\sum_{i=1}^n Catiacal_{itj-\text{año sec}}}{n}$$

Ecuación 3.

Dónde:

$l_{acal_{jt-año}}$  es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una subzona hidrográfica  $j$  durante el período de tiempo  $t$ , evaluado para una oferta hídrica propia de un año medio o año seco, dependiendo del caso y  $n$  es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador;  $n$  es igual a 5.

$Catiacal$  es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por el potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad  $i$  que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica  $j$  durante el período de tiempo  $t$  dividido por la oferta hídrica propia de un año medio o año seco, dependiendo del caso. Para el cálculo del  $Catiacal$  para cada variable se debe emplear la razón entre la carga contaminante de cada variable ( $W_{ijt}$ ) y la oferta hídrica del cuerpo de agua ( $O$ ), de un año promedio o un año seco. Esta se define mediante la Ecuación 4 en un año medio y la Ecuación 5 para un año seco.

$$iacal_{itj \text{ año med}} = \frac{W_{itj \text{ año med}}}{O_{\text{año med}}}$$

Ecuación 4.

$$iacal_{itj \text{ año sec}} = \frac{W_{itj \text{ año sec}}}{O_{\text{año sec}}}$$

Ecuación 5.

Para cada variable se encuentra asociada a una categoría de clasificación como se muestra de la Tabla 15 a Tabla 19.

Tabla 15.  $l_{acal}$  DBO

Rangos $l_{acalDBO-jt-año med}$ $l_{acalDBO-jt-año sec}$	Categoría de clasificación $CatiacalDBO$	Calificación de la presión
$l_{acal_{DBO}} < 0,14$	1	Baja
$0,14 \leq l_{acal_{DBO}} < 0,40$	2	Moderada
$0,40 \leq l_{acal_{DBO}} < 1,21$	3	Media-Alta
$1,21 \leq l_{acal_{DBO}} < 4,86$	4	Alta
$l_{acal_{DBO}} \geq 4,86$	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL. IDEAM.



Tabla 16. Iacal diferencia entre DBO y DQO

Rangos Iacal <sub>DQO-DBO-jt-año med</sub> Iacal <sub>DQO-DBO-jt-año sec</sub>	Categoría de clasificación Catiacal <sub>DQO-D BO</sub>	Calificación de la presión
Iacal <sub>DQO-DBO</sub> < 0,14	1	Baja
0,14 ≤ Iacal <sub>DQO-DBO</sub> < 0,36	2	Moderada
0,36 ≤ Iacal <sub>DQO-DBO</sub> < 1,17	3	Media-Alta
1,17 ≤ Iacal <sub>DQO-DBO</sub> < 6,78	4	Alta
Iacal <sub>DQO-DBO</sub> ≥ 6,78	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL.  
IDEAM.

Tabla 17. Iacal sólidos suspendidos totales

Rangos Iacal <sub>DQO-SST-jt-año med</sub> Iacal <sub>DQO-SST-jt-año sec</sub>	Categoría de clasificación Catiacal <sub>SST</sub>	Calificación de la presión
Iacal <sub>SST</sub> < 0,4	1	Baja
0,4 ≤ Iacal <sub>SST</sub> < 0,8	2	Moderada
0,8 ≤ Iacal <sub>SST</sub> < 1,9	3	Media-Alta
1,9 ≤ Iacal <sub>SST</sub> < 7,7	4	Alta
Iacal <sub>SST</sub> ≥ 7,7	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL.  
IDEAM.

Tabla 18. Iacal nitrógeno total

Rangos Iacal <sub>DQO-NT-jt-año med</sub> Iacal <sub>DQO-NT-jt-año sec</sub>	Categoría de clasificación Catiacal <sub>NT</sub>	Calificación de la presión
Iacal <sub>NT</sub> < 0,03	1	Baja
0,03 ≤ Iacal <sub>NT</sub> < 0,06	2	Moderada
0,06 ≤ Iacal <sub>NT</sub> < 1,14	3	Media-Alta
1,14 ≤ Iacal <sub>NT</sub> < 0,56	4	Alta
Iacal <sub>NT</sub> ≥ 0,56	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL.  
IDEAM.

Tabla 19. Iacal fósforo total

Rangos Iacal <sub>DQO-NT-jt-año</sub> med Iacal <sub>DQO-NT-jt-año</sub> sec	Categoría de clasificación Catiacal <sub>NT</sub>	Calificación de la presión
Iacal <sub>PT</sub> < 0,005	1	Baja
0,005 ≤ Iacal <sub>PT</sub> < 0,014	2	Moderada
0,014 ≤ Iacal <sub>PT</sub> < 0,036	3	Media-Alta
0,036 ≤ Iacal <sub>PT</sub> < 0,135	4	Alta
Iacal <sub>PT</sub> ≥ 0,135	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL. IDEAM.

Dado que el IACAL requiere de una medición de carga (producto de caudal y concentración), no es posible calcular este índice en los puntos en los que no se pudo ejecutar la medición de caudal por las condiciones del cuerpo de agua. Los resultados del cálculo del IACAL en periodo Seco se presentan en la Figura 67 y en periodo promedio en la Figura 68.

Para las cargas medidas en tiempo seco se observa que en 85,7% de los puntos se presenta una presión por contaminación muy alta; esto dado que en los diferentes índices de los parámetros se tiene también una clasificación de presión “muy alta”. Por otro lado, para las condiciones de carga promedio (promedio del periodo húmedo y seco) se encuentra que el 90,5% de los puntos tienen una presión “muy alta” o “alta”, y solo en solo 2 puntos (PAS-11 y PAS-18) tienen una presión “media alta”. Esta diferencia en la clasificación se puede atribuir principalmente al bajo caudal promedio que presentan estos puntos.

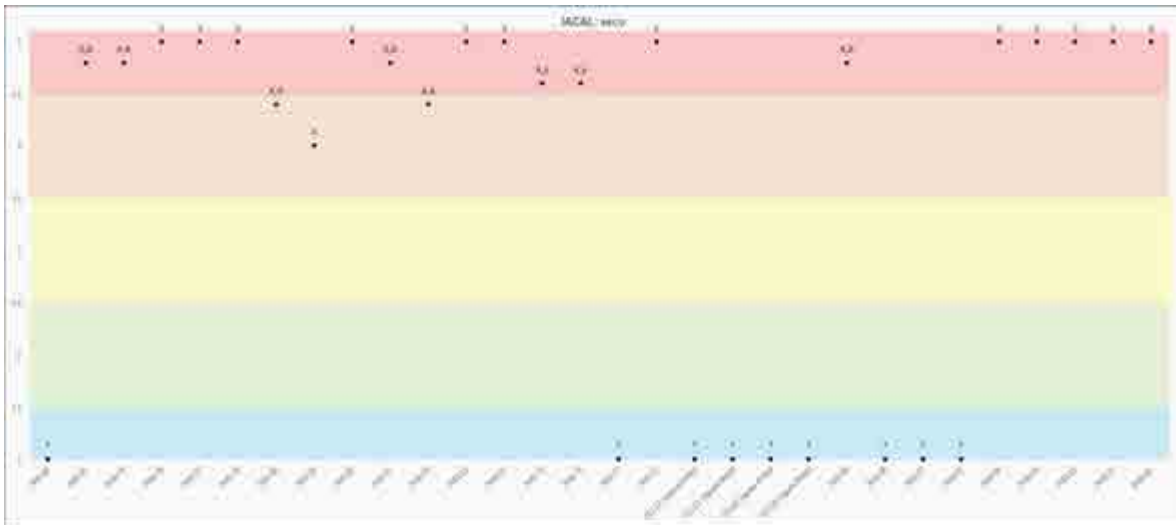


Figura 67. Resultados IACAL Seco

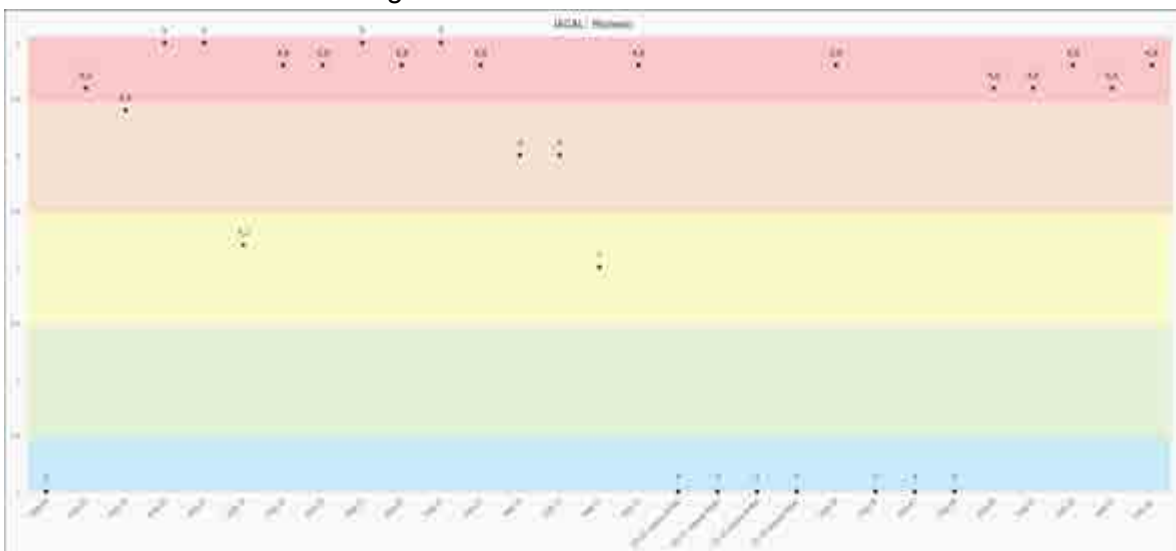


Figura 68. Resultados IACAL húmedo

#### 5.1.7.5.3 Índice de Langelier

El índice de Langelier, está basado en la saturación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Este evalúa el efecto del pH sobre el equilibrio de solubilidad del  $\text{CaCO}_3$ , por lo tanto, es un indicador de la tendencia de deposición de la película de  $\text{CaCO}_3$ . Frecuentemente es empleado para evaluar el potencial corrosivo del agua.

La determinación del índice de Langelier se realiza usando la Ecuación 6.

$$IL = pH_A - pH_S$$

Ecuación 6.

En donde:

IL es el Índice de Langelier (adimensional)

$pH_A$  es el pH actual del agua (unidades de pH)

$pH_S$  es el pH de saturación o pH al cual se logra el equilibrio calcico-carbónico del agua (unidades de pH)

El valor de  $pH_S$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$pH_S = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

Ecuación 7.

A, B, C y D se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{\log(SDT)-1}{10}$$

Ecuación 8.

$$B = -13,12 \log(T + 273,15) + 34,55$$

Ecuación 9.

$$C = \log(\text{Dureza Cálctica})$$

Ecuación 10.

$$D = \log(\text{Alcalinidad})$$

Ecuación 11.

En donde:

$SDT$  es la concentración de sólidos disueltos totales en la muestra de agua (mg/l)

$T$  es la temperatura del agua ( $^{\circ}C$ )

$DC$  es la dureza cálcica -para las muestras el cálculo se realiza con dureza total y cálcica (mg  $CaCO_3/l$ )

$ALC$  es la alcalinidad (mg  $CaCO_3/l$ ).

La clasificación general del índice de Langelier se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. Clasificación del índice de Langelier

Índice de Langelier	Clasificación
IL = 0	Agua en equilibrio químico
IL < 0	Agua con tendencia a ser corrosiva
IL > 0	Agua con tendencia incrustante

Fuente: (Arnalich, 2008)

Los resultados para el cálculo del índice de Langelier se exponen en la Figura 69 para el periodo seco y en la Figura 70 para el período húmedo. La tendencia general de los resultados es a la calificación de agua con tendencia a ser corrosiva, con un índice de Langelier menor a cero, el 50% de las mediciones en tiempo seco y el 81% en tiempo húmedo obtuvieron esta calificación. La calificación de tendencia incrustante puede estar asociada principalmente a valores de pH mayores a 8 unidades para ambos períodos analizados. Este pH alcalino se presentó durante la época húmeda en puntos que alrededor tenían actividades agrícolas (caña) y/o industriales; en un caso puntual (PAS-34) se identificó un vertimiento de una industria porcina.

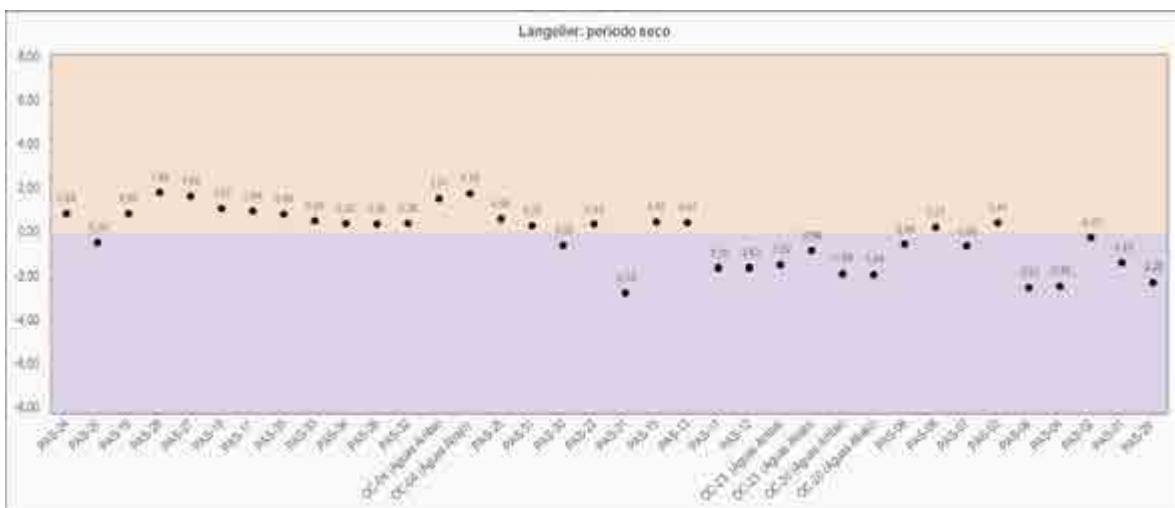


Figura 69. Resultados índice de Langelier, periodo seco.

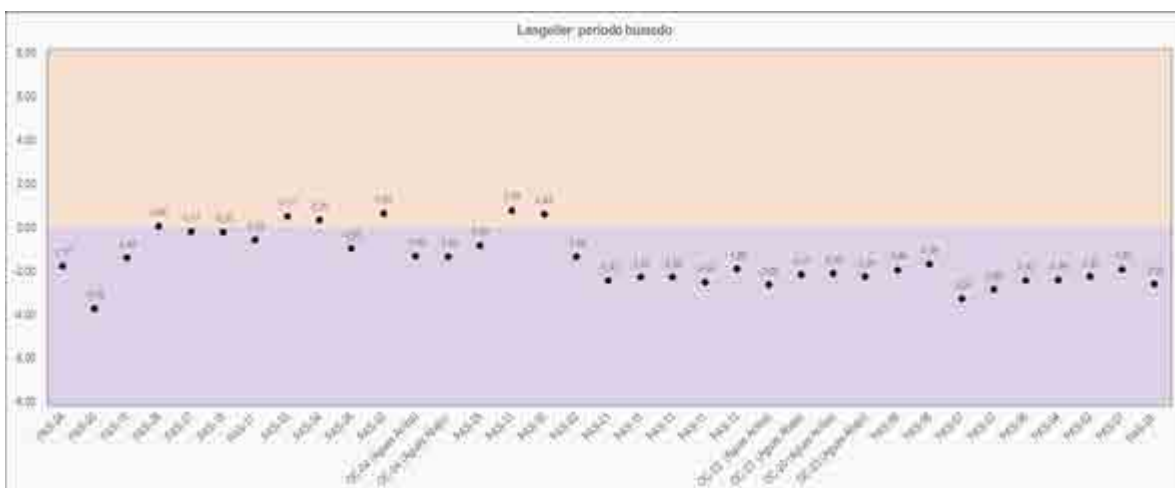


Figura 70. Resultados índice de Langelier, periodo húmedo.

#### 5.1.7.5.4 Capacidad Buffer

En relación con la Capacidad Buffer, se tomó como parámetro representativo la alcalinidad total, la cual está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y representa el principal sistema amortiguador de las aguas. Cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generan disminuciones del pH (acidificación).

Tabla 21. Clasificación de los Cuerpos de Agua Según su Alcalinidad total

Descripción	Alcalinidad (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Sensibles a contaminación	<20
Mínimo aceptable	20
Pobremente amortiguadas	< 25
Moderadamente amortiguadas	25 - 75
Muy amortiguadas	> 75

Los resultados para el cálculo de la capacidad Buffer, se presentan en la Figura 71 para periodo seco y Figura 72 para periodo húmedo. La gran mayoría de los puntos de medición en el periodo seco presentan la calificación de muy amortiguado.

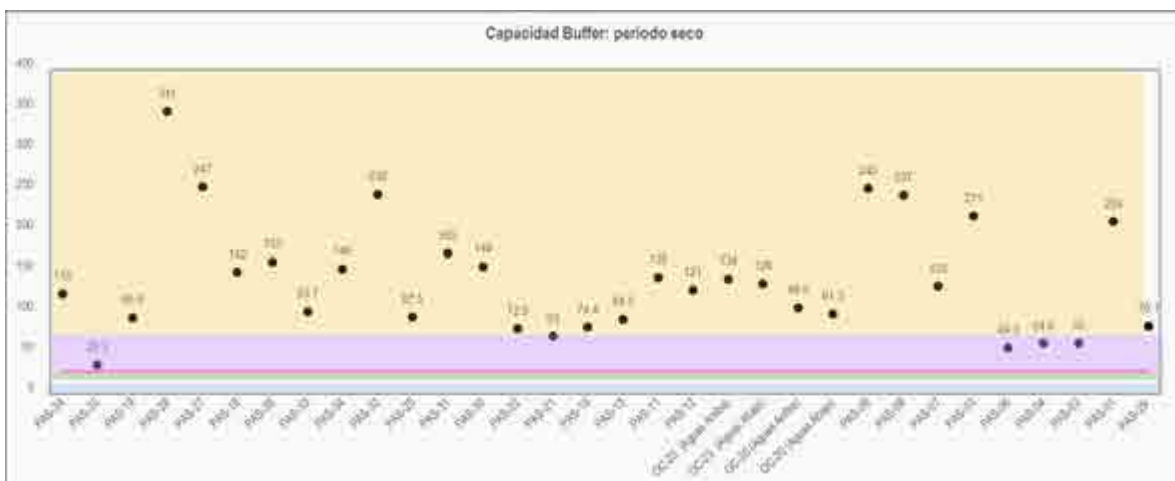


Figura 71. Resultados Capacidad Buffer, periodo seco



En el caso del periodo húmedo la clasificación de capacidad buffer se distribuye entre las categorías de amortiguado y muy amortiguado. Por otro lado, se identifica que los puntos PAS - 07 y PAS - 08 son sensibles a cambios de pH al presentar una alcalinidad total menor a 5 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

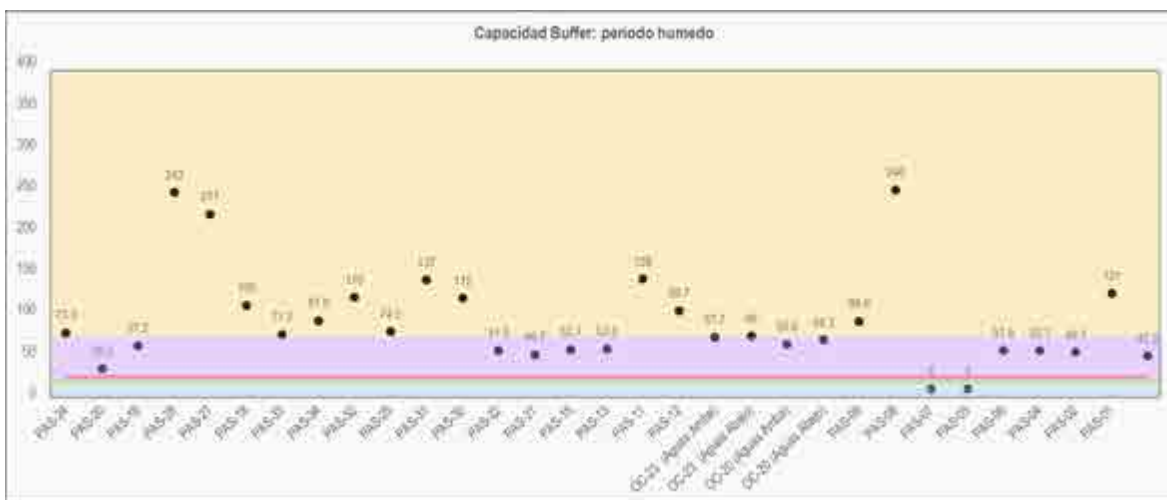


Figura 72. Resultados Capacidad Buffer, periodo húmedo

#### 5.1.7.5.5 Índices de contaminación ICOs

Los índices de contaminación ICO, se emplean para evaluar el grado de contaminación del agua con respecto a determinadas variables, estos índices tienen un rango de 0 a 1, donde 0 significa contaminación nula y 1 contaminación muy alta.

Tabla 22. Contaminación del agua según los valores de índices ICO

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Contaminación	Señal de alerta
0,8 - 1	Muy alta	Rojo
0,6 - 0,8	Alta	Naranja
0,4 - 0,6	Media	Amarillo
0,2 - 0,4	Baja	Verde
0 - 0,2	Ninguna	Azul

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007).

Las ecuaciones de cálculo y resultados de los índices ICO se exponen a continuación.

#### 5.1.7.5.5.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Conformado por la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y el porcentaje de saturación del oxígeno. Éstos en su conjunto, recogen efectos de distintas fuentes de contaminación orgánica, sin estar los unos correlacionados con los otros.

Tabla 23. Ecuaciones para el cálculo del ICOMO

Variable	Descripción
Oxígeno disuelto (OD)	$I_{Oxígeno\ \%} = (1 - 0,01 * oxígeno\%)$
Coliformes totales	$I_{Coliformes} = - 5,44 + (0,56 \text{ Log}(\text{coliformes totales}))$
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)	$I_{DBO} = - 0,05 + (0,7 \text{ Log}(DBO))$

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007).

El ICOMO se calcula como el promedio de los índices de oxígeno disuelto, coliformes totales y DBO. En la Figura 73 se presentan los resultados del cálculo del índice ICOMO para periodo seco y en la Figura 74.

En los resultados para el periodo seco, la mayoría de los puntos se clasifican en la categoría de ninguna contaminación o contaminación baja por materia orgánica. Únicamente los puntos PAS - 24, PAS - 28, PAS - 27, PAS - 33, PAS - 35, PAS - 31, PAS - 11, PAS - 07 y PAS - 03 se categorizan con contaminación media por materia orgánica, esto al presentar valores por encima de 15000 NMP/100 ml de coliformes totales, concentraciones mayores a 15 mg/l de DBO<sub>5</sub> y/o baja saturación de oxígeno disuelto.

Únicamente se asigna la contaminación alta al punto PAS-08, el cual presenta elevadas concentraciones de coliformes totales y una saturación de oxígeno disuelto por debajo del 20%; esta condición puede estar asociada a que el sistema se encontró encharcado, con zonas secas y lodosas que puede facilitar el crecimiento de estos microorganismos.

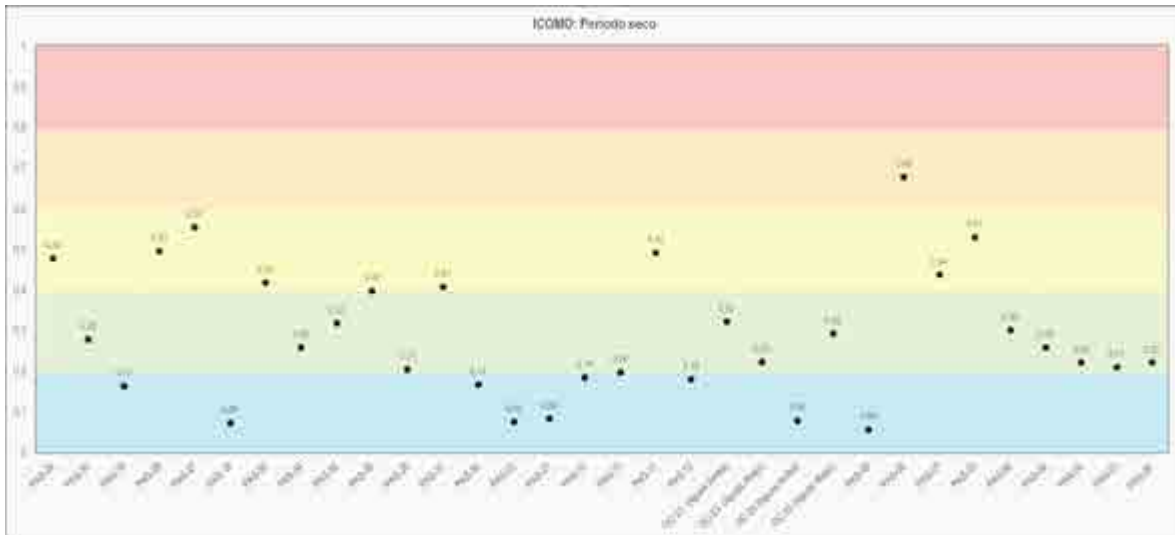


Figura 73. Resultados ICOMO, periodo seco

Para los resultados de tiempo húmedo, aumenta la cantidad de puntos con contaminación media por materia orgánica en periodo seco en periodo húmedo. Esto se asocia principalmente al aumento de concentraciones de coliformes totales.

El punto PAS - 08 que en periodo seco se calificó con alta contaminación por materia orgánica, en periodo húmedo presenta menor concentración de coliformes totales y sobresaturación de oxígeno disuelto, por lo cual tiene asociada una baja contaminación por materia orgánica.

Por último, se registra un punto con contaminación alta el punto OC - 23 (Aguas Abajo) y 3 puntos con contaminación muy alta (PAS 24, PAS - 28 y PAS - 27); esto podría ser causado por la alta concentración de coliformes que a su vez está asociado con las características de dichos cuerpos (sistemas estancados, presencia de residuos sólidos y excremento de animales de la industria ganadera).

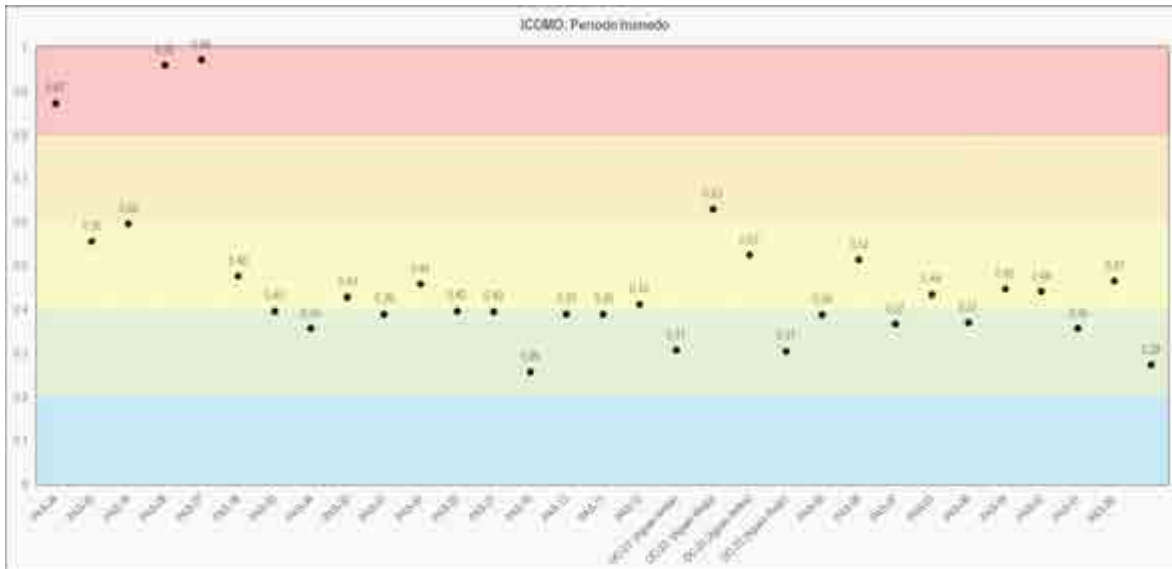


Figura 74. Resultados ICOMO, periodo húmedo

5.1.7.5.5.2. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Integra los siguientes parámetros: conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por recoger los cationes de calcio y magnesio y la alcalinidad por relacionarse con los aniones de carbonatos y bicarbonatos.

Tabla 24. Ecuaciones para el cálculo del ICOMI

Variable	Ecuaciones de cálculo
Conductividad	$I_{\text{Conductividad}} = 10^{-3,26 + (1,34 \text{ Log}_{10}(\text{conductividad}))}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>\text{conductividad} \geq 270</math>, entonces <math>I_{\text{conductividad}} = 1</math></li> </ul>
Alcalinidad	$I_{\text{Alcalinidad}} = -0,25 + 0,005(\text{Alcalinidad})$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>\text{Alcalinidad} \leq 50</math>, entonces <math>I_{\text{Alcalinidad}} = 0</math></li> <li>• Si <math>\text{Alcalinidad} \geq 250</math>, entonces <math>I_{\text{Alcalinidad}} = 1</math></li> </ul>

Variable	Ecuaciones de cálculo
Dureza total	$I_{Dureza} = 10^{-9,09 + (4,4 \text{ Log}_{10}(Dureza))}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sí Dureza <math>\leq 30</math>, entonces <math>I_{Dureza} = 0</math></li> <li>• Sí Dureza <math>\geq 100</math>, entonces <math>I_{Dureza} = 1</math></li> </ul>

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007)

El ICOMI se calcula como el promedio de los índices de conductividad, alcalinidad y dureza total. En la Figura 75 se presentan los resultados del cálculo del índice ICOMI para el periodo seco y en la Figura 76 para el periodo húmedo.

Se presenta mayor contaminación por materia orgánica muy alta en periodo seco. Esto es coherente con los resultados de dureza total, alcalinidad y conductividad reportados.

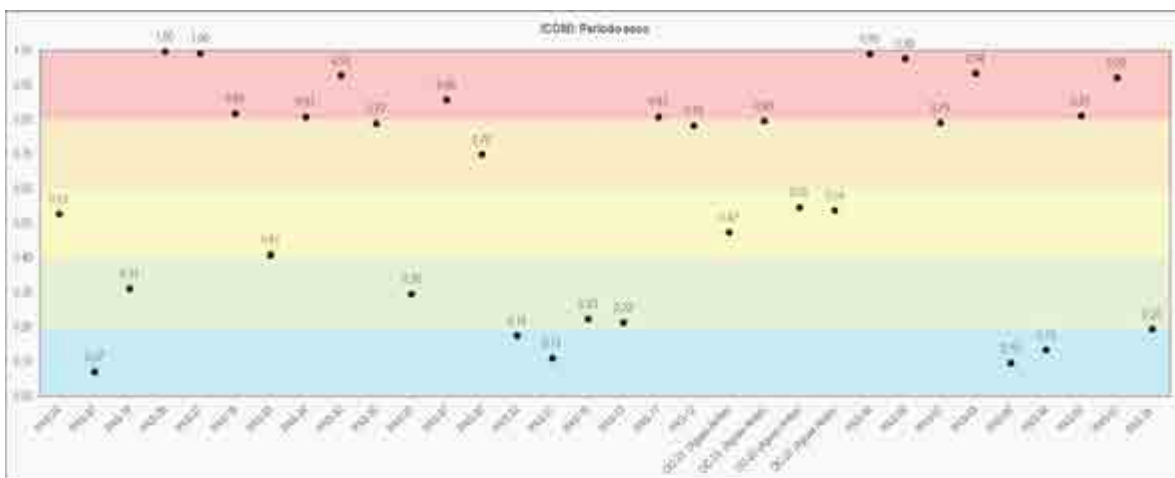


Figura 75. Resultados ICOMI, periodo seco

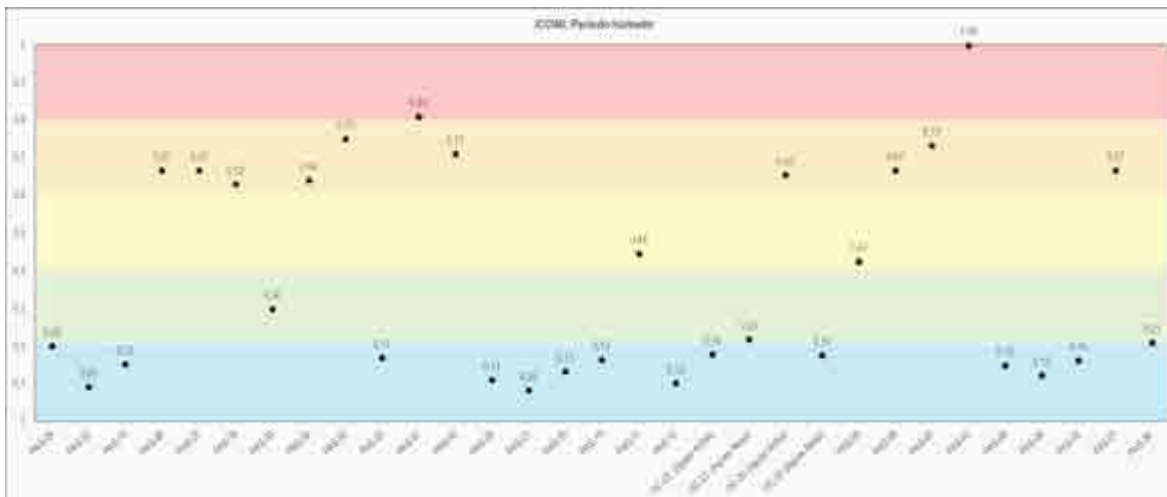


Figura 76. Resultados ICOMI, periodo húmedo

Con respecto al período húmedo, se presenta mayor contaminación por materia orgánica muy alta en los puntos PAS -31 y PAS 03.

5.1.7.5.5.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos totales (ICOSUS)

Hace referencia a la contaminación de sólidos suspendidos totales como compuestos inorgánicos.

Tabla 25. Ecuaciones para el cálculo del ICOSUS

Variable	Ecuaciones de cálculo
Sólidos suspendidos totales	$I_{SST} = -0,02 + (0,0003 SST)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>● Si <math>SST \leq 10</math>, entonces <math>I_{SST} = 0</math></li> <li>● Si <math>SST \geq 340</math>, entonces <math>I_{SST} = 1</math></li> </ul>

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007)

En la Figura 77 se presentan los resultados del cálculo del índice ICOSUS para el periodo seco y en la Figura 78 para el periodo húmedo.



En los resultados de periodo seco, se encuentra que únicamente el punto PAS - 20 presenta contaminación media asociada a sólidos suspendidos totales. Por otro lado, el punto PAS - 35 presenta la mayor contaminación por materia orgánica muy alta. Los puntos restantes presentan baja o ninguna contaminación.

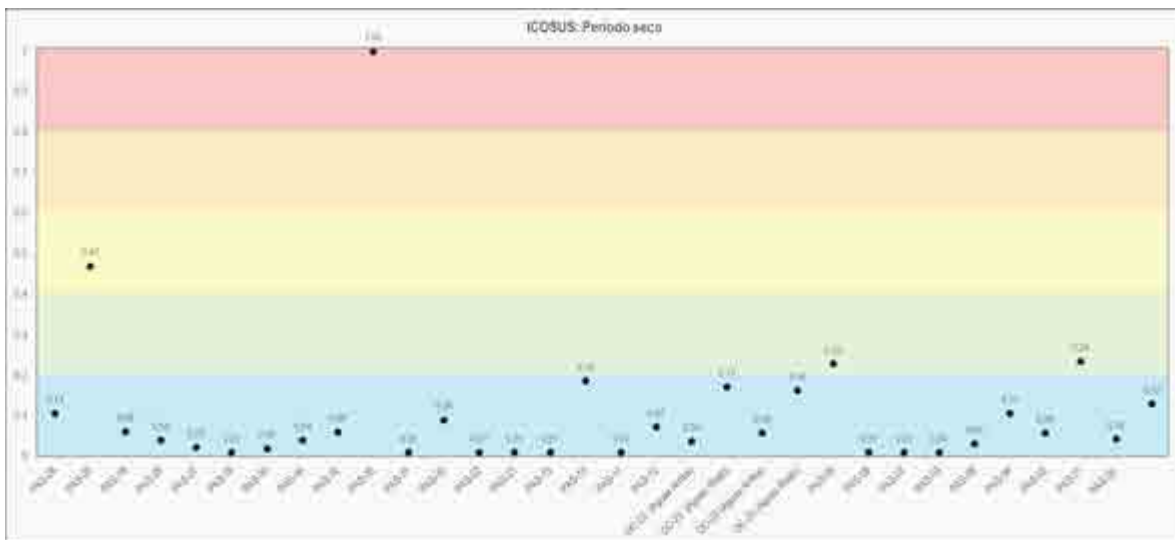


Figura 77. Resultados ICOSUS, periodo seco.

En el período húmedo, los puntos PAS - 20, PAS - 34 y PAS - 11, presentan contaminación media por SST. Por otro lado, los puntos PAS - 24 y PAS - 09 se categorizan como con contaminación alta y muy alta por SST dado que los valores medidos fueron de 236,7 mg/L y 488,9 mg/L respectivamente; estos valores pueden estar relacionados con ser un sistema estancado (humedal) y con las características de agua blanca y turbia del punto PAS - 09. Los puntos restantes presentan baja o ninguna contaminación.

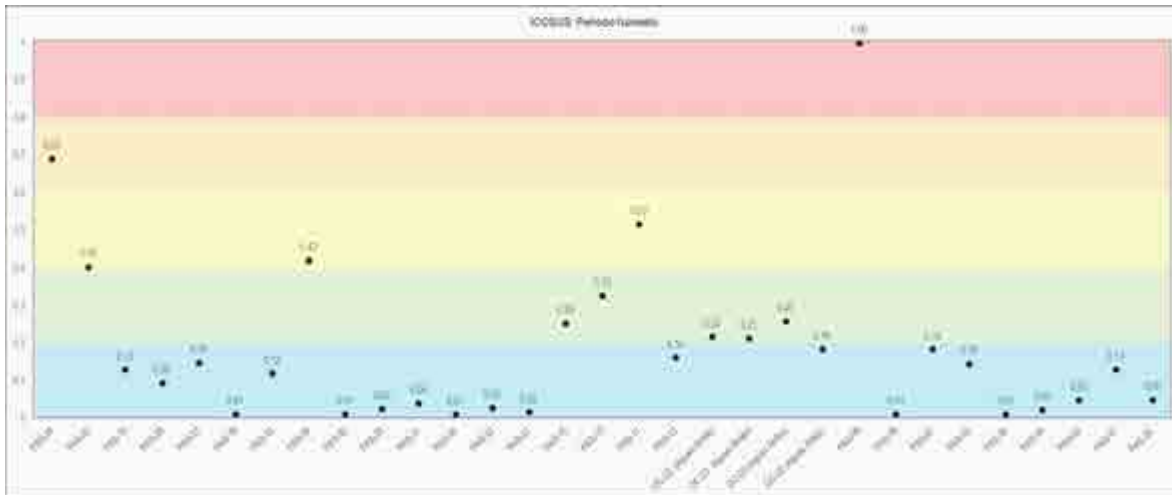


Figura 78. Resultados ICOSUS, periodo húmedo

5.1.7.5.5.4. Índice de contaminación por pH (ICOpH)

Estima el nivel de contaminación teniendo en cuenta el valor del pH.

Tabla 26. Ecuaciones para el cálculo del ICOpH

Variable	Ecuaciones de cálculo
pH	$I_{pH} = \frac{e^{-31,08+3,45 pH}}{1 - e^{-31,08+3,45 pH}}$

Fuente: Centro de investigaciones en hidroinformática. (2007)

Los resultados del ICOpH, se presentan en la Figura 79 para el periodo seco y en la Figura 80 para el periodo húmedo. En general para ambos períodos no se encuentra contaminación por pH, no obstante, las mediciones que en época seca presentaron un pH mayor a 8,5 unidades, como los puntos PAS-20 (río Cauca), PAS-27 (río Párraga) y PAS-35 (río Agua Clara), corresponden a aquellos puntos donde se clasifican como contaminación baja. Por otro lado, en el período húmedo se presentaron 3 puntos con contaminación media, la cual se asocia con un pH menor a 5,5 unidades; esta condición se presentó en el río Cauca (PAS-20), la quebrada El Pital (PAS-11) y la quebrada sin nomenclatura (Afluente quebrada Cháscara).

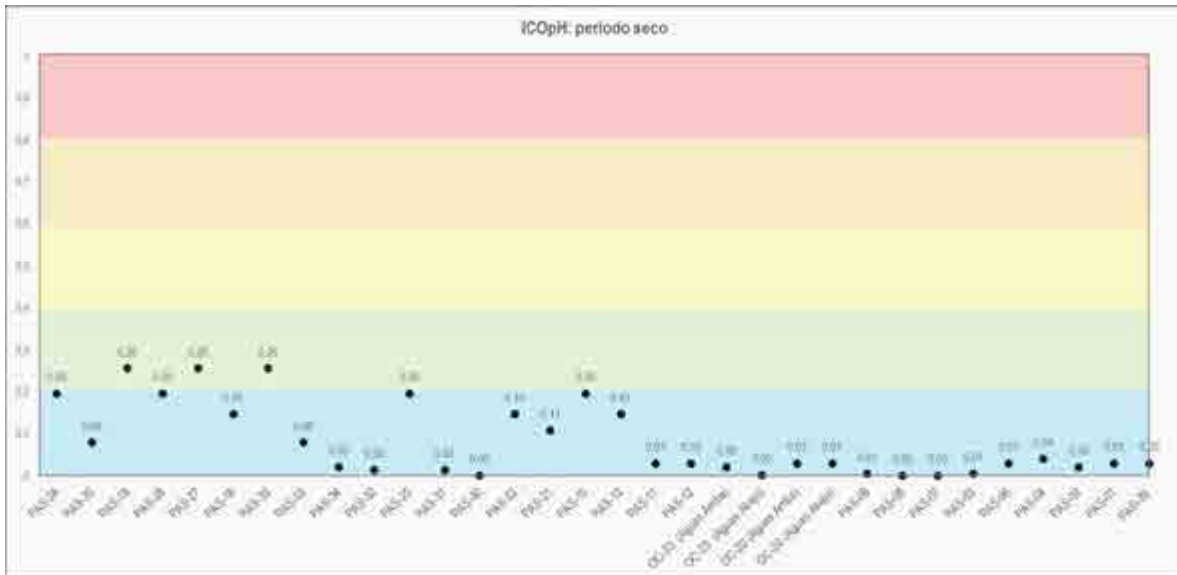


Figura 79. Resultados ICOpH, periodo seco

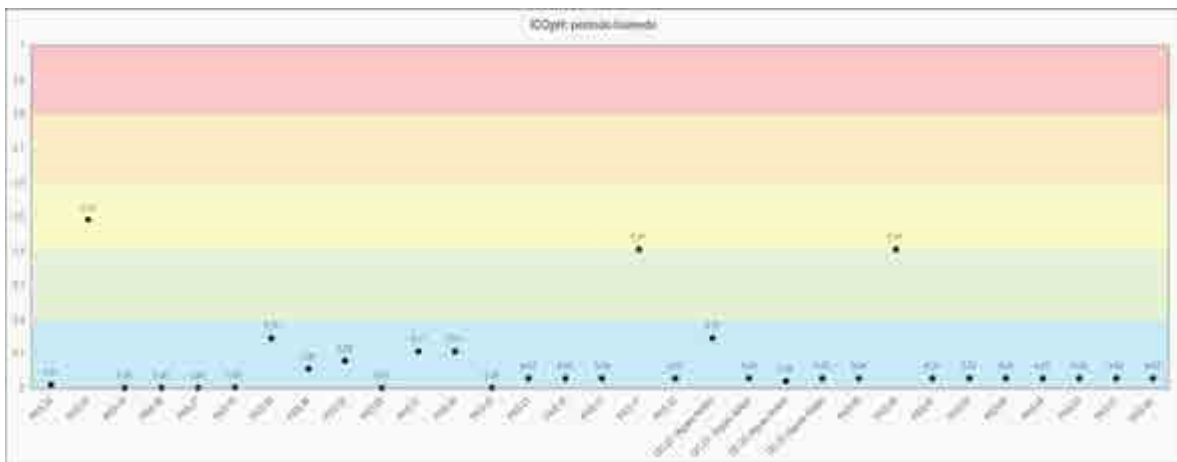


Figura 80. Resultados ICOpH, periodo húmedo

#### 5.1.7.5.5.5. Índice de contaminación por trófia (ICOTRO)

Hace referencia al estado trófico de un cuerpo de agua, dependiendo de la concentración de fósforo total presente en este. Para este índice de contaminación se presenta una clasificación diferente a la expuesta en la Tabla 22, la clasificación se expone en la Tabla 27.

Tabla 27. Clasificación de índice ICOTRO

Concentración de fósforo total (mg/l)	Contaminación	Señal de alerta
> 1	Hipereutrófia	Rojo
0,02 - 1	Eutrófia	Amarillo
0,01 - 0,02	Mesotrófia	Verde
0 - 0,01	Oligotrófia	Azul

Fuente: Centro de investigaciones en hidroyformática. (2007)

Los resultados del índice ICOTRO, se presentan en la Figura 81 para periodo seco y Figura 82 para periodos húmedo, nótese que el eje y (Resultado del índice ICOTRO) se presenta en escala logarítmica, dado el rango de variación para la categorización de este índice.

En general se encuentra que los cuerpos de agua estudiados se encuentran en un estado de eutrófia para ambos periodos hidrocimáticos. El único cuerpo de agua en la categoría de hiper-eutrófia corresponde a la quebrada Chontaduro (PAS - 28) en ambos periodos. Este cuerpo de agua está impactado por la actividad ganadera porcina que sucede a su alrededor y también se evidenció la presencia de residuos sólidos en las orillas, ambas condiciones pueden estar aumentando la presencia de fósforo en el cuerpo de agua.

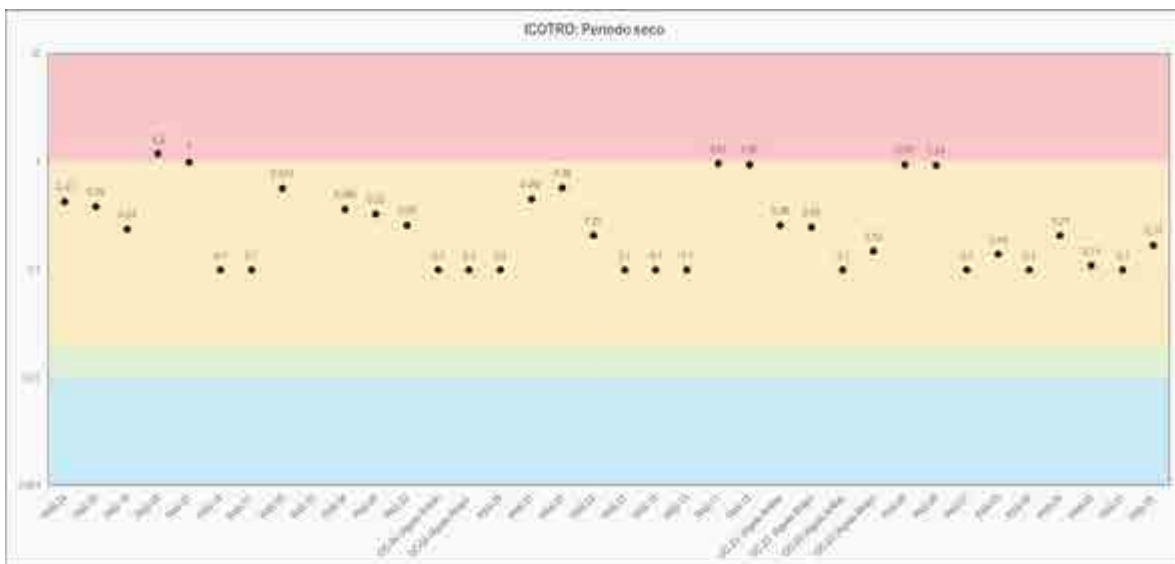


Figura 81. Resultados ICOTRO, periodo seco

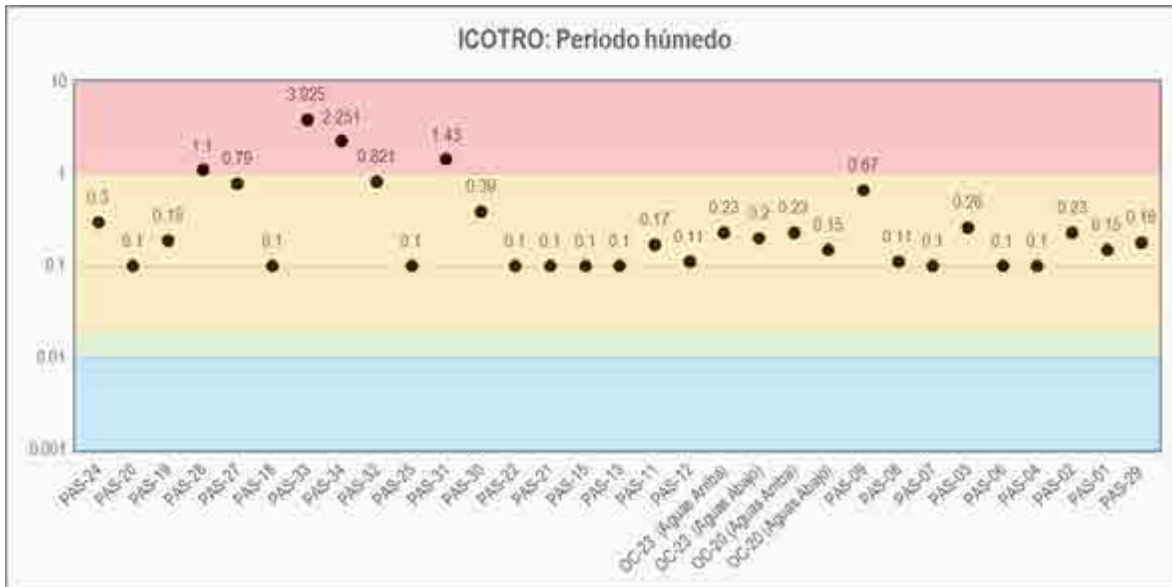


Figura 82. Resultados ICOTRO, periodo húmedo

### 5.1.7.6 Conclusiones

#### 5.1.7.6.1 Conclusiones con respecto a las variables de calidad del agua

La temperatura del agua en los cuerpos estudiados se presenta en un rango entre 17 y 28,3 °C tomando los datos de ambos períodos de muestreo. Para el caso del cuerpo de agua léntico humedal río Cauca (PAS-24) se supera el límite impuesto como objetivo de calidad del agua por la CVC en la resolución Resolución No. 0686 de 2006, el cual corresponde a 24 °C.

El pH en los cuerpos de agua estudiados durante el período seco varía entre los 5,6 y 8,7 unidades de pH; mientras que para el período húmedo está en el rango entre 5 y 8,5 unidades de pH. De este modo, el agua se encuentra en el rango permisible para los usos de consumo humano (tratamiento convencional) y agrícola, establecido en el decreto 1076 de 2015. Por otro lado, para el uso de consumo humano (desinfección) el 28% (en tiempo seco) y 64% (en tiempo húmedo) de los cuerpos de agua analizados se encuentran ligeramente por debajo del rango permisible (6,5 unidades de pH). Teniendo en cuenta lo anterior, en la mayoría de los puntos analizados se presenta una contaminación nula por pH, calificación de acuerdo al índice ICOPH. Únicamente 2 puntos

---

de la época húmeda presentan contaminación media por pH, estos corresponden a los puntos en los que se registró un pH menor o igual 5 unidades.

La acidez es una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. Si el agua contiene más iones de hidrógeno tiene una mayor acidez, caso contrario cuando el agua que contiene más iones de hidróxido indica un rango básico. Teniendo en cuenta los reportes de monitoreo se evidencia que el 70 % de los puntos medidos la acidez se reportó por debajo del límite de cuantificación de las pruebas de laboratorio ejecutadas, el cual corresponde a 5 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . En el periodo húmedo, esta situación se presenta para el 53% de los datos, La concentración de acidez puede estar asociada a vertimientos provenientes de aguas residuales y de las rocas cercanas a los diferentes cuerpos de agua.

La alcalinidad en los cuerpos de agua estudiados se presenta en un rango entre <5 y 341 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . Sin embargo, en periodo seco un 73% de los puntos presentan valores de alcalinidad mayores a 75  $\text{CaCO}_3$  lo que corresponde a una calificación de muy amortiguado de acuerdo a la capacidad Buffer. En periodo húmedo un 33% de los puntos corresponden al rango de Muy amortiguado y un 60% de los puntos presentan valores de alcalinidad entre 25 y 75  $\text{CaCO}_3$  lo que corresponde a una calificación de moderadamente amortiguado de acuerdo a la capacidad Buffer.

La dureza total en los cuerpos de agua estudiados se presenta en un rango entre <7 y 375 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . El 20% de los puntos en tiempo seco y el 7% en tiempo húmedo corresponden a agua Muy Dura. El 17% de los puntos en periodo seco y húmedo corresponden a agua dura. El 43% de los puntos en tiempo seco y el 47% en tiempo húmedo corresponden a agua moderadamente dura.

La conductividad del agua se presenta en un rango entre 36 y 1.033 uS/cm. Para el 84% de los puntos se presentó una mayor conductividad en tiempo seco que en tiempo húmedo, lo cual es coherente con los resultados de otras sales disueltas como calcio, magnesio, sodio y sulfatos.

Con respecto a los sólidos suspendidos totales se encuentra que la concentración en los puntos de calidad del agua superficial se encuentra en un rango entre < 10 a 488 mg/l. Las concentraciones de sólidos suspendidos totales mayores a 100 mg/l, se presentan en periodo húmedo, con excepción del punto PAS-20 que corresponde al río Cauca, este presenta concentraciones mayores a 100 mg/l en los dos periodos. De este modo, para el 90% de los puntos, en tiempo seco se presenta una contaminación nula por sólidos suspendidos totales (de acuerdo con el índice ICOSUS) mientras que en tiempo húmedo este porcentaje baja a 77%.



---

En general los cuerpos de agua estudiados presentan una concentración apta para la preservación de la flora y la Fauna (mayor a 5 mg/l). En el 27% de los puntos se presenta un oxígeno disuelto menor a 3 mg/l en uno de los dos periodos evaluados.

En el 80% de los puntos en tiempo seco y 60% en tiempo húmedo la concentración de DBO<sub>5</sub> se presentó por debajo de los límites de cuantificación de los métodos de medición en laboratorio empleados. En los puntos con mayor concentración de DBO<sub>5</sub> se presenta igualmente la menor concentración de oxígeno disuelto.

La concentración de DQO se presenta en un rango entre <10 y 257 mg/l. Los valores pico de DQO coinciden con los valores pico de DBO.

Con respecto a las variables de conductividad, sólidos suspendidos totales, DBO y oxígeno disuelto se analizan de manera conjunta en el índice ICA. En el caso de tiempo seco el 43% de los puntos presentan una calidad aceptable y el 47% una calidad regular, mientras que en tiempo húmedo el 47% de los puntos corresponden a una calificación aceptable y 33% regular. La disminución de la calificación de la calidad del agua se atribuye principalmente a los elevados valores de conductividad.

Con respecto a las especies de nitrógeno asociadas a consumo de oxígeno (nitrógeno total Kjeldahl), se encuentra que en el 73% y 86% de los puntos medidos en los periodos seco y húmedo, respectivamente, los valores se reportaron por debajo del límite de cuantificación. Con respecto a las formas oxidadas de nitrógeno (nitratos y nitritos), se encuentra que únicamente en el punto PAS-07 asociado a una quebrada innominada existe un sobrepaso de la normatividad para uso doméstico del agua asociado a los nitratos.

Con respecto al fósforo total, se encuentra que un 97% de los cuerpos de agua medidos en periodo seco y húmedo presentan condiciones de eutrofia. Únicamente el punto PAS-28 medido en la quebrada Chontaduro presenta una concentración asociada a hipereutrofia.

Con respecto a los coliformes totales y fecales para el periodo seco en general (90 y 93 % respectivamente) se presenta una concentración por debajo de los límites máximos permisibles para uso doméstico y agrícola. En periodo húmedo el 83% (en el caso de los coliformes totales) y 53% (en el caso de los coliformes fecales) de los puntos medidos presentan un deterioro de la normatividad. De este modo, hay un deterioro de las condiciones microbiológicas en el periodo húmedo con respecto al periodo seco.

---

En el 30% de los puntos únicamente para la época húmeda hay un sobrepaso del límite máximo permisible presentado para uso agrícola y pecuario para la concentración de aluminio. En periodo seco no se presenta sobrepaso de la normatividad en ningún caso.

Para el caso del boro, en todos los casos la concentración se presenta por debajo del límite de cuantificación de los métodos de laboratorio empleados el cual corresponde a <0,1 mg/l. De este modo, la concentración de boro está en todos los casos por debajo del rango especificado por la resolución 1076 de 2015 para uso agrícola del agua (0,3 a 0,4 mg/l), cabe aclarar que este rango se establece dependiendo del tipo de suelo y tipo de cultivo.

Para todos los puntos medidos en época seca la concentración de cromo total se reporta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición. Por otro lado, en época húmeda se reportan concentraciones de cromo total entre 0,058 y 3,96 mg/l. Dado que la concentración reportada es de cromo total y no de cromo hexavalente, no se puede identificar si se incumplen los límites normativos para usos del agua.

En el 30% de los puntos para la época húmeda y 6% en época seca hay un sobrepaso del límite máximo permisible presentado para uso agrícola para la concentración de hierro.

En el 13 % de los puntos para la época húmeda y 20% en época seca hay un sobrepaso del límite máximo permisible presentado para uso agrícola para la concentración de manganeso.

Únicamente en el punto OC 20 (Aguas abajo) en época seca se presenta una concentración de mercurio por encima del límite máximo permisible para consumo humano del agua.

En el 13% de los puntos únicamente para la época seca hay un sobrepaso del límite máximo permisible presentado para uso agrícola para la concentración de molibdeno. En periodo húmedo no se presenta sobrepaso de la normatividad en ningún caso.

Únicamente en el punto PAS - 19 río Fraile en época seca se presenta una concentración de níquel por encima del límite máximo permisible para uso agrícola del agua.

Únicamente en el punto PAS - 24 humedal río Cauca, en época seca se presenta una concentración de plata por encima del límite máximo permisible para consumo humano del agua.

---

Únicamente en el punto PAS - 18 río Bolo en época húmeda se presenta una concentración de plomo y selenio por encima del límite máximo permisible para consumo humano y pecuario del agua.

En el periodo húmedo se encuentra que en el 33% de los puntos analizados se presenta una concentración de fenoles por encima del límite máximo permisible para consumo humano.

Para el caso de las concentraciones de Arsénico, bario, berilio, cadmio, cobalto, cobre, litio, vanadio, zinc, compuestos fenólicos semivolátiles y cianuro total.

#### 5.1.7.6.2 Conclusiones con respecto a los cuerpos de agua

En el punto PAS - 24 correspondiente al humedal El Estero, se identifican concentraciones elevadas de Sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, nitrógeno total Kjeldahl y fenoles así como concentraciones bajas de oxígeno disuelto en el periodo húmedo. Por otro lado, en el periodo seco se identificaron concentraciones elevadas de plata. Por último para ambos periodos se identificaron concentraciones elevadas de DQO, Fósforo total, Coliformes totales y manganeso. La carga de elementos encontrada en el humedal está asociada a aguas del tipo residual doméstico y no doméstico en el caso de la plata y el manganeso.

En el punto PAS - 20 ubicado en el río Cauca se encontraron condiciones de contaminación asociadas a bajos valores de pH, sólidos suspendidos totales y coliformes totales. En específico para el periodo seco se identifican concentraciones elevadas de fósforo total e hierro y en el periodo húmedo coliformes fecales. La carga contaminante encontrada en el río puede estar asociada a la carga sólida de lavado natural en el cuerpo de agua y a agua residual doméstica en el caso de los coliformes totales.

En el punto PAS - 19 ubicado en el río Fraile se encontraron concentraciones elevadas de Coliformes totales para el periodo húmedo y cromo, hierro, manganeso, molibdeno y níquel en el periodo seco. La carga contaminante está entonces asociada mayoritariamente a aguas residuales no domésticas.

En el punto PAS - 28 asociado a la quebrada Chontaduro se presentaron valores elevados de conductividad, los cuales se asocian a iones disueltos tales como: Bicarbonatos, potasio, sodio, calcio y magnesio. Lo anterior está asociado a contaminación por compuestos inorgánicos. Por otro lado, en periodo húmedo se presentan valores bajos de oxígeno disuelto, en conjunto con valores elevados de  $DBO_5$ , DQO, nitrógeno total de

---

Kjeldahl, fósforo total, coliformes totales, coliformes fecales y fenoles. Estas condiciones se asocian a carga aportada por aguas residuales domésticas. El punto PAS - 28 en conjunto con los puntos PAS - 27 y PAS - 8 presentan los índices de contaminación orgánica e inorgánica más elevados de los cuerpos de agua estudiados.

El punto PAS - 27 ubicado en el río Párraga presentó una elevada conductividad eléctrica, la cual se asocia a concentraciones de bicarbonatos, potasio, calcio y magnesio. Por otro lado, en periodo húmedo se presentan valores bajos de oxígeno disuelto, en conjunto con valores elevados de DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno total de Kjeldahl, fósforo total, coliformes totales, coliformes fecales y fenoles. Adicionalmente, se presentan concentraciones elevadas de manganeso y en el periodo seco valores bajos de pH. El punto PAS - 27 en conjunto con los puntos PAS - 28 y PAS - 8 presentan los índices de contaminación orgánica e inorgánica más elevados de los cuerpos de agua estudiados.

En el punto PAS - 18 asociado al río Bolo únicamente para el periodo húmedo se identificaron concentraciones elevadas de Coliformes totales y coliformes fecales, indicadores de contaminación por aguas residuales domésticas, molibdeno, plomo y selenio, los cuales indican aportes de carga contaminante del tipo no doméstico.

En el punto PAS 25 ubicado en la quebrada Poleal se encontraron valores elevados de nitrógeno total de Kjeldahl en tiempo seco y de coliformes totales y coliformes fecales en tiempo húmedo. Lo anterior son indicadores de carga contaminante asociada a aguas residuales domésticas.

En el punto PAS - 22 ubicado en el río Guabas se encontraron valores elevados de coliformes totales y coliformes fecales en tiempo húmedo. Lo anterior son indicadores de carga contaminante asociada a aguas residuales domésticas.

Para el punto PAS - 21 asociado al río Guadalajara se identificó que el único elemento que se presenta en concentraciones elevadas corresponde al nitrógeno total de Kjeldahl, para el caso del periodo seco.

En el punto PAS - 15 ubicado en el río Tuluá se encontraron valores elevados de nitrógeno total de Kjeldahl y sólidos suspendidos totales en tiempo seco y de coliformes totales, coliformes fecales y fenoles en tiempo húmedo. Lo anterior son indicadores de carga contaminante asociada a aguas residuales domésticas.

En el punto PAS - 13 ubicado en el río Buga La Grande se encontraron valores elevados de nitrógeno total de Kjeldahl en tiempo seco y de coliformes totales, coliformes fecales y sólidos suspendidos totales en tiempo húmedo. Lo anterior son indicadores de carga

---

contaminante asociada a aguas residuales domésticas. Por otro lado, en tiempo húmedo se reportaron valores elevados de hierro y aluminio.

En el punto PAS - 11 ubicado en la quebrada El Pital se encontraron valores elevados de fósforo total y bajos de oxígeno disuelto en tiempo seco y de coliformes totales, sólidos suspendidos totales, DQO, aluminio, hierro, grasas y aceites e hidrocarburos totales en tiempo húmedo.

En el punto PAS - 12 ubicado en el río La Paila se encontraron valores elevados de fósforo total en tiempo seco y de coliformes totales, aluminio y hierro en tiempo húmedo.

Los puntos OC-23 (Aguas arriba y aguas abajo) ubicados en la quebrada Pan de Azúcar, se identificaron valores elevados de DQO, coliformes totales, aluminio, hierro, grasas y aceites e hidrocarburos totales solo en el muestreo en el periodo de tiempo húmedo. Por otro lado, únicamente en el punto aguas abajo se reportaron concentraciones elevadas de molibdeno y cromo total, esto es un indicativo del ingreso de estos elementos al sistema en el tramo comprendido entre ambos puntos. Por último, únicamente en el punto aguas arriba se presentaron concentraciones elevadas de sólidos suspendidos totales y manganeso y valores bajos de oxígeno disuelto. Lo anterior, es un indicativo de la capacidad de asimilación del cuerpo de agua hacia estos elementos en el tramo estudiado.

Los puntos OC-20 (Aguas arriba y aguas abajo) ubicados en la quebrada La Honda, se identificaron valores elevados de DQO, aluminio, hierro y grasas y aceites solo en el muestreo en el periodo de tiempo húmedo. Por otro lado, únicamente en el punto aguas abajo se reportaron concentraciones elevadas de fenoles y mercurio total, esto es un indicativo del ingreso de estos elementos al sistema en el tramo comprendido entre ambos puntos.

En el punto PAS - 09 ubicado en la quebrada Las Palmas, en el periodo seco se midieron valores elevados de conductividad, estos se asocian a la presencia de bicarbonatos, sodio, calcio y magnesio. Por otro lado, en el periodo húmedo se encontraron valores elevados de sólidos suspendidos totales, fósforo totales, coliformes totales y fecales, aluminio, hierro, manganeso y fenoles.

En el punto PAS - 08 el cual se ubica una quebrada innominada, se identificaron valores bajos niveles de pH (periodo húmedo) y oxígeno disuelto (periodo seco). Por otro lado, en ambos periodos de medición se reportaron valores elevados de conductividad asociados a la presencia de sales disueltas tales como: bicarbonatos, sulfatos (periodo seco), sodio, calcio y magnesio. Igualmente, se presentan concentraciones elevadas de fósforo total y coliformes totales

---

El punto PAS - 07 que se midió en una quebrada innominada, es el único punto en el cuál se registraron niveles elevados de nitratos (periodo húmedo) y tensoactivos (periodo seco). Adicionalmente en el periodo húmedo se evidenciaron concentraciones elevadas de coliformes totales.

En el punto PAS - 03 ubicado en la quebrada El Enfado, se encontraron en periodo seco niveles elevados de alcalinidad y dureza total, en periodo húmedo concentraciones elevadas de coliformes fecales y en ambos periodos, niveles bajos de oxígeno disuelto y concentraciones altas de coliformes totales, manganeso.

En el punto PAS - 06 asociado a la quebrada Playa Rica se midieron valores elevados Coliformes totales, coliformes fecales y felones en tiempo húmedo y cromo en tiempo seco.

El punto PAS - 04 el cual se ubicó en una quebrada innominada presentó concentraciones elevadas de Coliformes totales (en ambos periodos), coliformes fecales y fenoles (en tiempo húmedo) y molibdeno (en tiempo seco)

En el punto PAS - 02 ubicado en el río La Vieja se evidenciaron concentraciones elevadas de coliformes fecales en tiempo húmedo y de molibdeno y selenio en tiempo seco.

Para el caso de la quebrada La Tigrera, en la cual se ubica el punto PAS - 01, se han presentado valores elevados de bicarbonatos (alcalinidad) y magnesio (dureza total) en periodo seco. Por otro lado, en periodo húmedo se presentan concentraciones elevadas de Coliformes totales, coliformes fecales, aluminio, hierro y fenoles.

Para el caso de los resultados encontrados en el punto PAS - 29 medido en la quebrada grande, no se identifican concentraciones desfavorables de las variables analizadas en el presente estudio.

#### 5.1.7.6.3 Conclusiones con respecto a los índices de calidad de agua y de contaminación

El índice de calidad de Agua - ICA, con las variables de saturación de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, DQO, conductividad y pH. En cuanto al tiempo seco se obtuvo una calidad del agua de regular y aceptable en el 47% y 43% de los puntos respectivamente. El 10% restante de los puntos de monitoreo presentan una calificación de mala. Lo anterior puede estar asociado a concentraciones altas de DQO y de SST. De otro lado en tiempo húmedo se presentan el 47 % y el 33 % de los puntos de monitoreo con una calificación de aceptable y regular respectivamente, lo cual está asociado a las



---

altas concentraciones de aumento en la concentración de DQO y baja concentración de saturación de oxígeno.

Para el índice de la alteración potencial de la calidad del agua (IACAL) determina la relación entre la carga contaminante y la oferta hídrica de un cuerpo de agua superficial para un año medio o un año seco. Teniendo en cuenta que el IACAL requiere de una medición de carga (producto de caudal y concentración), no es posible calcular este índice en los puntos en los que no se pudo ejecutar la medición de caudal por las condiciones del cuerpo de agua. Para las cargas medidas en tiempo seco, se encuentra que en todos los casos se presenta una presión por contaminación muy alta. Por otro lado, para las condiciones de carga promedio (promedio del periodo húmedo y seco), se encuentra que la presión se encuentra en los rangos de alta y muy alta, con excepción del punto PAS - 11, en los cual la presión es media - alta.

El índice de Langelier generalmente es utilizado para evaluar el potencial corrosivo del agua, indicando que los puntos de monitoreo calificados con tendencia a ser incrustantes, presentan valores cercanos a cero, por lo cual, no es una tendencia fuerte. Esta calificación se asocia principalmente a los valores de pH menores a 7 unidades.

La capacidad de Buffer indica la capacidad del sistema amortiguador de las aguas. En los monitoreos realizados se evidencia que la gran mayoría de los puntos de medición en el periodo seco presentan la calificación de muy amortiguado mientras que del periodo húmedo la clasificación de capacidad buffer se distribuye entre las categorías de amortiguado y muy amortiguado. Lo anterior indica que las aguas no son sensibles a la contaminación, ya que tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generan disminuciones del pH; exceptuando los puntos puntos PAS - 07 y PAS - 08 en periodo húmedo ya que son sensibles a cambios de pH al presentar una alcalinidad total menor a 5 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

El índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en período seco se presenta en una categoría alta para el punto PAS - 08. Los demás puntos se presentaron en las categorías entre ninguna y media. Para el periodo húmedo se presenta en la categoría alta para el punto OC - 23 (Aguas Arriba) y en la categoría muy alta, los puntos PAS - 24, PAS - 28 y PAS - 27. Estos valores indican la presencia moderada de materia orgánica en los cuerpos de agua, ocasionada por el ingreso de materia orgánica de origen natural y/o antrópico y también señala que la materia orgánica está siendo degradada, consumida u oxidada.

El índice de contaminación por mineralización (ICOMI) indica que se presenta contaminación por materia orgánica con categoría muy alta. El porcentaje de dicha

---

categoría se presenta un 41% de los puntos monitoreados para periodo húmedo y seco respectivamente.

El Índice de contaminación por sólidos suspendidos totales (ICOSUS), refleja que en el periodo seco, los puntos de monitoreo se ubican en la categoría de baja o ninguna contaminación a excepción del PAS - 35 asociada a sólidos suspendidos totales. En cuanto al período húmedo los puntos que se encuentran en una categoría diferente a baja o ninguna contaminación son los puntos PAS - 20, PAS - 34 y PAS - 11 con una categoría de contaminación media. En cuanto a la categoría alta y muy alta se presentan los puntos PAS - 24 y PAS - 09.

El Índice de contaminación por pH (ICOPH) en periodo seco y húmedo de manera general no se presenta contaminación por pH, sin embargo los monitoreos realizados en los puntos PAS - 20 y PAS - 27 en periodo seco y PAS - 20, PAS - 11 y PAS - 08 en periodo húmedo presentan una contaminación de categoría media.

El Índice de contaminación por trófia (ICOTRO) se presenta un estado de eutrófia para ambos periodos hidrolimáticos. El único cuerpo de agua en la categoría de hiper eutrófia corresponde a la quebrada Chontaduro (PAS - 28) en ambos periodos.

### **5.1.8 Usos del Agua**

A continuación se presentan los resultados de la recopilación de información asociada a los usos y usuarios presentes en el área de influencia. En primer lugar se realizó un reconocimiento de campo en el año 2017 por parte de Consultoría Colombiana S.A. CONCOL y otro recorrido en el año 2020 por parte de INGETEC S.A.S; este último con el fin de verificar los usos y usuarios en los cuerpos de aguas donde se ubicaran las ocupaciones de cauce.

Posteriormente se establecen los usuarios que se encuentran registrados en las bases de datos de las autoridades ambientales competentes: corporación autónoma regional del Valle del Cauca (CVC) y la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), los cuales fueron requeridos mediante la solicitud de información: GEB 0574-06890-2020-S, con radicado CVC 633932020 y GEB 0574-04956-2020-S con radicado No. 12372, respectivamente.

Por último se acude a fuentes de información secundaria tales como el POMCA de las cuencas presentes en el área de estudio, los objetivos de calidad del agua encontrados para los cuerpos de agua y los usuarios registrados en el SIRH.

---

#### 5.1.8.1 Identificación de usos actuales (Recorrido de campo)

En el presente numeral se consigna la información primaria recopilada en recorridos de campo destinados a la identificación de usos y usuarios del recurso hídrico presentes en el área de influencia del proyecto. En primera instancia se consigna la información recopilada en el año 2017 por la consultora Consultoría Colombiana S.A. En este caso se realizó un recorrido por los 114 predios presentes en el área de influencia, con el fin de identificar las fuentes de agua asociadas a cada predio y los usos de estas fuentes hídricas. En segunda instancia se presentan los recorridos realizados en el año 2020 y 2021 por el consultor INGETEC. En este caso, los recorridos se enfocaron en los puntos de ocupación de cauce y los cuerpos hídricos susceptibles a estos permisos ambientales.

##### 5.1.8.1.1 Reconocimiento de campo 1 - año 2017

Los usos y usuarios identificados en el año 2017 se pueden observar en detalle en la Tabla 28 y Tabla 29, donde se relaciona el predio, el uso que dan al recurso hídrico y la fuente de abastecimiento. Igualmente, se puede ver que los usos principales a los que se destina este recurso son consumo humano, doméstico, recreación, agroindustrial y en especial la actividad pecuaria, pues en la gran mayoría de predios ubicados en el área de influencia del proyecto se tiene esta actividad; seguido en importancia por la agricultura, dada la cantidad y variedad de cultivos que se siembran en el área.

A continuación se describen los usos encontrados y descritos en la Tabla 28.

- 1- Consumo humano
- 2- Pecuario
- 3- Agroindustrial (Caña)
- 4- Agrícola
- 5- Porcino
- 6- Avícola
- 7- Piscícola
- 8-Recreación

Tabla 28. Usos y usuarios identificados en el área de estudio durante recorridos en campo  
 - 2017 - Agua superficial

ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO											
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8				
3	Captación de agua superficial para acueductos veredales	Valle del Cauca Zarzal La Paila	El Diamante	Caño	4664139,19	2036455,11		X										
5			La India	Río	4662359,89	2033180,04	X	X										
6			Trinidad el Alto	Caño	4662040,33	2033969,49		X										
7			La India	Río	4662199,88	2033187,54		X										
8			La Esmeralda	Caño	4663378,85	2033851,96		X										
9			Villa Mariela	Quebrada	4663876,33	2036540,81		X										
10			Macumba	Caño	4662012,79	2034178,2		X										
11			El Carmen	Caño	4659613,44	2028633,08		X										
12		Valle del Cauca Zarzal Vallejuelo	El Galpón	Caño	4665907,12	2042107,19		X										
13			Villa Eugenia	Caño	4665876,37	2043855,15		X										
14			El naranjal	Caño	4667453,83	2043106,29		X										
17	Rancho Alegre		Caño	4664956,27	2039800,68		X											
38	Captación agua superficial en predio	Valle del Cauca Candelaria Juanchito	Ingenio Mayaguez	Quebrada	4629909,16	1934633,8			X									
39		Valle del Cauca Candelaria San Joaquín	Finca el Navarro	Río	4614689,84	1931243,34				X								
40	Río			4614682,8	1931244,33	X												
42	Captación agua superficial en predio	Valle del Cauca Cali Navarro	Primavera Campo	Río	4614590,91	1931201,33			X									
52	Captación agua superficial en predio	Valle del Cauca Guacarí La Julia	El Planchon	Arroyo	4638774,13	1980234,67									X			
53	Captación agua superficial en predio	Valle del Cauca Guacarí La Julia	El Planchón de Montezuma	Quebrada	4638778	1980231,32		X										
54	Captación agua superficial y nacimientos para acueductos veredales		Los Alpes - Bellavista	Caño	4639543,02	1978952,5		X		X								
55		El Horizonte	Caño	4638398,37	1982176,71				X									
56		La Camelia	Caño	4639276,67	1981726,49		X		X									
57		La Aurora (La Albania)	Caño	4638819,47	1982088,56		X											

ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO							
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8
58		Valle del Cauca Guacarí Vereda Chafalote	El Tesorito	Caño	4640336,91	1977217,02				X				
59			El Paraiso	Quebrada	4640156,63	1977317,3				X				
60		Valle del Cauca Guacarí Vereda El Tablazo	Altamira	Caño	4638586,06	1981653,81		X		X				
61	Captación de agua nacimiento para acueductos veredales	Valle del Cauca Andalucía Pardo	El Silencio	Caño	4653088,97	2013420,96			X					
62			La canada	Caño	4653795,61	2014960,66			X					
63		Valle del Cauca Andalucía Monterrey	La florita	Caño	4653945	2015385,66			X					
64	Captación de agua nacimiento para acueducto municipal y regional.	Valle del Cauca Buga Monterrey	El Silencio	Caño	4638859,94	1983070,96				X				
65	Captación de agua en nacimiento y quebrada para acueducto veredal		La Floresta (Potosi)	Caño	4639443,72	1983614,97		X		X				
66			Bellavista	Quebrada	4640467,79	1985510,91		X						

ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO									
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8		
67	Captación de agua en nacimiento y quebrada para acueducto veredal	Valle del Cauca Buga Monterrey	Bellavista	Caño	4640333,38	1985582,44		X							X	
68			Zaragosa	Río	4638669,84	1983105,59				X						
69			Lote	Quebrada	4640438,02	1985567,24		X								
70			El Mirador	Caño	4638731,72	1983064,04				X						
71			La cabaña	Caño	4638872,5	1983058,15				X						
72	Captación de agua de nacimiento para acueducto municipal y regional.	Valle del Cauca Buga Monterrey	El Progreso	Caño	4639555,76	1984542,71		X								
73	Captación de agua en nacimiento y quebrada para acueducto veredal		La Selva	Caño	4638733,15	1983053,23				X						
74			Las Violetas	Caño	4639443,72	1983614,97				X						
75			San José	Caño	4643386,51	1989661,07	X									
76			Villa amparo	Caño	4640415,32	1985539,1		X								
77			El retoño	Caño	4641951,25	1988516,07		X								
78	Captación de agua en nacimiento y quebrada para acueducto veredal		Valle del Cauca Buga La María	La Bonanza (Rincón Villa Muriel)	Quebrada	4643830,43	1990368,85		X							
79		Dajú		Caño	4643786,34	1989903,21		X								
80	Captación de agua en nacimiento y quebrada para acueducto veredal	Valle del Cauca Buga La María	El convenio	Caño	4644499,9	1991334,36		X				X				
81			Finca Pablo García	Caño	4645054,09	1992013,45		X		X						
82			No recuerda	Caño	4645239,59	1992194,53				X						
83	Captación de agua superficial para acueductos veredales	Valle del Cauca Bugalagrande Galicia	La Morena	Quebrada	4656906,42	2019138,21	X	X			X					
84		Valle del Cauca Bugalagrande Paila Arriba	El capricho	Canal	4659327,13	2028074,05		X								
85			Las Brisad	Caño	4659062,74	2027163,52		X								
86		Valle del Cauca Bugalagrande Galicia	Valle del Cauca Bugalagrande Galicia	El Guayabal	Quebrada	4656259,38	2018062,89		X							
87				Dinamarca	Caño	4655925,47	2019809,45		X							



ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO											
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8				
88	Captación agua superficial para acueductos veredales		Sin identificar	Quebrada	4656406,18	2018594,55		X										
89			El Sauce	Caño	4656597,31	2018894,29		X										
90	Captación subterránea en vivienda	Valle del Cauca Obando Villa Rodas	El Diamante	Caño	4678665,18	2066076,51			X	X								
91	Captación agua superficial para acueducto municipal y captación de nacimientos y aguas superficiales para acueductos veredales		Captación Villa Rodas	Quebrada	4679805,26	2068933,64	X	X										
92			El Manantial	Quebrada	4680725,28	2069498,79	X											
93			La Tulia	Caño	4678665,18	2066076,51				X								
94			El Delirio	Quebrada	4679054,66	2066615,28				X								
95			El Trebol	Quebrada	4679410,33	2067503,51		X										
96			La Esmeralda	Caño	4678794,85	2067301,32		X										
97			La Esperanza	Quebrada	4679094,82	2066398,69				X								
98			La Cabaña	Caño	4679152,37	2067313,49		X										
99			Manantial	Caño	4680972,66	2069337,92		X										
100			El Brillante	Caño	4679093,34	2066796,64					X							
101			La Selva	Caño	4678879,2	2066700,22					X							
102			La Heroína	Caño	4680765,2	2069157,63					X							
103			Captación agua superficial para acueducto municipal y captación de nacimientos y aguas superficiales para acueductos veredales	Valle del Cauca Obando Villa Rodas	Villa Alejandra (El Guayabo) y El Guayabo 2	Caño	4681131,35	2069536,85		X		X						
104		Valle del Cauca Obando Chuzo	El Silencio	Caño	4676813,7	2062436,54		X		X								
105			Finca El Naranjo	Caño	4676929,64	2062506,84		X										
106			El Regalo	Caño	4676695,17	2061988,62		X		X								
107			La Edilia (La Batea)	Caño	4676226,73	2061787,89		X										
108			La Esmeralda	Caño	4676095,76	2060741,27		X										
109			Captación agua	La Trinidad	Caño	4676271,96	2061666,74	X										

ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO										
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8			
110	superficial para acueducto municipal y captación de nacimientos y aguas superficiales para acueductos veredales	Valle del Cauca Obando San Isidro	Matecaña	Caño	4676442,97	2061226,13		X									
111			La Linda	Caño	4678515,89	2065008,75				X							
112			La Esperanza	Caño	4677952,12	2064635,44		X			X						
113			El Bosque	Caño	4678554,05	2065436,45		X		X							
114	Captación agua superficial y subterránea para acueductos veredales	Valle del Cauca La victoria Miravalles	Los Pomos	Quebrada	4674838,56	2057639,16	X	X									
115				Las Acacias	Caño	4674789,27	2058151,97		X								
116				La Italia	Caño	4674689,27	2057864,47		X								
117			Valle del Cauca La victoria Holguin	Socorro	Quebrada	4672777,82	2053463,2	X									
118				El caribe	Caño	4673081,53	2056182,51		X								
119				El Socorro y la picarra	Caño	4671564,28	2053785,7		X								
120	Captación agua superficial y subterránea para acueductos veredales	Valle del Cauca La victoria Taguales	Betulia	Caño	4669713,04	2046918,6		X		X							
121				La Querencia limones	Caño	4671104,35	2049819,96		X								
122				Malibu	Caño	4667978,09	2045852,33		X								
123	Captación agua superficial para acueductos veredales	Valle del Cauca San Pedro Angosturas	El Porvenir	Caño	4647124,74	1996276,51				X							
124				El Porvenir	Caño	4647096,37	1996022,43		X		X						
125				Daju	Caño	4646477,28	1995985,79				X						
126				Hacienda Guayabal	Quebrada	4646606,67	1996877,14		X								
127				San Antonio	Caño	4646478,15	1995979,77	X	X								
128	Captación agua superficial para acueductos veredales	Valle del Cauca San Pedro Guaqueros	La Esperanza	Caño	4645957,82	1992227,73		X									
129				Castalia	Caño	4645457,75	1993325,76		X								
130				El Pedregal	Caño	4645363,88	1993503,91				X						
131				El Reposo	Caño	4645957,82	1992227,73		X		X						
132				La Triana	Caño	4645464,39	1993782,24		X								
133				La Playa, Villa Elvia y Alejandria	Caño	4645586,6	1994346,02		X		X						
134				La giralda	Quebrada	4645293,95	1993057,27		X								

ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO								
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8	
135		Valle del Cauca San Pedro Buenos Aires	Finca El Jardín	Caño	4646565,1	1995308,06		X							
136			Hacienda Miravalles	Caño	4646619,76	1995099,86	X	X		X					
137			La Cruz	Caño	4646036,59	1994597,81				X					
138			Predio Vista Hermosa	Caño	4646093,22	1994843,27		X		X					
139			La Miranda	Caño	4646508,85	1995256,97		X							
140	Captación agua superficial para acueductos veredales	Valle del Cauca San Pedro Platanares	La cascada	Río	4649933,02	2001489,56	X								
141			Puentezinc	Río	4650133,95	2000864,17	X						X		
142				Río	4649937,91	2001478,62	X								
143			Las platinas	Río	4649933,02	2001489,56		X							
144			El porvenir	Río	4650137,63	2000857,36		X		X					
145		Valle del Cauca San Pedro Naranjal	La Cecilia	Quebrada	4648997,7	1998779,72		X							
146			La Espetanza	Quebrada	4650258,02	2000593,44		X							
147			El Brillante	Caño	4648485,09	1998685,59	X			X					
148			La Celia	Caño	4648756,79	1998729,11		X							
149			La Cecilia	Quebrada	4648997,7	1998779,72		X							
150	Captación de agua de nacimiento para acueductos veredales. También hay captaciones de agua superficial	Valle del Cauca Cartago Piedra de Moler	La Rocayosa	Caño	4682558,03	2078360,72		X							
151			Villa Paula	Quebrada	4682049,63	2081021,02	X								
152			Fersan	Caño	4679974,92	2084084,4		X							
153			Potosí	Quebrada	4680861,12	2083409,75		X							
154			La estrella	Caño	4680728,79	2082976,55		X							
155		El Cojo	Quebrada	4680945,1	2082115,87		X								
156		Valle del Cauca Cartago La Grecia	Resplandores	Caño	4681285,99	2070417,22				X					
157			El Guayabo y El Diamante	Quebrada	4681563,17	2070769,88		X		X					
158			Las Violetas	Quebrada	4681184,82	2070354,41		X							
159		Captación de agua	Valle del Cauca Ginebra	Sin nominación	Quebrada	4641748,34	1971108,26	X			X				

ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO								
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8	
160	superficial para acueductos veredales	Floresta	El Vergel	Caño	4642173,22	1972121,18		X		X					
162			El Saman	Caño	4641870,87	1971313,35				X					
165		Valle del Cauca Ginebra Costa Rica	San Antonio	Caño	4641679,64	1973464,75		X		X					
166			La esneda	Caño	4642134,61	1973005,06				X					
167	Captación agua superficial para acueductos veredales	Valle del Cauca Tuluá Mateguadua	La Veranera (Sin vivienda)	Caño	4650962,76	2002361,5				X					
168		Valle del Cauca Tuluá Mateguadua	La Reina	Caño	4651112,3	2002637	X								
169		Valle del Cauca Tuluá Mateguadua	Brazil - La Estrella o El Trapiche	Caño	4651381,98	2002311,24				X					
170			El Jardín y La Veranera	Caño	4650968,7	2002371,92				X					
171		Valle del Cauca Tuluá La Iberia	Pan de Azúcar	Caño	4652524,58	2010482,05		X		X					
172			Samanes	Caño	4652551,71	2008650,79		X							
173			La Linda	Caño	4652951,49	2010878,32		X							
174		Captación agua superficial para acueductos veredales	Valle del Cauca Tuluá La Marina	El Carmen	Caño	4652450,27	2006612,25		X						
175				Saravanda, Soledad y San José	Caño	4652429,13	2005612,39		X						
176				La Cristalina	Caño	4650694,54	2003155,98				X				
177	El Crisol			Caño	4652370,45	2006297,81		X							
178	Captación agua superficial para acueductos veredales	Valle del Cauca Tuluá La Marina	El Trebol	Caño	4651736,87	2005003,09		X							
179			La Camelia, Altamira, el Porvenir, San Isidro	Caño	4651662,42	2003617,41		X							
180			La Florida	Caño	4650755,11	2003237,21				X					
181	Captación agua superficial para acueductos veredales	Risaralda Pereira Puerto Caldas	La Tigrera	Quebrada	4680348,28	2091996,77	X								
182			Miralindo	Caño	4679225,92	2085313,71		X							
183			El Porvenir	Caño	4679728,59	2090190,94		X							
184			La Martha y La Martha 1	Caño	4679897,54	2091584,25		X							

ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO									
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8		
185			Pindamá	Caño	4678728,76	2086657,57		X								
186			Sotará	Caño	4679943,36	2088877,2		X								
187		Risaralda Pereira Caimalito	Tunez	Caño	4682157,9	2094902,19		X								
188	Captación agua superficial	Valle del Cauca Obando Villa Rodas	Sin identificar	Quebrada	4679802,63	2068927,66	X									
189			Sin identificar	Quebrada	4679349,38	2067565,59	X									
191		Valle del Cauca Andalucía Pardo	La Paloma	Río	4654312,43	2014819,28	X									
<b>TOTAL</b>							22	99	6	53	2	1	2	1		

Fuente: GEB. (2018).

Usos y usuarios identificados en el área de estudio durante recorridos en campo - 2017 -  
Agua subterránea

ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO											
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8				
1	Captación de agua subterránea para acueductos veredales	Valle del Cauca Zarzal La Paila	La Trinidad (nombre catastral)	Aljibe	4661953,69	2033994,63	X	X										
2			El Diamante	Pozo profundo	4664172,61	2036687,27	X											
4			Villa Mariela	Aljibe	4663898,29	2036595,05	X	X										
15		Valle del Cauca Zarzal Vallejuelo	Rancho Alegre	Aljibe	4664936,31	2040072,74	X	X										
16			Granja Sorpresa	Pozo profundo	4665180,96	2040432,32	X						X					
28	Captación subterránea para acueducto municipal	Valle del Cauca Candelaria El Arenal	Potrero de Parraga	Pozo profundo	4628452,23	1932723,7			X									
29			Centro Poblado Brisas del Fraile	Pozo profundo	4627965,69	1931541,79	X											
30				Pozo profundo	4627980,2	1931554,77	X											
31				Pozo profundo	4628010,35	1931595,35	X											
32				Pozo profundo	4628033,81	1931629,79	X											

ID	Abastecimiento	Departamento Municipio Corregimiento	Predio	Fuente	Coordenadas		USO											
					Este	Norte	1	2	3	4	5	6	7	8				
33				Pozo profundo	4628120,16	1931754,93	X											
34	Captación subterránea para acueducto municipal	Valle del Cauca Candelaria El Arenal	Centro Poblado Brisas del Fraile	Pozo profundo	4628224,88	1932017,17	X											
35				Pozo profundo	4628242,5	1932082,41	X											
36				Pozo profundo	4628283,05	1932184,79	X											
37				Pozo profundo	4628339,74	1932384,48	X											
41	Captación agua subterránea en predio	Valle del Cauca Candelaria La Regina	Túnez	Pozo profundo	4627938,26	1931479,79		X										
43	Captación subterránea en predio	Valle del Cauca Cali Navarro	Primavera Campo	Pozo profundo	4614518,55	1931240,58	X											
192	Captación de pozo profundo	Valle del Cauca Zarzal Vallejuelo	La Esmeralda	Pozo profundo	4665102,92	2041260,78	X											
<b>TOTAL</b>							18	4	1	0	0	1	0	0				

Fuente: GEB. (2018).



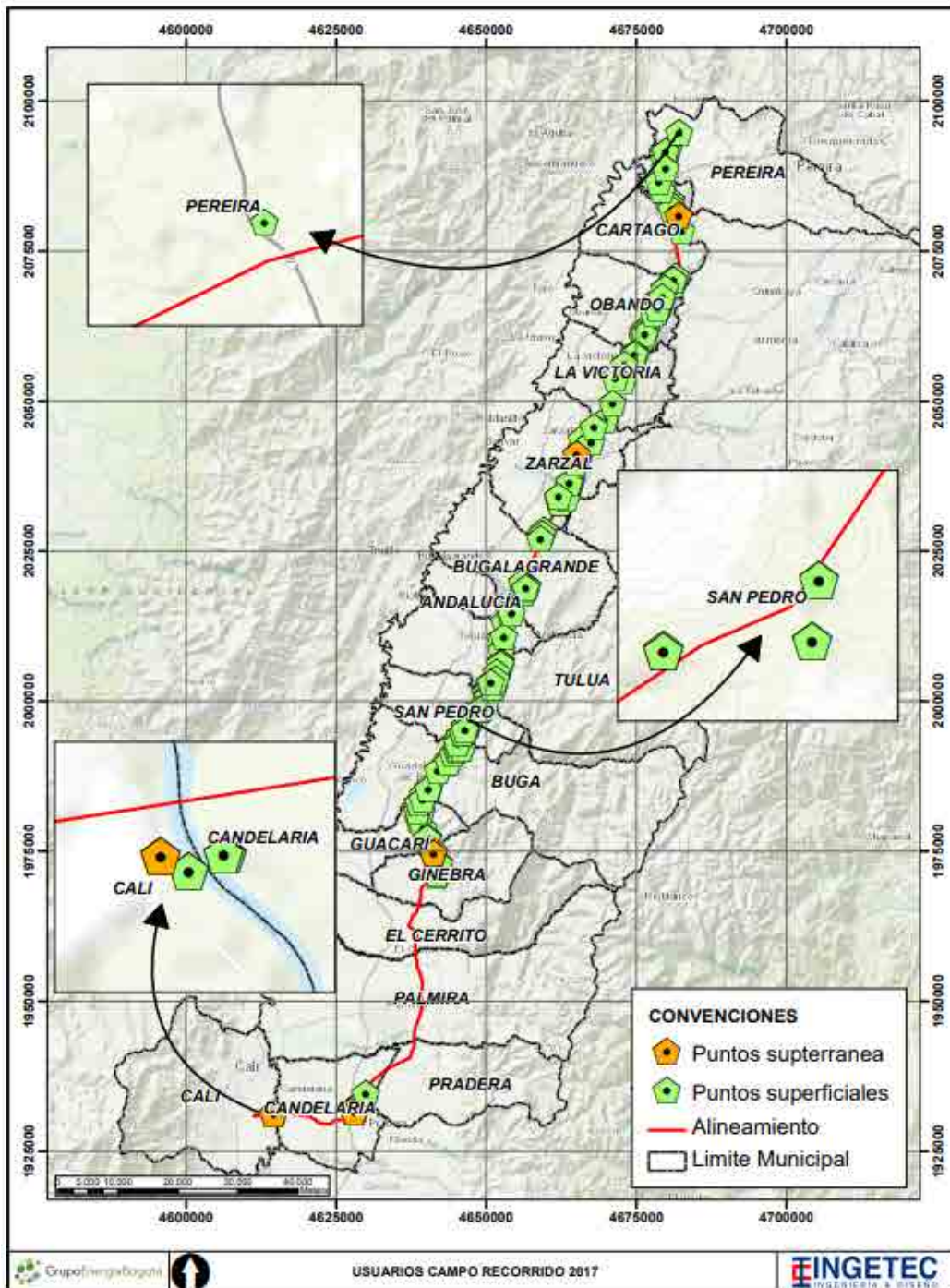


Figura 83. Localización de usos y usuarios identificados en el área de estudio durante recorridos de campo (año 2017)

En la Figura 84 se presentan los porcentajes de los usos encontrados en el recorrido de campo de 2017. Se encuentra que el uso con mayor presencia en el área de influencia corresponde al pecuario, de los 186 usuarios identificados, 99 emplean el recurso hídrico para fines pecuarios. De este modo, el uso pecuario corresponde al 53% en orden de importancia.

Como segundo uso de importancia en el área de influencia del proyecto, se identifica la destinación del recurso para fines de riego agrícola, este equivale al 28% y a 53 usuarios. Como tercer uso en importancia se encuentra el consumo humano con 22 usuarios identificados, esto corresponde al 12%. Como cuarto orden de importancia se encontraron las actividades agro industriales, equivalentes al 3% o 6 usuarios.

Usos de menor importancia, los cuales presentan entre 1 y 2 usuarios son el porcino, avícola, piscícola y recreativo.



Figura 84. Estadísticas de usos encontrados en recorridos de campo

#### 5.1.8.1.2 Reconocimiento de campo 2 - año 2020

Como complemento a la información recolectada en 2017, los recorridos de campo realizados en el año de 2020, se enfocan en la identificación de los cruces de los cuerpos de agua con la alineación de proyecto, los cuales estarían asociados a solicitud de permisos de ocupación de cauce. Se resalta que la verificación de usos y usuarios asociados a los puntos de ocupación de cauce: OC 20 - OC 23, se realizó con un

recorrido de 300 m aguas arriba y aguas abajo. Los usuarios identificados en estos recorridos se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29. Usuarios en cruces con cuerpos de agua.

ID	Nombre del cruce	Descripción	Fuente	Uso	Cuerpo de agua	Coordenadas	
						Este	Norte
193	Acceso a la torre TVA039	Bombeo a balde	Superficial	Pecuario	Drenaje NN	4682046,7	2081046,14
194	Cruce de la vía Ginebra - Buga	Derivación de agua ingenio Pichichi	Superficial	Agrícola	Quebrada La Magdalena	4641270,17	1975070,83
195	Cruce de la vía Buga - Ginebra con el río Guabas	Bocatoma acueducto Ginebra y Guacarí	Superficial	Consumo humano y doméstico	Río Guabas	4641209,98	1974849,72
196		Bocatoma ingenio Pichichi	Superficial	Agroindustrial	Río Guabas	4641209,98	1974849,72

En primera instancia, en el acceso a la torre TVA039 ubicado en el municipio de Cartago, vereda Pie de Moler, se observa un drenaje que se deriva de un aljibe ubicado en el sur del predio, sin embargo existe una vía por lo que dicho drenaje cuenta con una estructura para el paso vehicular. En este drenaje se identifica una estructura de bombeo de agua hacia un balde como se observa en la Fotografía 4. El agua es empleada para bebederos de ganado.







Fotografía 33. Bombeo de agua para uso pecuario, Cartago E 4682046,7, N 2081046,14

Se identifica el cruce de la vía Ginebra - Buga, con la quebrada La Magdalena en el corregimiento de Puente Rojo del municipio de Guacarí (ver Fotografía 34). La quebrada Magdalena es un tributario del río Guabas, por lo cual hace parte de la subzona hidrográfica Guabas, Sabaletas y Sonso. Igualmente, se identifica un cruce de la vía Ginebra - Buga con un drenaje (el cual se presenta en la Fotografía 35) que lleva agua de la quebrada Magdalena al Lago La Esmeralda del ingenio Pichinchi (ver Fotografía 36).

Se identifica en la quebrada Magdalena (ver Fotografía 37), una estructura de derivación de aguas que conduce el agua de la quebrada hacia el Lago La Esmeralda del ingenio Pichinchi (ver Fotografía 38). El agua es empleada para riego de cultivos de caña de azúcar. Se precisa que estos puntos no hacen parte de la solicitud de permisos de ocupación de cauce.



Fotografía 34. Cruce de la vía Ginebra



Fotografía 35. Drenaje de agua Q. La

<p>Buga con Q. La Magdalena E 4641270,17, N 1975070,83</p>	<p>Magdalena a Lago La Esmeralda. E 4641270,17, N 1975070,83</p>
 <p>Fotografía 36. Lago La Esmeralda. E 4641270,17, N 1975070,83</p>	 <p>Fotografía 37. Quebrada La Magdalena E 4641270,17, N 1975070,83</p>

	
---	--

Fotografía 38. Estructura de derivación de agua en la quebrada La Magdalena  
E 4641270,17, N 1975070,83

En el límite que divide a los corregimientos de Puente Rojo en el municipio de Guacarí y Costarrica en el municipio de Ginebra, se identifican dos bocatomas en el punto de cruce de la vía Buga - Ginebra con el río Guabas. La primera bocatoma abastece al acueducto de los municipios de Ginebra y Guabas y la segunda corresponde a una captación del ingenio Pichinchi.



Fotografía 39. Bocatoma en río Guabas  
E 4641209,98, N 1974849,72

Se resalta que en el recorrido de campo no se evidenciaron vertimientos cerca en los cruces de cuerpos de agua con la alineación de proyecto ni con los puntos asociados a solicitud de permisos de ocupación de cauce.



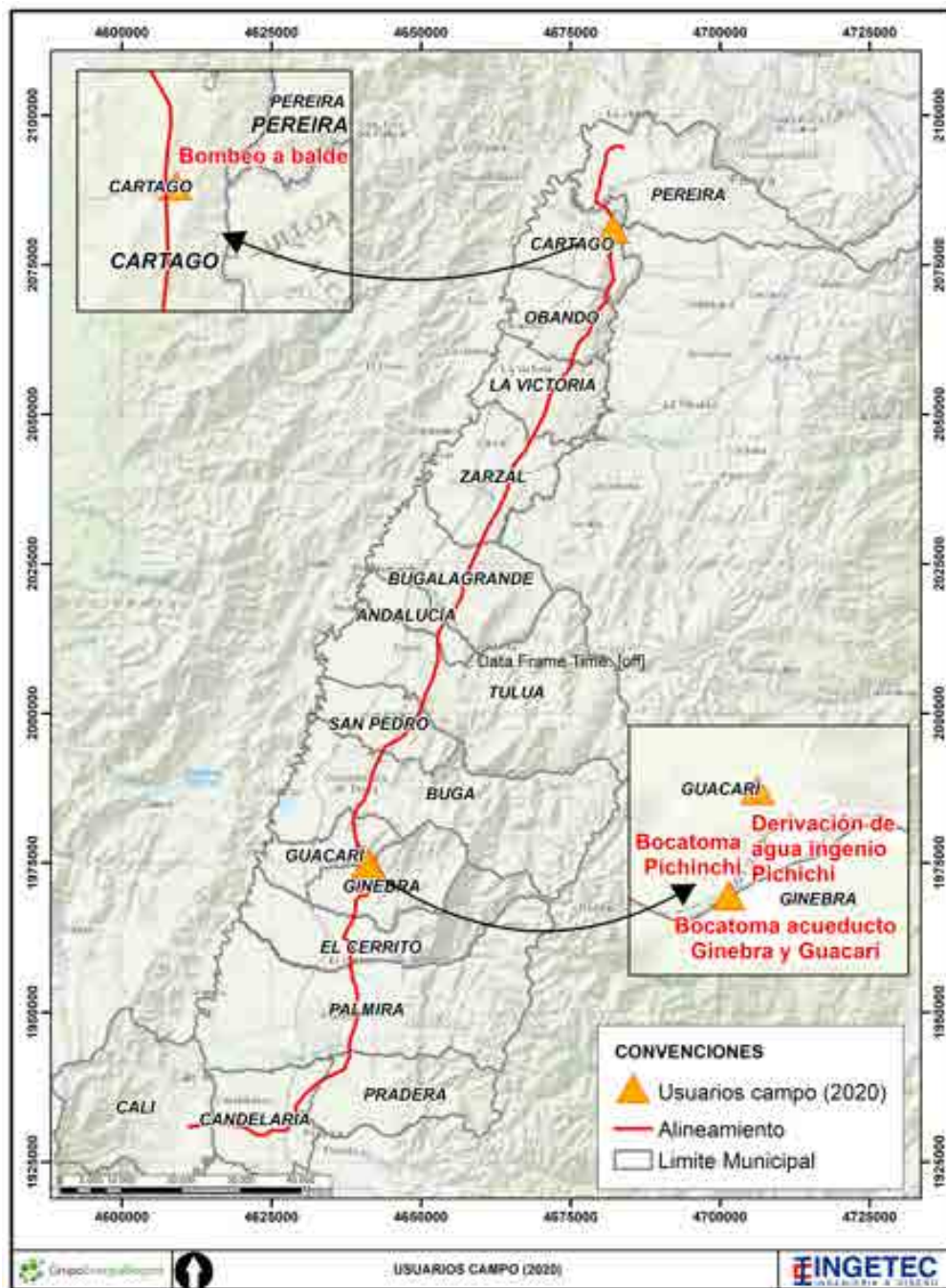


Figura 85. Localización de usos y usuarios identificados en el área de estudio durante recorridos de campo (año 2020)

### 5.1.8.1.3 Reconocimiento de campo 3 - año 2021

Con el fin de complementar la información recolectada en 2017 y 2020, los recorridos de campo realizados entre el 19 de octubre y el 2 de noviembre del año de 2021, se enfocan en verificar si existen cruces de cuerpos de agua con los accesos al proyecto en la optimización del trazado en el municipio de Palmira. En dicho recorrido se estableció que los accesos no cruzan cuerpos de agua y que los accesos cuentan con las características necesarias para el tráfico vehicular. Se precisa que la recorrido en el tramo optimizado entre Ginebra y Palmira se evidencio la presencia de ingenios azucareros.

Por lo anterior el recorrido concluyó que no se intervendrán cuerpos de agua, por lo cual no es necesario incluir puntos de ocupación de cauce.

### 5.1.8.2 Identificación usos y usuarios (Información secundaria)

#### 5.1.8.2.1 Registros de usuarios del recurso hídrico corporaciones autónomas regionales

A continuación, se indican las fuentes que fueron consultadas para verificar los usos y usuarios presentes en su jurisdicción.

Tabla 30. Consulta de información secundaria

Entidad	Fecha de solicitud	No. de solicitud	No. Radicado ante la autoridad	Fecha de respuesta
CVC	19 noviembre 2020	GEB 0574-06890-2020-S	CVC633932020	27 noviembre 2020
CARDER	19 noviembre 2020	GEB 0574-04956-2020-S	12372	11 diciembre 2020

- CVC

En la información que se obtuvo por parte de la CVC se indica que la información debe ser descargada en línea de la información del Sistema de información Ambiental de la CVC - GeoCVC, la respuesta de la entidad se presenta en el anexo D6.1 información CVC. Dicha herramienta fue consultada en marzo del año 2021 y se encuentra información disponible con respecto a pozos de producción y los puntos de vertimiento que se encuentran concesionados actualmente por la CVC. De este modo, no se recibe información por parte de la corporación acerca de concesiones de agua superficial

presentadas en el área de influencia del proyecto. No obstante, al realizar la consulta en el Sistema de información Ambiental de la CVC - GeoCVC, se evidencian vertimientos ubicados en el área de influencia del proyecto. Ver Tabla 31 y Figura 86. Igualmente en el Anexo D6.1 se incluye el shape con la información presentada en la Tabla 31.

Adicionalmente, en enero del año 2022, se realizó una nueva consulta al Sistema de información Ambiental de la CVC - GeoCVC con el fin de verificar si existen información adicional a concesiones y vertimientos. La consulta indicó que no se presenta información asociada a concesiones. Por otro lado la información asociada a vertimientos no presenta variaciones, no obstante se actualiza el tramo optimizado entre Ginebra y Palmira.

Tabla 31. Vertimientos consultados en GeoCVC

Municipio	ID vertimiento	Tipo de vertimiento	Coordenadas Origen Único	
			Este	Norte
Palmira	1	0	4623565	1949560
Palmira	2	Residual Doméstica	4623528	1949567
Candelaria	8	Pecuario	4628593	1935625
Candelaria	9	0	4629346	1935811
Santiago de Cali	89	Residual Doméstica	4611343	1925853
Santiago de Cali	90	Residual Doméstica	4611380	1925873
Zarzal	93	Residual Industrial	4659243	2034531
Zarzal	94	Residual Industrial	4659114	2034606
Palmira	144	Residual Doméstica	4639551	1951012
Palmira	145	Residual Industrial	4639537	1951017
Palmira	146	Residual Industrial	4639567	1951019
Palmira	147	Residual Industrial	4639494	1951042
Palmira	221	Residual Doméstica	4635602	1953149
Palmira	222	Residual Doméstica	4635626	1953197
Palmira	223	Residual Doméstica	4635800	1953229
Palmira	226	Residual Industrial	4633044	1955211
Palmira	227	Residual Industrial	4633050	1955220
Palmira	230	Residual Doméstica	4632927	1954708
Palmira	231	Residual Industrial	4633035	1955484

Municipio	ID vertimiento	Tipo de vertimiento	Coordenadas Origen Único	
			Este	Norte
Palmira	232	Residual Industrial	4633024	1955489
Palmira	233	Residual Doméstica	4632990	1954732
Palmira	234	Residual Doméstica	4632958	1954742
Palmira	235	Residual Doméstica	4633026	1954745
Palmira	236	Residual Doméstica	4633081	1954821
Palmira	237	Residual Doméstica	4633113	1954825
Candelaria	238	Residual Industrial	4629952	1934031
Candelaria	239	Residual Doméstica	4630512	1934285
Candelaria	240	Residual Industrial	4630281	1934320
Candelaria	241	Residual Industrial	4630422	1934532
Candelaria	242	Residual Doméstica	4630386	1934607
Candelaria	243	Residual Industrial	4630403	1934603
El Cerrito	244	Residual Industrial	4633172	1959508
El Cerrito	245	Residual Industrial	4633224	1959724
El Cerrito	246	Residual Industrial	4634843	1959929
El Cerrito	247	Residual Industrial	4634781	1959938
El Cerrito	248	Residual Industrial	4634854	1959971
El Cerrito	249	Residual Industrial	4634804	1959974
El Cerrito	250	Residual Doméstica	4634603	1960587
El Cerrito	251	Residual Doméstica	4634613	1960599
El Cerrito	252	Residual Industrial	4635607	1960768
El Cerrito	253	Residual Industrial	4635609	1960774
Palmira	291	Residual Doméstica	4637002	1950300
Palmira	292	Residual Doméstica	4636969	1950398
Candelaria	322	Residual Industrial	4622368	1933378

Municipio	ID vertimiento	Tipo de vertimiento	Coordenadas Origen Único	
			Este	Norte
Candelaria	323	Residual Industrial	4622844	1933507
Candelaria	324	Residual Industrial	4622920	1933468
El Cerrito	326	Residual Industrial	4638396	1960104
El Cerrito	327	Residual Industrial	4638378	1960126
Candelaria	384	Residual Industrial	4629378	1929406
Yumbo	385	Residual Industrial	4629351	1929422
Candelaria	721	Municipal	4627267	1932547
Candelaria	723	Municipal	4626915	1932942

Con lo anterior se evidencia que el 40,38% de los vertimientos identificados se encuentran en el municipio de Palmira, el 26,92% en el municipio de Candelaria, el 23,08 en el municipio de El Cerrito, el 3,85% en los municipios de Santiago de Cali y de Zarzal. Finalmente un 1,92% en el municipio de Yumbo.

En cuanto a los tipos de vertimiento por municipios se precisa lo siguiente:

El 100% de los vertimientos del municipio de Zarzal y de Yumbo corresponden a vertimiento residual industrial mientras que para Santiago de Cali corresponden a residual doméstica.

En el municipio de Palmira se identifican vertimientos de tipo residual doméstica con un 61,90%. mientras que los vertimientos de tipo residual industrial corresponden a residual industrial con un 33,3%.

Para el municipio de Candelaria se identifica un 14,29% para vertimientos de tipo residual doméstica, un 57,14% para vertimiento residual industrial y un 14,29% para vertimiento municipal.

En el municipio de Cerrito se presenta un 16,67% para vertimientos de tipo residual doméstica y un 83,33% para vertimiento de tipo residual industrial.



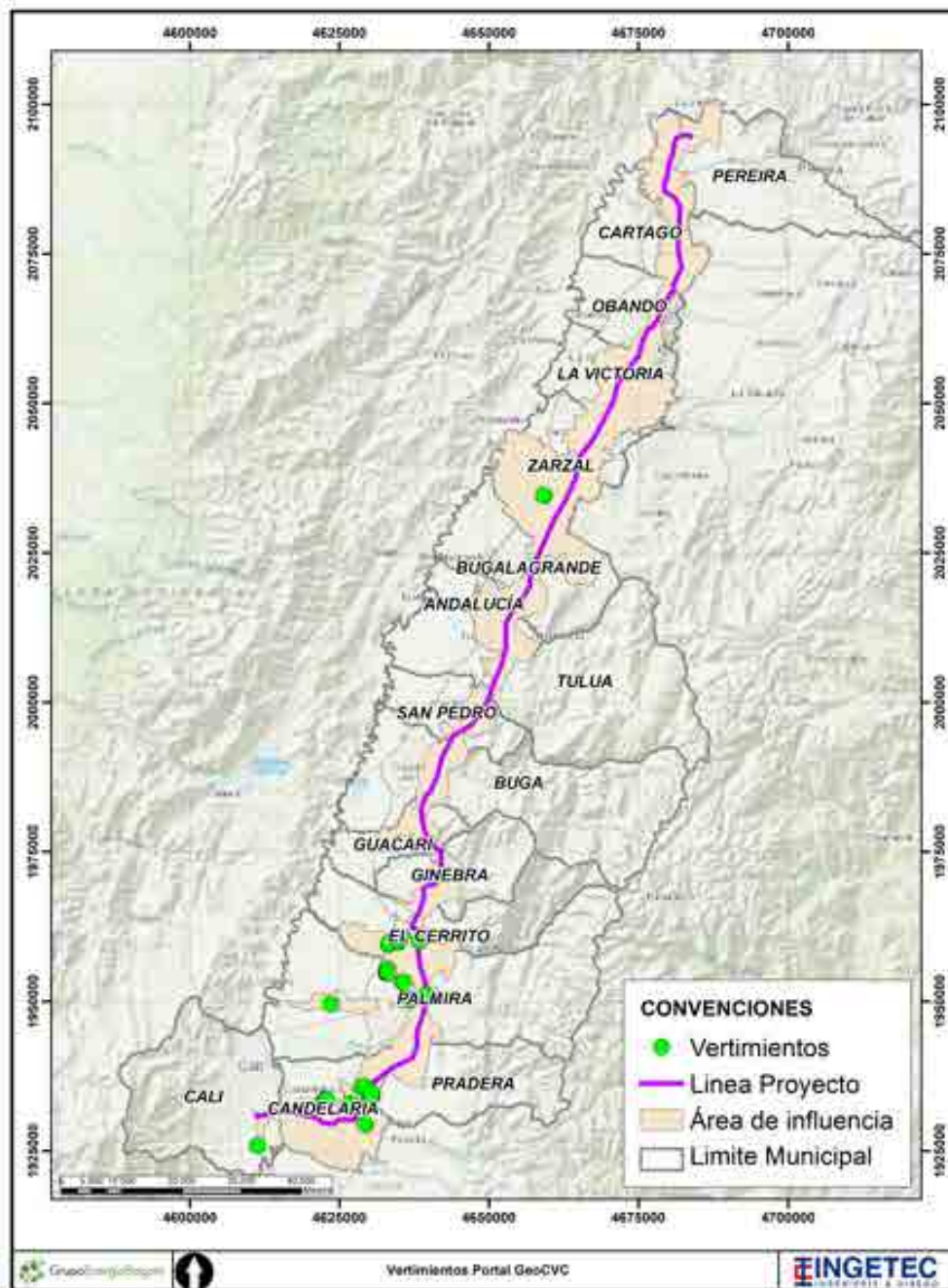


Figura 86. Vertimientos Portal GeoCVC



- **CARDER**

En la información entregada por la CARDER se presenta en el anexo D6.2 Información CARDER. Se identificaron 95 permisos de captación de agua superficial, todos en el municipio de Pereira, departamento de Risaralda. Las coordenadas, caudal concesionado y uso asociado, se presentan en la Tabla 32. Se precisa que dichos permisos de captación de agua superficial no se encuentran dentro del área de influencia del proyecto, ver Figura 87. Igualmente en el Anexo D6.2 se incluye el shape con la información presentada en la Tabla 32.

**Tabla 32. Captaciones de agua superficial entregadas por la CARDER**

Tipo de uso	Nombre o razón social	Fuente	Coordenadas Origen Único		Caudal (l/s)
			Este	Norte	
Consumo humano y uso doméstico	Asociación de Usuarios del Acueducto Peña Roja	Peña Roja	4698559,34	2083468,32	0,5
	Consortio Infraestructura Pereirana	Quebrada La Linda	4694580,96	2088080,86	0,3
	Junta de Accion Comunal Vereda Vista Hermosa	San Pablo	4708024,89	2084555,28	0,4
	Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de La Vereda Mundo Nuevo E.S.P	San Antonio Captacion Carrillo 1	4705283,1	2085929,46	2,5
	Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de La Vereda Mundo Nuevo E.S.P	San Antonio Captacion Carrillo 2	4705378,37	2085806,9	0,5
	Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de La Vereda Mundo Nuevo E.S.P	Valderrama	4705047,76	2085701,86	1,5
	Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de La Vereda Mundo Nuevo E.S.P	Magallanes	4705312,07	2086092,29	0,5
	Asociación de Suscriptores de La Empresa de Servicios Públicos Tribunas Córcega E.S.P	Balsora	4710177,43	2080249,85	8
	Asociación de Usuarios del Acueducto Caracol El Rocío	Condina	4703853,92	2082679,92	4
	Asociación de Suscriptores del Acueducto Cantamonos	Peñitas	4705733,18	2082386,86	1

Tipo de uso	Nombre o razón social	Fuente	Coordenadas Origen Único		Caudal (l/s)
			Este	Norte	
	Asociación de Usuarios del Servicio de Agua Potable de La Vereda El Rincón	El Silencio	4708953,15	2082912,88	0,5
Consumo humano y uso doméstico	Asociación de Suscriptores de La Empresa de Servicios Públicos Tribunales Córcega E.S.P.	La Balsora	4710149,5	2080261,02	8
	Asociación de Suscriptores de La Empresa de Acueducto Y Alcantarillado del Corregimiento de La Bella E.S.P.	Cabuyales	4709722,08	2082228,4	6,2
	Asociación de Suscriptores de La Empresa de Acueducto Y Alcantarillado del Corregimiento de La Bella E.S.P.	San Pablo	4708575,07	2082386,14	3
	Asociación de Suscriptores de Servicios Públicos Domiciliarios Aquasat	San Lázaro	4699575,84	2082855,12	9
	Asociación Comunitaria de Suscriptores del Acueducto de La Vereda Santa Cruz de Barbas	Cestillal	4693005,61	2085623,15	6,3
	Asociación de Usuarios Acueducto Chocho Canceles	La Estrella	4705404,86	2087405,72	6
	Asociación de Suscriptores de La Empresa de Acueducto Y Alcantarillado del Corregimiento de La Bella E.S.P.	San Pablo	4709722,08	2082228,4	6,2
	Asociación de Suscriptores de La Empresa de Acueducto Y Alcantarillado del Corregimiento de La Bella E.S.P.	San Pablo	4708575,07	2082386,14	8
	Jaime Carrillo Carrillo	El Eden	4705466,08	2085516,63	0,02
	Diego Alberto Lopez Giraldo	San José	4700960,87	2086067,07	0,1
Consumo humano y uso doméstico	Elicerio Salcedo Salazar	NN La Selecta	4698465,59	2085702,83	0,05
	Jesus Antonio Saldarriaga Osorio	NN	4705463,37	2086726,61	0,23

Tipo de uso	Nombre o razón social	Fuente	Coordenadas Origen Único		Caudal (l/s)
			Este	Norte	
	Luz Marina Solorzano	Magallanes	4705441,4	2086061,75	0,8
	Oscar Garcia Arias	NN	4705264,62	2086766,8	0,1
	Maria Sirlley Builes Marin	El Chocho	4705162,93	2086150,42	0,58
	Rosa Maria Ocampo	Las Villas	4705285,61	2086765,67	0,1
	Marian Elena Beltran Vera	Finca Julio Restrepo	4705050,2	2087030,08	0,1
	Gloria Ines Restrepo Villegas	La Maria	4704944,88	2087143,71	0,2
	Agropecuaria Ruiz Y Compañía S. En C.	NN	4696483,33	2087445,4	0,683
	Vivero Las delicias	NN	4711085,49	2081073,4	0,2
	Pedro Nel E.S.Pitia Ortegon	El Bosque	4705488,9	2084301,49	0,03
	Maria Gladys Quintero de Restrepo	Nacimiento NN	4705537,66	2086941,17	0,3
	Sociedad Comercial Felix S.A	NN	4708924,43	2081600,12	0,2
	Piscícola Mampay Sas	Consota	4707979,27	2081904,66	0,1
	Bernardo Quintero Cardona	Padre Valencia	4698480,25	2088676,93	0,08
	111 Gerencia de Proyectos Y Construcciones S.A.S	NN	4701587,23	2084772,32	0,78
	111 Gerenciar de Proyectos Y Construcciones S.A.S.	NN	4701587,23	2084772,32	0,74
	Aydee Marin de Zapata	NN	4709851,87	2082533,61	0,1
Jenaro de Jesus Saldarriaga Montoya	El Eden	4705459,19	2084254,44	0,05	
Consumo humano y uso doméstico	Los Carboneros S.A.S.	Nacimiento	4700656,05	2083730,79	1
	Rosa Amelia Ocampo	Los Villas	4705248,23	2086794,66	0,01
	Avisann S.A.S.	Afluente Qda Tinajas	4699693,81	2084206,49	0,7
	Luis Asdrubal Gonzalez Lopez	NN	4705544,07	2086092,91	0,03
	Oscar Garcia Arias	NN	4705301,86	2086731,34	0,015

Tipo de uso	Nombre o razón social	Fuente	Coordenadas Origen Único		Caudal (l/s)
			Este	Norte	
	Rosa Maria Ocampo	NN	4705392,74	2086711,8	0,006
	Agrícola Y Comercial Rayco S.A.S.	NN	4701249,6	2083652,29	0,06
	Maria Amparo Carrillo de Varon	NN	4705013,36	2085973,06	0,003
	Carlos Arturo Segura Herrera	NN	4704728,81	2087227,74	0,012
	Planta Y Frigorifico del Otun S.A.S.	El Erazo	4696679,06	2088833,67	6,26
	Rosaura Ocampo Correa	NN	4705555,84	2087402,82	0,009
	Siergy Group R/V S.A.S.	NN	4708924,43	2081600,12	0,02
	Maria Doris Ramirez Ocampo	NN	4705496,56	2084486,22	0,01
	Jose Antonio Marin Marulanda	NN	4705135,95	2084889,35	0,02
	Maria Gladys Quintero de Restrepo	NN	4705466,84	2086729,36	0,018
	Nestor Eduardo Giraldo Ocampo	Pasacaballo	4705191,64	2085514,01	0,02
	Augusto Henao Serna	El Manzano	4710478,98	2081879,97	0,019
	Mario Hernan Robledo Herrera	Canaan	4701405,96	2087596,48	0,4
Pesca, Maricultura y Acuicultura	Jocion Lopez Restrepo	Piedra Azul	4698860,53	2086111,07	0,1
	Luz Marina Solorzano	Magallanes	4705441,4	2086061,75	0,8
	Luis Gerardo Buitrago Arango	NN	4702304,55	2084582,46	1
	Piscícola Mampay Sas	Consota	4707991,16	2081886,6	28,76
	Piscícola Mampay Sas	NN 1	4708270,38	2082095,94	28,76
	Piscícola Mampay Sas	NN 2	4708076,64	2082139,08	28,76
	Giga S.A.S.	NN 1	4694278,96	2084811,53	6,6
	Giga S.A.S.	NN 2	4695098,31	2084517,65	7,25
	Maria del Pilar Zuluaga Lopez	NN	4694091,75	2084440,59	0,53
	Ricardo Antonio Calvo Galvis	NN	4704976,74	2087216,26	0,21
Uso Agrícola	Jaime Carrillo Carrillo	El Eden	4705466,08	2085516,63	0,02

Tipo de uso	Nombre o razón social	Fuente	Coordenadas Origen Único		Caudal (l/s)
			Este	Norte	
	Juan Carlos Marulanda Loaiza	Los Lagos	4700932,01	2084833,65	0,04
	Bernardo Quintero Cardona	Padre Valencia	4698480,25	2088676,93	0,08
	Jenaro de Jesus Saldarriaga Montoya	El Eden	4705459,19	2084254,44	0,05
	Rosa Amelia Ocampo	Los Villas	4705248,23	2086794,66	0,01
	Giga S.A.S.	NN 1	4694278,96	2084811,53	6,6
	Viviana Restrepo Rojas	NN	4704717,22	2085948,81	0,004
	Agrícola Y Comercial Rayco S.A.S.	NN	4701249,6	2083652,29	0,06
	Isaura María Echeverry Botero	NN	4693469,51	2086777,54	0,034
	Ricardo Antonio Calvo Galvis	NN	4705115,2	2087294,44	2,3
Uso Pecuario	María Sirlley Builes Marin	El Chocho	4705162,93	2086150,42	0,58
	Agropecuaria Ruiz Y Compañía S. En C.	NN	4696483,33	2087445,4	0,683
	Pedro Nel E.S.Pitia Ortegón	El Bosque	4705488,9	2084301,49	0,03
	Luis Gerardo Buitrago Arango	NN	4702304,55	2084582,46	1
	Granja Avícola El Congolo	NN Afluente Qda El Caucho	4696996,92	2086788,62	0,2
	Aydee Marin de Zapata	NN	4709851,87	2082533,61	0,1
	Avisann S.A.S.	Afluente Qda Tinajas	4699693,81	2084206,49	0,7
	Avisann S.A.S	NN Afluente Qda El Oso	4699879,87	2085737,46	0,2
	Luis Asdrubal Gonzalez Lopez	NN	4705544,07	2086092,91	0,03
	María del Pilar Zuluaga Lopez	NN	4694091,75	2084440,59	0,53
Isaura María Echeverry Botero	NN	4693469,51	2086777,54	0,034	
Uso Industrial	Autopistas del Café Sa	Consota	4701271,35	2087565,72	0,1

Tipo de uso	Nombre o razón social	Fuente	Coordenadas Origen Único		Caudal (l/s)
			Este	Norte	
	Planta Y Frigorífico del Otun S.A.S.	El Erazo	4696679,06	2088833,67	6,26
Recreación y deporte	Comfamiliar Galicia	La Morenita	4688760,01	2088827,84	7,3
Uso Estético	Viviana Restrepo Rojas	NN	4704804,12	2085931,3	0,096
	Jose Fernando Gonzalez Gutierrez	NN	4704673,25	2085954,07	0,1
	Sociedad Hernandez Asociados Y Cia S.A.S.	Condina	4699608,37	2083623,96	0,034

Fuente: CARDER. (2021).

Para las captaciones reportadas por la CARDER, se identifican 58 puntos de captación para uso doméstico de los cuales 19 corresponden a uso para consumo humano colectivo o comunitario y 39 captaciones para necesidades domésticas individuales. La suma total de caudal captado para uso doméstico es de 86,6 l/s

Por otro lado, se encuentran 10 captaciones para uso agrícola, con una suma total de caudal de captación de 9,2 l/s. Por otro lado, existen 11 captaciones para uso pecuario y 10 para pesca y acuicultura, con un caudal total de captación de 106,9 l/s.

Para el uso industrial, únicamente se reportan dos captaciones con un caudal total de concesión de 6,4 l/s.

Finalmente en usos estéticos y recreativos se reportaron 4 captaciones para un caudal total de 7,5 l/s.



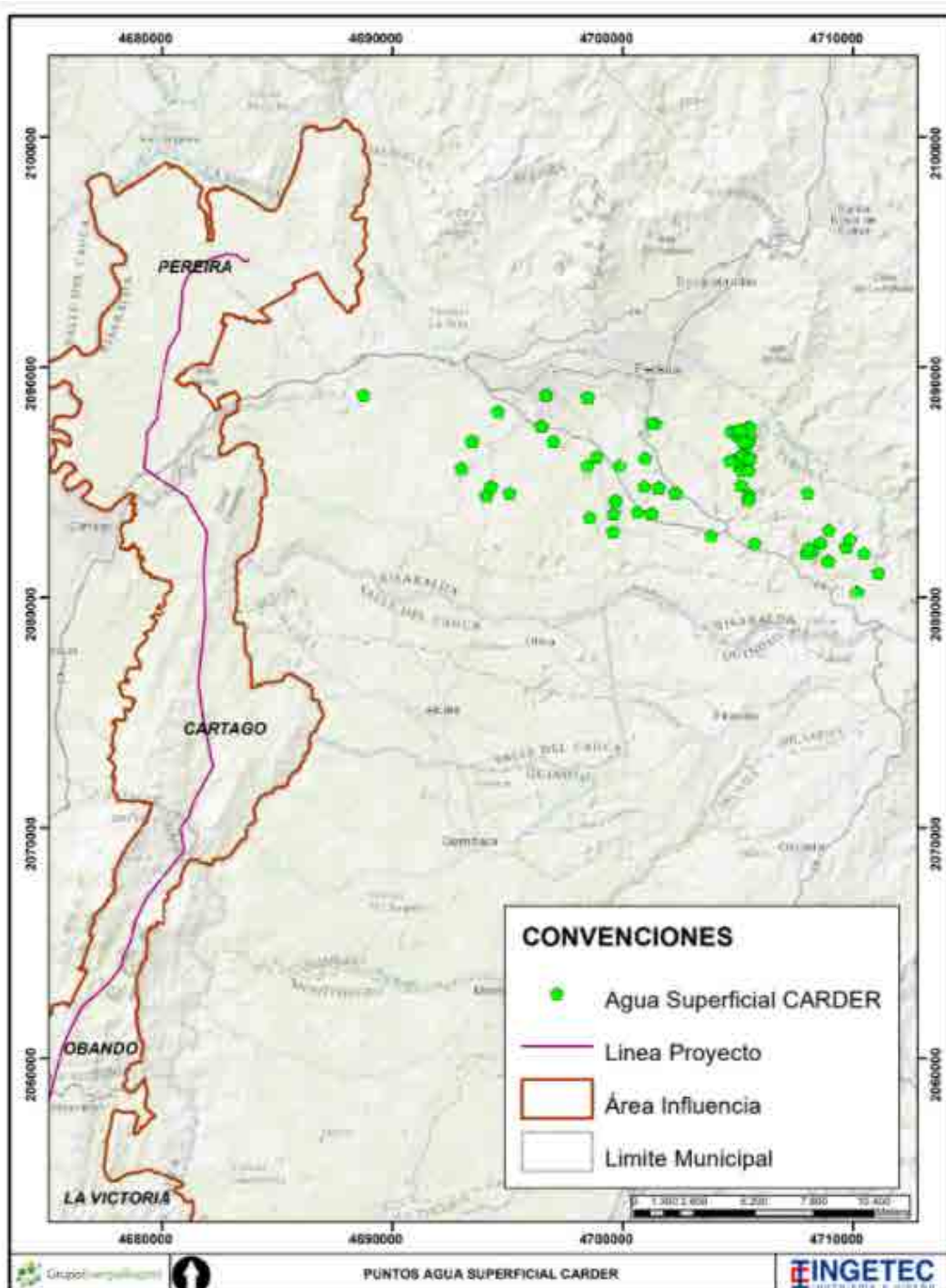


Figura 87. Usuarios aguas superficiales CARDER

Por otro lado, en la información entregada por la CARDER se identificaron 42 permisos de captación de agua subterránea, todos en el municipio de Pereira, departamento de Risaralda. Las coordenadas, caudal concesionado y uso asociado, se presentan en la Tabla 33. Se precisa que dichos permisos de captación de agua subterránea no se encuentran dentro del área de influencia del proyecto, ver Figura 88.

**Tabla 33. Captaciones de agua subterránea entregadas por la CARDER**

Tipo de uso	Nombre o razón social	Fuente	Coordenadas		Caudal (l/s)
			Este	Norte	
Consumo Humano y Uso Doméstico	Asociación Cooperativa de los Trabajadores de la Educación	NN	4685279,59	2089288,67	0,8
	Victoria Eugenia Crosthwaite Ferro	Aljibe NN	4701643,57	2084095,62	0,4
	Comunicadores del Risaralda S.A	NN	4700820,69	2087125,4	0,93
	Nancy Loaiza Contreras	RIPE-P100	4693272,78	2088244,73	0,4
	Gabriel Gonzalez Botero	RIPE121	4685726,59	2089255,2	0,22
	Condominio Villas Toledo	RIPE P 085	4694999,96	2087370,15	1
	Condominio Quintas de Sierra Morena Propiedad Horizontal	RIPE-PO93	4702956,84	2084794,58	0,9
	Condominio Campestre Sabanitas	NN	4693338,74	2087828,45	1,2
	Fundacion Jesucristo y Gedeones en Accion	RI-PE P149	4701196,81	2082106,97	0,2
	Condominio Cipango	RIPE- A479	4702061,58	2083838,66	0,22
Consumo Humano y Uso Doméstico	Condominio Cipango	RIPE- A479	4701870,95	2083902,46	0,22
	Henry Benjamin Herrera Agudelo	NN	4701718,57	2085337,56	0,3
	Condominio Campestre Las Cabañas	P092	4703245,79	2084524,52	0,8
	Piscifactorías del Eje Cafetero Sas	Sin información	4691210,64	2084315,59	0,083
	U. Botero Y Cia S.C.A	Sin información	4693512,28	2085387,13	0,86

Tipo de uso	Nombre o razón social	Fuente	Coordenadas		Caudal (l/s)
			Este	Norte	
	Margen Comercial de Colombia S.A.S	Sin codificación CARDER	4689538,12	2088319,12	0,2
	Club Campestre Internacional de Pereira	Sin información	4688762,81	2089128,87	0,03
	Sociedad Motel Casablanca S.A.	Sin información	4700550,77	2087063,54	0,07
	Sociedad Autos Gamma S.A.S.	Sin información	4701036,9	2090106,76	0,05
	Condominio Campestre Vallarta Ph	Sin información	4701726,58	2083814,48	0,8
	Condominio Campestre Jamaica	Sin información	4701077,48	2086506,4	0,6
	Inversiones Burgir y Cia Sociedad En Comandita Por Acciones	Sin codificación CARDER	4688286,98	2090009,86	0,6
	Bienes y Proyectos del Siglo Veinticinco	NN 1	4700844,3	2086982,8	0,1
Consumo Humano y Uso Doméstico	Alaska Construcciones S.A.S.		4701033,68	2083836,56	0,49
Uso Agrícola	Champifiones de Risaralda S.A.S	Nacimiento La Bodega	4696055,84	2087222,08	0,07
	Isabel Mejia de Jaramillo	Sin codificación CARDER	4691326,35	2089152,6	0,05
	Isabel Mejia de Jaramillo	Sin codificación CARDER	4691314,33	2089149,67	0,05
	Bienes y Proyectos del Siglo Veinticinco S.A.S.	NN 2	4700844,3	2086982,8	0,1
Uso Pecuario	Gabriel Gonzalez Botero	RIPE121	4685726,59	2089255,2	0,22
	Inverzar Ramirez y Compañía S.C.A.		4703122,23	2083242,23	0,087
Uso Industrial	Lavautos Maraya	RIPE A 558	4698505,7	2090642,5	1
	Comunicadores del	NN	4700820,69	2087125,4	0,93

Tipo de uso	Nombre o razón social	Fuente	Coordenadas		Caudal (l/s)
			Este	Norte	
	Risaralda S.A				
	Estación de Servicio Corales	RIPE A 535	4695827,71	2089018,48	0,5
	Serviteca Olaya	RIPE A-559	4701100,55	2090097,84	0,05
	Sociedad Invercal S.As Giraldo	Aljibe agua subterránea	4700704,51	2090424,24	0,5
	Piscifactorías del Eje Cafetero Sas	Sin información	4691210,64	2084315,59	0,083
	Tg Logística S.A.	Sin codificación CARDER	4687347,67	2089652,4	0,7
	Magnetron S.A.S.	Sin información	4686797,36	2089281,61	0,21
	German de Jesus Cardona Bedoya	Sin información	4702484,28	2084609,02	0,8
	German de Jesus Cardona Bedoya	Sin información	4702689,87	2084537,8	0,7
Recreación y Deporte	Comfamiliar Galicia	RIPE-P 105	4688644,96	2088653,49	1,5
	Comfamiliar Galicia	RIPE-P 106	4689063,79	2088949,05	1,5

Fuente: CARDER. (2021).

Para los puntos de captación de aguas subterráneas reportadas por la CARDER, se identifican 24 puntos para uso doméstico, la suma total de caudal captado es de 11,47 l/s

Por otro lado, se encuentran 3 captaciones para uso agrícola, con una suma total de caudal de captación de 0,27 l/s. Por otro lado, existen 2 captaciones para uso pecuario, con un caudal total de captación de 0,31 l/s.

Para el uso industrial, se reportan 10 captaciones con un caudal total de concesión de 5,5 l/s.

Finalmente en usos recreativos se reportaron 2 captaciones para un caudal total de 3 l/s.

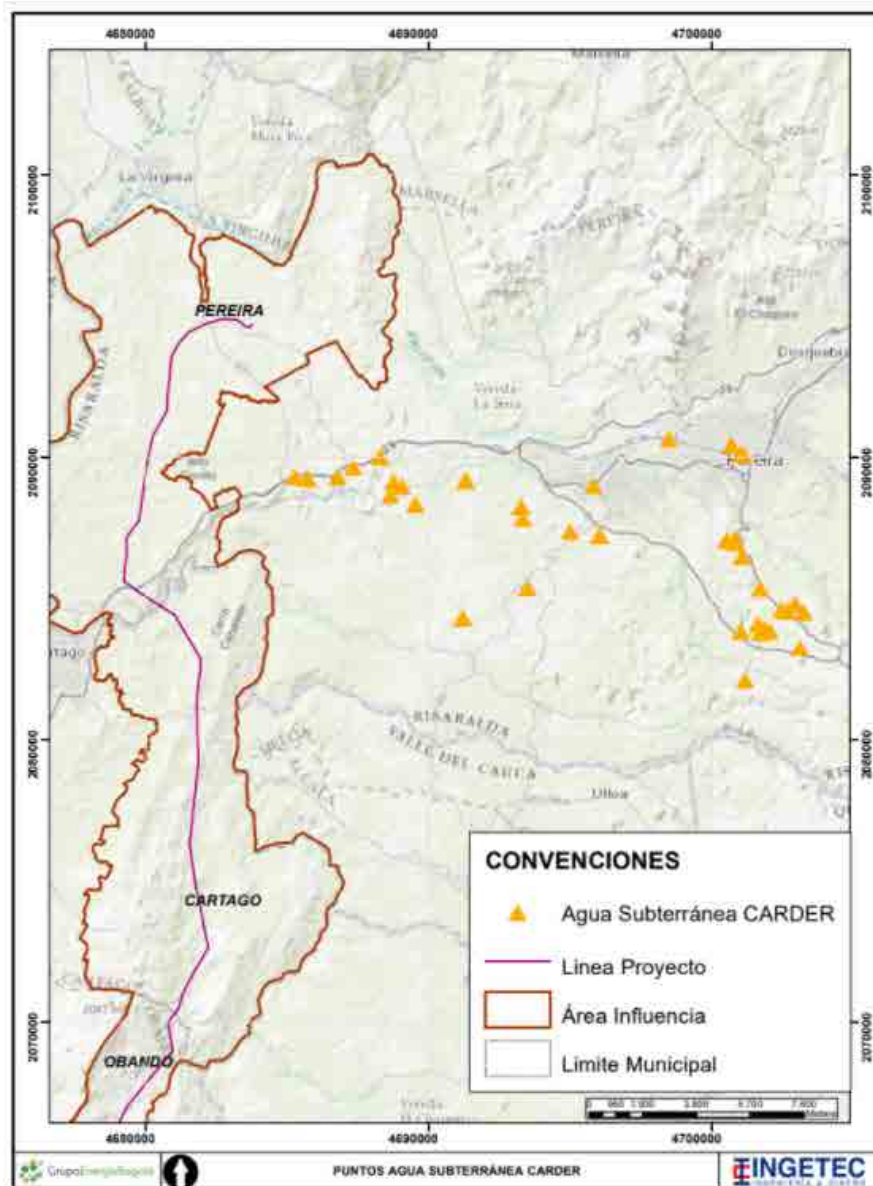


Figura 88. Usuarios aguas subterráneas CARDER

Por último, con respecto a los permisos asociados a vertimientos la CARDER entregó la información de 19 puntos de vertimiento. Todos los puntos se reportan en la subcuenca del río Consota, no obstante, no se entregaron coordenadas de los puntos de vertimiento.

**Tabla 34. Vertimientos reportados por la CARDER**

Beneficiario	Fecha resolución	Subcuenca
Ludivia Toro Grisales	05/01/2015	Consota
Piscifactorías Del Eje Cafetero Sas	05/01/2015	Consota
Fernando Gomez Guzman Asociacion Cooperativa De Trabajadores De La Educacion De Risaralda - Atraer	19/01/2015	Consota
Frank Johany, Conrado De Jesus Marulanda Quintero, Arcila Arcila	06/02/2015	Rio Consota
Juan Arturo, Nidia Paola Franco Quintero, Villamizar Quijano	06/02/2015	Rio Consota
Maria Orfilia Amador Quintero	10/02/2015	Consota
Jose Alberto Aramis Uribe Cruz Roja Colombiana	16/02/2015	Rio Consota
Hector Jaime, Beatriz Alviar Giraldo, Henao De Alviar	16/02/2015	Consota
Victor Alfredo Bohorquez Ramirez	19/02/2015	Rio Consota
Pablo Emilio Castaño Rivera Inversiones De Risaralda	03/03/2015	Consota
Ivan Dario Ruiz Betancourt Piscicola Mampay S.A.S	04/03/2015	Consota
Gloria Ivette Danadier	17/03/2015	Consota
Cesar Augusto Nuñez Bonilla Colegio Saint George School	26/03/2015	Consota
Fabio Valencia Molina	26/03/2015	Consota
Pablo Emilio Castaño Rivera Inversiones De Risaralda - Motel Cherry	06/04/2015	Rio Consota
Astri Arias Salazar	07/04/2015	Rio Consota
Jenaro De Jesús Saldarriaga Montoya	31/07/2015	Consota
Huber De Jesús, Isabel Cristina Diaz, García Duque Condominio Campestre San Rafael	15/09/2015	Rio Consota
Hernan Montoya Cadavid Hogares Claret Centros De reeducación De adictos	06/09/2016	Rio Consota

Fuente: CARDER. (2021).

#### 5.1.8.2.2 Planes de ordenamiento y manejo de cuenca - POMCA

Con el fin de identificar los usos que se presentan en las cuencas hidrográficas asociadas al área de influencia, se realiza una recopilación de la información disponible en los POMCA de las 12 subzonas hidrográficas de la zona del Magdalena - Cauca, en las cuales se localiza la línea de transmisión eléctrica. A continuación se realiza una descripción de la información recopilada para cada subzona hidrográfica.



---

- Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)

Mediante la resolución 0100 No. 0520 - 0324 de 2017 la CVC declaró la ordenación del POMCA del río Guachal, Bolo y Fraile. No obstante, mediante la resolución 0100 No. 0520 - 1023 de 2017 se suspendió la ordenación. Por esta razón, no existe un POMCA vigente para esta subzona hidrográfica. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la cuenca se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para la cuenca del río Guachal, unidad hidrográfica asociada al área de influencia del proyecto.

Se encuentra que el uso doméstico está principalmente representado por los consumos asociados al 5% de la zona rural del municipio de Palmira.

El uso agrícola está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de agosto, ya que este es el mes con mayores registros de evaporación.

El uso pecuario presenta una demanda asociada a actividad aviar y en menor medida porcina y bovina.

Por último, se reporta un uso industrial sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Ríos Amaime y Cerrito

Mediante la Resolución 0500 No. 0500 - 0849 de 2012 y la Resolución 0500 No 0500 - 0853 de 2012 la CVC aprobó el POMCA del río Amaime y Río Cerritos respectivamente. Si bien el POMCA se presenta para el año 2013, la información consignada con respecto a la demanda de agua corresponde al 2007. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la subzona hidrográfica se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para las cuencas de los ríos Amaime y Cerrito.

Se encuentra que el uso doméstico en la cuenca del río Amaime está principalmente representado por los consumos asociados al 78% de la zona rural y 100 % de la cabecera municipal del municipio de Palmira y 52% de la zona rural del municipio de El Cerrito. Para el caso de la cuenca del río Cerrito el consumo doméstico está representado por consumos asociados al 25% de la zona rural del municipio de El Cerrito y el 100% de la cabecera municipal de este municipio.

---

El uso agrícola en ambas unidades hidrográficas está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de agosto, ya que este es el mes con mayores registros de evaporación.

El uso pecuario presenta una demanda en ambas unidades hidrográficas asociada a actividad aviar y en menor medida porcina y bovina.

Por último, se reporta un uso industrial en ambas unidades hidrográficas sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Ríos Tuluá y Morales

Mediante el acuerdo 002 de 2011 la CVC aprobó el POMCA del río Tuluá. Si bien el POMCA se presenta para el año 2011, la información consignada con respecto a la demanda de agua corresponde al 2007. Por otro lado, no se encontró información asociada al río Morales. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la subzona hidrográfica se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para las cuencas de los ríos Tuluá y Morales.

Se encuentra que el uso doméstico en la cuenca del río Tuluá está principalmente representado por los consumos asociados al 41% de la zona rural y 78 % de la cabecera municipal del municipio de Tuluá y para las zonas rurales de los municipios del Cerrito (12%), Guadalajara de Buga (55%) y San Pedro (34%). Para el caso de la cuenca del río Morales el consumo doméstico está representado por consumos asociados al 16% de la zona rural del municipio de Tuluá y el 6% de la cabecera municipal de este municipio y al 53% de la zona rural del municipio de Andalucía y el 61% de la cabecera municipal de este municipio.

El uso agrícola en ambas unidades hidrográficas está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de agosto, ya que este es el mes con mayores registros de evaporación.

El uso pecuario presenta una demanda en ambas unidades hidrográficas asociada a actividad aviar y en menor medida bovina y porcina.

Por último, se reporta un uso industrial en ambas unidades hidrográficas sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Río La Vieja

Mediante la Resolución 0500 No. 0500 - 0274 de 2018 la CVC aprobó el POMCA del río La Vieja. Si bien el POMCA se presenta para el año 2018, no presenta información detallada con respecto a la demanda hídrica. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la subzona hidrográfica se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para las cuencas del río La Vieja.

Se encuentra que el uso doméstico está principalmente representado por los consumos asociados a las zonas rurales de los municipios de: Alcalá (100%), Caicedonia (100%), Cartago (42%), La Victoria (23%), Obando (15%), Sevilla (26%), Ulloa (100%) y Zarzal 1%. Igualmente, existe una demanda asociada a las cabeceras municipales de los municipios de Alcalá, Caicedonia, Ulloa, para los cuales el 100% de la población obtiene el agua de esta cuenca y Cartago la cual capta un agua para el 53% de la población.

El uso agrícola está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de café, plátano, sorgo y soya.

El uso pecuario presenta una demanda asociada a actividad aviar y en menor medida porcina y bovina.

Por último, se reporta un uso industrial sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Río Otún y otros directos al Cauca

Mediante la Resolución No. 1560 de 2011 la CARDER aprobó el POMCA del río Otún. La información expuesta en este documento se emplea para caracterizar la demanda de agua en esta subzona hidrográfica.

Se encuentra que el uso doméstico está principalmente representado por los consumos asociados a los municipios de Dosquebradas, Pereira, Santa Rosa de Cabal y Marsella, representada en un 86% en el área urbana y 14% rural.

El uso agrícola se reporta en menor medida dada la disminución de la actividad cafetera en la cuenca. Sin embargo, en la actualidad existen cultivos de café en la cuenca, mientras que en la parte media y baja se presentan cultivos de piña y cítricos, entre otros.

---

El uso pecuario presenta una demanda asociada a la producción de ganado bovino, avicultura, porcicultura y piscicultura.

Por último, se reporta un uso industrial como uso principal en la cuenca correspondiendo al 80% de la actividad económica. La industria es liderada por la producción de alimentos, papel y recientemente se resalta el crecimiento del sector metalmeccánico

- Ríos Claro y Jamundí

Mediante el acuerdo No. 05 de 2010 la CVC aprobó el POMCA del río Jamundí. En este documento no se presenta información detallada de la demanda hídrica en la cuenca. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la subzona hidrográfica se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para la cuenca del río Jamundí, unidad hidrográfica asociada al área de influencia del proyecto.

Se encuentra que el uso doméstico en la cuenca del río Jamundí está principalmente representado por los consumos asociados al 26% de la zona rural del municipio de Jamundí y el 83% de la cabecera municipal de este municipio y al 37% de la zona rural del municipio de Santiago de Cali y el 3% de la cabecera municipal de este municipio.

El uso agrícola está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de agosto, ya que este es el mes con mayores registros de evaporación.

El uso pecuario presenta una demanda asociada a actividad aviar y en menor medida bovina y porcina.

Por último, se reporta un uso industrial sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo

Mediante la Resolución 0100 No. 0520 - 1215 de 2019 la CVC aprobó el POMCA de los ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo. La información expuesta en este documento se emplea para caracterizar la demanda de agua en esta subzona hidrográfica. El POMCA se complementa con la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para las cuencas de los ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo.

---

### Río Lili

En la cuenca del río Lili se tiene un total de 47 concesiones que representan un total de 338,27 l/s, de las cuales 39 corresponden a consumo humano y doméstico (19,36 l/s), 1 concesión para consumo doméstico y riego (0,11 l/s) y 7 concesiones para riego (318,91 l/s).

De acuerdo con el balance de oferta - demanda (CVC, 2017):

Se encuentra que el uso doméstico está principalmente representado por los consumos asociados al 4,3% de la población rural del municipio de Santiago de Cali y al 6,9% de la población de la cabecera de este municipio.

El uso agrícola está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de agosto, ya que este es el mes con mayores registros de evaporación.

El uso pecuario presenta una demanda asociada a actividad aviar y en menor medida porcina y bovina.

Por último, se reporta que no existe uso industrial, debido a que gran parte de la superficie de la cuenca se encuentra en zonas residenciales del municipio de Santiago de Cali; además en el uso del suelo de la cuenca, no existen áreas con infraestructura industrial.

### Río Meléndez

En la cuenca del río Meléndez se tiene un total de 57 concesiones que representan un total de 421,76 l/s, de las cuales 46 corresponden a consumo humano y doméstico (93,32 l/s), 3 concesiones para riego (2,03 l/s), 1 concesión clasificada como artesanal (0,5 l/s), 1 concesión clasificada como ornamental (18 l/s) y 6 concesiones para acueductos (307,91 l/s).

De acuerdo con el balance de oferta - demanda (CVC, 2017):

Se encuentra que el uso doméstico está principalmente representado por los consumos asociados al 8% de la población rural del municipio de Santiago de Cali y al 11% de la población de la cabecera de este municipio.

El uso agrícola está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de agosto, ya que este es el mes con mayores registros de evaporación.

---

El uso pecuario presenta una demanda asociada a actividad aviar y en menor medida porcina y bovina.

Por último, se reporta que no existe uso industrial, debido a que gran parte de la superficie de la cuenca se encuentra en zonas residenciales del municipio de Santiago de Cali; además en el uso del suelo de la cuenca, no existen áreas con infraestructura industrial.

### Río Cañaveralejo

En la cuenca del río Cañaveralejo se tiene un total de 42 concesiones que representan un total de 31,37 l/s, de las cuales 35 corresponden a consumo humano y doméstico (22,7 l/s), 1 concesión para consumo doméstico y riego (0,25 l/s), 4 concesiones para riego (7,82 l/s) y 2 concesiones clasificadas por la CVC como de uso artesanal (0,6 l/s). En estas concesiones se destacan por la magnitud de su caudal, las correspondientes a la bocatoma Andes Bajo con un caudal concesionado de 1,05 l/s ubicada en la subcuenca de la quebrada Filadelfia y el otorgado para riego a la Sociedad La Perojosa S.A. con una concesión de 3,36 l/s en la quebrada La Carolina.

De acuerdo con el balance de oferta - demanda (CVC, 2017):

Se encuentra que el uso doméstico está principalmente representado por los consumos asociados al 2,6% de la población rural del municipio de Santiago de Cali y al 0,003% de la población de la cabecera de este municipio.

Se determina que no existe la demanda para uso agrícola al no existir coberturas del tipo cultivos permanentes, semi permanentes, transitorios, mixtos y el pasto de corte. No obstante, en el POMCA se reportan 5 concesiones para uso agrícola.

El uso pecuario presenta una demanda asociada a actividad aviar y en menor medida porcina y bovina.

Por último, se reporta que no existe uso industrial, debido a que gran parte de la superficie de la cuenca se encuentra en zonas residenciales del municipio de Santiago de Cali; además en el uso del suelo de la cuenca, no existen áreas con infraestructura industrial.



---

- Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso

Mediante la Resolución 0100 No. 0520 - 0743 de 2009 la CVC aprobó el POMCA del río Guabas. Si bien el POMCA se presenta para el año 2009, la información consignada con respecto a la demanda de agua corresponde al 2007. Por otro lado, no se encontró información asociada a los ríos Sabaletas o Sonso. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la subzona hidrográfica se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para las cuencas de los ríos Guabas, Sabaletas y Sonso.

Se encuentra que el uso doméstico en la cuenca del río Guabas está principalmente representado por los consumos asociados al 41% de la zona rural y 100% de la cabecera municipal del municipio de Guacarí y para el 63% de la zona rural del municipio de Ginebra. En la cuenca del río Sabaletas el uso doméstico está representado por consumos asociados al 37% de la zona rural y 100% de la cabecera municipal del municipio de Ginebra y para las zonas rurales de los municipios del Cerrito (11%) y Guacarí (8,5%). Por último, en la cuenca del río Sonso el consumo doméstico se presenta en el 50% de la población rural de Guacarí y el 8% de la población rural del municipio de Guadalajara de Buga.

El uso agrícola en las tres unidades hidrográficas está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de agosto para las cuencas de los ríos Guabas y Sabaletas y en marzo para el río Sonso. Estos son los meses con mayores registros de evaporación.

El uso pecuario presenta una demanda en las tres unidades hidrográficas asociada a actividad aviar y en menor medida bovina y porcina.

Por último, se reporta un uso industrial en las tres unidades hidrográficas sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Ríos Guadalajara y San Pedro

Mediante la Resolución 0100 No. 0520 - 0227 de 2008 y la Resolución 0100 No 0500 - 0950 de 2011 la CVC aprobó el POMCA del río San Pedro y Guadalajara respectivamente. Si bien el POMCA se presenta para los años 2008 y 2011, la información consignada con respecto a la demanda de agua corresponde al 2007. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la subzona hidrográfica se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para las cuencas de los ríos San Pedro y Guadalajara.

---

Se encuentra que el uso doméstico en la cuenca del río Guadalajara está principalmente representado por los consumos asociados al 37% de la zona rural y 100% de la cabecera municipal del municipio de Guadalajara de Buga y para el 9% de la zona rural del municipio de San Pedro. En la cuenca del río San Pedro el uso doméstico está representado por consumos asociados al 57% de la zona rural y 100% de la cabecera municipal del municipio de San Pedro.

El uso agrícola en ambas unidades hidrográficas está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de marzo para la cuenca del río Guadalajara y en marzo y agosto para la cuenca del río San Pedro. Estos son los meses con mayores registros de evaporación.

El uso pecuario presenta una demanda en ambas unidades hidrográficas asociada a actividad aviar y en menor medida bovina y porcina.

Por último, se reporta un uso industrial en ambas unidades hidrográficas sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Río Bugalagrande

Para el caso del río Buga la Grande no se encontró información asociada a un POMCA actualizado, en las bases de datos de la CVC. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la subzona hidrográfica se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para la cuenca del río Bugalagrande.

Se encuentra que el uso doméstico en la cuenca del río Buga La Grande está principalmente representado por los consumos asociados a las cabeceras municipales de los municipios de Andalucía (39% de la población) y Buga la grande (100%) y a un porcentaje de la población rural de los municipios de Andalucía (47%), Bugalagrande (60%), Sevilla (42%) y Tuluá (43%).

El uso agrícola está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de agosto, ya que este es el mes con mayores registros de evaporación.

El uso pecuario presenta una demanda asociada a actividad aviar y en menor medida bovina y porcina.

---

Por último, se reporta un uso industrial sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Río La Paila

Mediante la Resolución 0100 No. 0500 - 0055 de 2010 la CVC aprobó el POMCA del río La Paila. Si bien el POMCA se presenta para el año 2009, la información consignada con respecto a la demanda de agua corresponde al 2007. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la subzona hidrográfica se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para la cuenca del río La Paila.

Se encuentra que el uso doméstico en la cuenca del río La Paila está principalmente representado por los consumos asociados a la cabecera del municipio de Sevilla cuya población adquiere en un 100% el agua de esta cuenca. Adicionalmente, un porcentaje de la población rural de los municipios de Sevilla (28%), Bugalagrande (34%) y Zarzal (7%).

El uso agrícola está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de Café, plátano y caña de azúcar, la mayor demanda se genera en el mes de agosto, ya que este es el mes con mayores registros de evaporación.

El uso pecuario presenta una demanda asociada a actividad bovina y en menor medida aviar y equina.

Por último, se reporta un uso industrial sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando

Mediante la Resolución 0100 No. 0520 - 0743 de 2009 la CVC aprobó el POMCA del río Guabas. Si bien el POMCA se presenta para el año 2009, la información consignada con respecto a la demanda de agua corresponde al 2007. Por otro lado, no se encontró información asociada a los ríos Los Micos o Las Cañas. De este modo, para la caracterización de demanda del agua en la subzona hidrográfica se toma la información expedida por la CVC en el año 2017 con respecto al balance de oferta - demanda de agua para las cuencas de los ríos Las Cañas, Los Micos y Obando

Se encuentra que el uso doméstico en la cuenca del río Obando está principalmente representado por los consumos asociados al 63% de la zona rural y 92% de la cabecera

municipal del municipio de Obando y para el 57% de la zona rural y 47% de la cabecera municipal del municipio de Cartago. En la cuenca del río Los Micos el uso doméstico está representado por consumos asociados al 58% de la zona rural y 58% de la cabecera municipal de La Victoria y para el 22% de la zona rural y 8% de la cabecera municipal Obando. Por último, en la cuenca del río Las Cañas el consumo doméstico se presenta en el 100% de la población de la cabecera del municipio Zarzal y en un porcentaje de la población rural de los municipios Zarzal (52%), Sevilla (3%) y La Victoria (1%).

El uso agrícola está asociado a la demanda generada por las áreas de cultivos de caña de azúcar, caña panelera y café para la cuenca del río Obando, cultivos de café, caña de azúcar, maracuyá y soya para la cuenca del río Los Micos y cultivos de café, plátano y caña de azúcar para la cuenca del río La Cañas.

El uso pecuario presenta una demanda en las tres unidades hidrográficas asociada a actividad bovina y aviar y en menor medida porcina.

Por último, se reporta un uso industrial en las tres unidades hidrográficas sin dar especificidad en los usuarios asociados a este uso.

- Resumen de información recolectada en POMCA y balances de oferta - demanda

En la Tabla 35 se presenta un resumen de la información recolectada en los POMCAS de las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto. Se aclara que para los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), se incluye como demanda hídrica la demanda ambiental asociada la utilización de agua en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos. Dado que la demanda ambiental no está definida como un uso en el artículo 2.2.3.2.7.6 del Decreto 1076 de 2015, se omite de la información presentada.

Tabla 35. Recolección de información de demanda de agua en POMCAS y estudios de corporaciones ambientales.

SZH	Unidad Hidrográfica	Corporación	Demanda del agua				
			Doméstica	Agrícola	Pecuaría	Industrial	Recreativo
Río Guachal (Bolo - Fraile y Párraga)	Río Guachal	CVC	0,3%	84,3%	0,7%	14,7%	0,0%
Ríos Amaime y Cerrito	Río Amaime	CVC	3,0%	94,2%	0,7%	2,1%	0,0%
	Río El Cerrito	CVC	2,3%	93,6%	0,3%	3,8%	0,0%
Ríos Tuluá y Morales	Río Morales	CVC	2,6%	95,9%	1,3%	0,2%	0,0%

SZH	Unidad Hidrográfica	Corporación	Demanda del agua				
			Doméstica	Agrícola	Pecuaría	Industrial	Recreativo
	Río Tuluá	CVC	5,1%	87,8%	0,8%	6,3%	0,0%
Río La Vieja	Río La Vieja	CVC	6,0%	93,2%	0,7%	0,1%	0,0%
Río Otún y otros directos al Cauca	Río Otún	CARDER	17,6%	0,8%	5,4%	76,3%	0,1%
Ríos Claro y Jamundí	Río Jamundí	CVC	4,3%	95,2%	0,5%	0,1%	0,0%
Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo	Lili	CVC	5,7%	94,2%	0,1%	0,0%	0,0%
	Meléndez	CVC	90,5%	5,0%	0,0%	4,6%	0,0%
	Cañaveralejo	CVC	73,7%	24,5%	0,0%	1,9%	0,0%
Ríos Guabas, Sabaletas y Sonso	Río Sonso	CVC	0,2%	98,1%	1,6%	0,1%	0,0%
	Río Guabas	CVC	1,2%	92,8%	2,4%	3,6%	0,0%
	Río Sabaletas	CVC	0,8%	98,2%	1,0%	0,0%	0,0%
Ríos Guadalajara y San Pedro	Quebrada San Pedro	CVC	0,7%	94,8%	4,5%	0,0%	0,0%
	Río Guadalajara	CVC	3,2%	94,6%	1,4%	0,8%	0,0%
Río Bugalagrande	Río Bugalagrande	CVC	0,5%	98,9%	0,5%	0,2%	0,0%
Río Paila	Río Paila	CVC	0,1%	99,6%	0,1%	0,1%	0,0%
Ríos Las Cañas - Los Micos y Obando	Quebrada Obando	CVC	1,6%	97,3%	0,9%	0,2%	0,0%
	Quebrada Los Micos	CVC	0,4%	99,0%	0,4%	0,2%	0,0%
	Quebrada Las Cañas	CVC	1,2%	95,0%	0,2%	3,6%	0,0%

Para las cuencas correspondientes a la jurisdicción de la CVC la mayor demanda se asocia al sector agrícola, seguida por el consumo doméstico. Con la excepción de las cuencas de los ríos, Meléndez y Cañaveralejo, en los cuales la mayor demanda se da para el consumo doméstico.

Por otro lado, para la cuenca del río Otún, única cuenca en la jurisdicción de la CARDER, la mayor demanda se presenta para el consumo industrial.

---

#### 5.1.8.2.3 Sistema de información del recurso hídrico - SIRH

#### 5.1.8.2.4 Planes de ordenamiento territorial

Para poder contar con una mayor amplitud de la información sobre los usos y usuarios de la región, se realizó la consulta en los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios que presentaron mayor cantidad de corregimientos por los cuales tendrá presencia el proyecto, como son: Andalucía, Buga, Bugalagrande, Candelaria, Cartago, Obando, San Pedro, Tuluá y Zarzal, en el departamento del Valle del Cauca y Pereira en el departamento de Risaralda, sobre las fuentes de abastecimiento y destino del recurso.

- Andalucía

El servicio de acueducto es prestado por la empresa ACUAVALLE S.A E.S.P, la cual capta las aguas del río Bugalagrande, dando cobertura 100% en el área urbana a 3.335 suscriptores y la rural a 734 suscriptores, donde los usuarios reportan una buena prestación del servicio. De acuerdo con lo establecido en el Esquema de Ordenamiento Territorial adoptado mediante Acuerdo 037 del 10 de diciembre de 2000.

Lo anterior difiere con lo encontrado en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017) en los cuales se establece que la cabecera municipal de Andalucía obtiene agua para uso doméstico en un 39% de la cuenca del río Buga La Grande y en un 61% de la cuenca del río Morales. Mientras que la zona rural presenta una demanda de 47% de la cuenca del río Buga La Grande y 53% de la cuenca del río Morales.

- Guadalajara de Buga (Buga, 2000)

El POT 2000 – 2012, adoptado mediante el Acuerdo 68 del 30 de octubre de 2000, en el Tomo I Documento técnico, establece que la empresa prestadora del servicio de acueducto para el municipio, dota solo a la comunidad y sector industrial de agua para consumo humano, y que para el desarrollo de otras actividades como las industriales, estas deben abastecerse de aguas subterráneas de la zona.

El servicio de acueducto es prestado por la empresa Aguas de Buga S.A. E.S.P, la cual cuenta con una bocatoma sobre el río Guadalajara para el suministro al municipio y según reportes en su página de internet, contaba con 34.970 suscriptores, para el año 2017. (<http://aguasdebuga.net/sitio2/2016/12/23/informe-de-gestion>).



---

Lo anterior es coherente con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el 100% del agua de la cabecera municipal de Guadalajara de Buga, proviene de la cuenca del río Guadalajara. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos Tuluá, Sonso y Guadalajara.

- Bugalagrande (Bugalagrande, 2006)

El servicio de acueducto es prestado por la empresa ACUAVALLE S.A E.S.P, la cual capta las aguas del río Bugalagrande y da cobertura a 3.773 suscriptores, correspondientes a los estratos 1, 2, 3 y sectores como el comercial, industrial, oficial y especial; tal y como lo establece la empresa en su página de internet (<https://www.datos.gov.co/Vivienda-Ciudad-y-Territorio/Usuarios-Acueducto-Acuavalle/ma3v-b87p>).

Lo anterior es coherente con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el 100% del agua de la cabecera municipal de Bugalagrande, proviene de la cuenca del río Bugalagrande. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos Bugalagrande y La Paila.

El municipio en su Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), considera la cuenca del río Bugalagrande como una zona de importancia estratégica para la conservación de los recursos hídricos de abastecimiento, en cumplimiento del Artículo 111 de la Ley 99 de 1993.

Frente a las aguas subterráneas presentes en el Abanico de Bugalagrande, el municipio las define como otra posible fuente de abastecimiento, aunque todavía no se hace uso de estas, pues solo sería factible en la medida que se conserven las cuencas y subcuencas sobre el acuífero.

- San Pedro (San Pedro, 2002)

El municipio de San Pedro hace uso principalmente del recurso hídrico superficial para el abastecimiento de sus habitantes, pero contempla el aprovechamiento de los acuíferos como fuentes alternas para el suministro de agua; por lo tanto, busca mediante

---

concertaciones con municipios aledaños la protección de los ecosistemas comunes que suplen los acueductos municipales y veredales.

Adicionalmente, la empresa ACUAVALLE S.A E.S.P, en conjunto con otras entidades, asociaciones rurales y las juntas administradoras de los Acueductos Rurales, desarrollan proyectos encaminados a la recuperación y conservación del recurso hídrico. A su vez da cobertura a 3.337 suscriptores, correspondientes a los estratos 1, 2, 3, 4 y sectores como el comercial, industrial y oficial; tal y como lo establece la empresa en su página de internet

(<https://www.datos.gov.co/Vivienda-Ciudad-y-Territorio/Usuarios-Acueducto-Acuavalle/ma3v-b87p>).

De acuerdo con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), 100% del agua de la cabecera municipal de San Pedro, proviene de la cuenca del río San Pedro. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos Bugalagrande y La Paila.

- Obando (Obando, 2000)

La Sociedad de Acueductos y Alcantarillados del Norte del Valle (ACUAVALLE S.A E.S.P) es la encargada de la distribución y el manejo del Acueducto en el casco Urbano del Municipio, con una cobertura del 98%.

El acueducto municipal se abastece de dos fuentes hídricas, la quebrada El Naranjo y un Pozo Subterráneo ubicado en el Corregimiento de Puerto Molina que está en capacidad de garantizar agua hasta el año 2017. La quebrada El Naranjo presenta altos índices de contaminación orgánica y la disminución de los caudales en épocas de verano.

Para finales del año 2017 ACUAVALLE S.A E.S.P, daba cobertura a 2.531 suscriptores, correspondientes a los estratos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y sectores como el comercial e industrial; tal y como lo establece la empresa en su página de internet (<https://www.datos.gov.co/Vivienda-Ciudad-y-Territorio/Usuarios-Acueducto-Acuavalle/ma3v-b87p>).

Lo anterior es coherente con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el 92% del agua de la cabecera municipal de Obando, proviene de la cuenca del río Obando (llamado localmente, en su parte alta, Quebrada El Naranjo). Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos La Vieja, Obando y Los Micos.

- Zarzal (Zarzal, Plan Básico de Ordenamiento Territorial, 2001) (Zarzal, Plan de desarrollo 2012-2015, 2012)

El Río La Paila y la Quebrada Cañas, son las principales fuentes de abastecimiento para el acueducto existente, con el gran inconveniente que estas aguas entran contaminadas al municipio, por desechos líquidos domésticos y por aguas mieles del beneficio de café que se generan en la parte alta de la Cuenca por municipios vecinos.

La empresa ACUAVALLE S.A E.S.P., es aquella que suministra el recurso hídrico a 8.856 suscriptores. Correspondientes a los estratos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y sectores como el comercial, industria y especial; tal y como lo establece la empresa en su página de internet (<https://www.datos.gov.co/Vivienda-Ciudad-y-Territorio/Usuarios-Acueducto-Acuavalle/ma3v-b87p>).

Lo anterior es difiere con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el 100% del agua de la cabecera municipal de Zarzal, proviene de la cuenca del río Las Cañas. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos La Vieja, La Paila y Las Cañas.

- Tuluá (Tuluá, 2015)

Actualmente, el sistema de acueducto es alimentado por el río Morales y operado por la empresa CENTROAGUAS S.A. E. S. P, prestando una cobertura del 100% en el área urbana y algunos sectores rurales como Aguaclara, La Cruz y Cienegueta, con aproximadamente 55.000 suscriptores

Igualmente, el municipio en pro del buen uso y manejo del recurso hídrico busca en las aguas lluvias una alternativa para el desarrollo de actividades agropecuarias y residenciales, así como en las aguas subterráneas.

Lo anterior es difiere con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el agua de la cabecera municipal de Tuluá proviene en un 78% de la cuenca del río Tuluá y en un 6% de la cuenca del río Morales. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos Morales, Tuluá y Bugalagrande.

---

- Cartago (Cartago, 2006)

Actualmente, EMCARTAGO (Empresas Municipales de Cartago E.S.P.), es la encargada de prestar el servicio de acueducto en el municipio; mediante una bocatoma tipo lateral ubicada en el río La Vieja a un total de 36.383 usuarios registrados a diciembre de 2010.

Adicionalmente, el municipio cuenta con fuentes alternas de abastecimiento como el embalse Tamboral, pozos profundos y cuencas de Ortéz, Cinco pasos y Bocajabo para la construcción de microacueductos.

Lo anterior es difiere con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el agua de la cabecera municipal de Cartago proviene en un 53% de la cuenca del río La Vieja y en un 47% de la cuenca del río Obando. Para la zona rural el consumo doméstico en el área de influencia del proyecto igualmente está asociado a estos dos cuerpos de agua.

- Candelaria (Candelaria, 2005)

Las principales fuentes de abastecimiento de agua superficial son los ríos Fraile, Bolo, Desbaratado y Párraga, los cuales no cuentan con la disponibilidad durante el año para satisfacer las necesidades que demandan las actividades agrícolas, industriales y el consumo de la población, por lo tanto, el municipio se suple mediante la utilización de pozos subterráneos, donde el 90% del agua extraída se utiliza para riego agrícola, 7% en la industria y el 3% para uso doméstico.

Frente a las aguas subterráneas, el municipio cuenta con 262 pozos activos, exceptuando algunos pozos de bajo caudal que se utilizan para abastecimiento público de pequeñas comunidades a los que no se realiza cobro; de estos, 15 pozos son registrados como industriales, los pozos para riego alcanzan un total de 223 y para abastecimiento público y uso doméstico hay 24 pozos.

La empresa ACUAVALLE S.A E.S.P., es aquella que suministra el recurso hídrico a 5.091 suscriptores. Correspondientes a los estratos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y sectores como el comercial, oficial y especial tal y como lo establece la empresa en su página de internet (<https://www.datos.gov.co/Vivienda-Ciudad-y-Territorio/Usuarios-Acueducto-Acuavalle/ma3v-b87p>).

De acuerdo con lo definido en el capítulo 5.1.6 Hidrología, las fuentes de abastecimiento de agua del municipio de Candelaria provienen de unidades hidrográficas que no se encuentran en el área de influencia del proyecto.

- Palmira (Palmira, 2000)

El servicio de acueducto se encuentra ofertado a la totalidad de la población que se encuentra establecida dentro del perímetro urbano, cumpliendo con una cobertura del 100%, con más de 63.639 suscriptores que consumen al año 14.504.922 m<sup>3</sup> de agua potable, para los estratos 1, 2, 3, 4, 5 y 6, así como en los sectores comercial, industrial, especial y oficial.

El río Nima, es la fuente de agua cruda para el acueducto del municipio de Palmira, beneficiando. Actualmente, en el municipio hay dos empresas para el manejo de las aguas como Aguas de Palmira S.A. E.S.P (Presta los servicios de acueducto y alcantarillado en el municipio) y AquaOccidente (Presta los servicios de acueducto y alcantarillado en Palmira).

El Municipio de Palmira cuenta con 50 Acueductos Rurales, de los cuales 22 se encuentran ubicados en la zona alta (1.200 a 4.000 msnm) y 18 en la zona plana (950 a 1.100 msnm) dando cobertura a una población de aproximadamente 56.400 habitantes.

Lo anterior es coherente con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el 100% del agua de la cabecera municipal de Palmira, proviene de la cuenca del río Amaime (uno de los principales afluentes de este río es el río Nima). Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos Guachal y Amaime.

- El Cerrito (Cerrito, 2001)

La empresa ACUAVALLE S.A E.S.P., presta el servicio de acueducto en el municipio El Cerrito tomando como fuente de abastecimiento el río Cerrito. El número de suscriptores del sistema en la cabecera municipal por uso residencial, comercial, oficial y lotes, es de 5.763; mientras que los suscritos por estratos socioeconómico (6 estratos) son 5.554.

Aquellos habitantes que no se benefician de la red de ACUAVALLE S.A. E.S.P., se abastecen de ríos, manantiales o pozos profundos.

Lo anterior es coherente con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el 100% del agua de la cabecera municipal de El Cerrito, proviene de la cuenca del río Cerrito. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos El Cerrito, Tuluá y Sabaleta.

---

- Ginebra (Ginebra, 2003)

La principal fuente de abastecimiento es el río Guabas, que sirve a la cabecera municipal y las veredas del Sauce y El Guabito; dando cobertura a 3.446 suscritos por parte de la empresa ACUAVALLE S.A E.S.P. Los sectores rurales que no cuentan con esta cobertura se abastecen de quebradas o nacimientos a través de acueductos veredales.

Lo anterior es difiere con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el agua de la cabecera municipal de Ginebra proviene en un 100% de la cuenca del río Sabaletas, este se encuentra en la misma subzona hidrográfica del río Guabas. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos Guabas y Sabaletas.

- Guacarí (Guacarí, 2000)

La empresa prestadora del servicio de acueducto es ACUAVALLE S.A. E.S.P., la cual para abastecer la cabecera municipal y zonas rurales de Guabitas y Guabas, cuenta con una bocatoma en Puente Rojo río Guabas. Mientras que para ofrecer el recurso a zonas rurales de Santa Rosa – Sonso, realiza captación de nacimientos de los ríos Sonsito – Tapias.

Actualmente la empresa cuenta con 6.427 suscritos, distribuidos en estratos del 1 al 6 y en actividades comerciales y oficiales.

Lo anterior es coherente con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el 100% del agua de la cabecera municipal de Guacarí, proviene de la cuenca del río Guabas. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos Guabas, Sabaleta y Sonso.

- La Victoria (Victoria, 2014)

El servicio de acueducto es prestado por la empresa ACUAVALLE S.A E.S.P., a través del Sistema de Abastecimiento Regional de Agua para los municipios de Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro, Zarzal, La Victoria, Obando, el corregimiento de Ricaurte y otras comunidades intermedias (Acueducto Regional SARA-BRUT), el cual hace referencia al embalse Guacas.



---

En el área rural de ladera, el abastecimiento se da por captación de agua en nacimientos; igualmente, se tiene como alternativa a las fuentes de abastecimiento, la captación de aguas subterráneas a través de las empresas prestadoras del servicio según licencias otorgadas.

De acuerdo con los reportes de ACUAVALLE S.A E.S.P., en su página de internet, manifiesta que actualmente cuenta con 3.652 suscritos.

Lo anterior es difiere con lo establecido en los balances de oferta - demanda presentados por la CVC (2017), en los cuales se presenta que el 58% del agua de la cabecera municipal de La Victoria, proviene de la cuenca del río Los Micos. El embalse Guacas, está ubicado en la cuenca del río Pescador. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos La Vieja, Los Micos, Las Cañas.

- Pradera (Pradera, 2002)

ACUAVALLE S.A. E.S.P., es la empresa que presta el servicio de acueducto, con una cobertura del 92% en el área urbana, mientras que en área rural plana y rural de ladera solo llega al 62% y 55 % respectivamente. En sectores donde no hay cobertura, la población se abastece de aljibes. Actualmente, se encuentran suscritos a la red de acueducto 10.064 desde el estrato 1 hasta el 5 y los sectores comercial, oficial y especial.

Para este municipio, no se reporta un consumo de agua asociado a las unidades hidrográficas en el área de influencia del proyecto.

- Santiago de Cali (Cali, 2000)

De acuerdo con el reporte realizado en el documento Cali en cifras 2013, realizado por la Alcaldía Municipal, la ciudad de Santiago de Cali contaba para el 2012 con 543.260 suscriptores, entre los cuales se encuentra el sector residencial para estratos 1, 2, 3, 4, 5 y 6, el sector comercial, industrial, público, entre otros; esta cobertura la realiza la empresa EMCALI E.I.C.E. E.S.P.

Adicionalmente, el documento técnico de soporte perteneciente a la Revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali, de junio de 2014; define que son utilizados como fuentes del acueducto de la ciudad, los ríos Cali, Cauca, Meléndez y Pance. Igualmente, se dispone de abundantes recursos de agua subterránea ubicados en ambas márgenes del Río Cauca, en estratos confinados localizados a más de 300 metros de profundidad. EMCALI cuenta actualmente con cuatro pozos perforados en el Distrito de

---

Aguablanca, con capacidad promedio de 100 litros/seg cada uno, que obran como reserva para complementar el servicio de acueducto en casos de emergencia de las plantas abastecidas por el Río Cauca.

El municipio de Santiago de Cali presenta 16.419 suscriptores de los sistemas de abastecimiento en la zona rural, lo que significa una cobertura del 57%. Puntualmente, se cuenta con sistemas de abastecimiento, donde en el 24% de los acueductos hay cobertura del 100%, en el 54% es igual o superior al 70%, en el 18% está por debajo del 70% y, sin datos se registra el 28% de los acueductos. Se reporta continuidad de prestación del servicio en 35 sistemas de abastecimiento, según la cual en el 50% de los acueductos hay continuidad de 24 horas, en el 3% la continuidad está entre 12 y 24 horas, en el 1% está por debajo de 12 horas y, sin datos se registra el 46% de los acueductos. Estos cubrimientos de abastecimiento se dan a través de los acueductos La Buitrera, Felidia y La Reforma y bocatomas como en el Corregimiento Andes Bajo (Quebrada Filadelfia), bocatoma quebrada La Mina (quebrada La Mina) y bocatoma de San Antonio (río Cali).

Lo anterior es coherente con los balances de oferta - demanda de la CVC (2017) que se consultaron, en los cuales se presenta para la cabecera municipal de Santiago de Cali, el 3% del agua proviene del río Jamundí, el 6,9% del río Lili, el 11% del río Melendez, menos del 1% del río Cañaveralejo. La demanda restante de la cabecera municipal, se suple desde unidades hidrográficas por fuera del área de influencia del proyecto. Por otro lado, para la zona rural el consumo de agua correspondiente a las unidades hidrográficas del área de influencia del proyecto se presenta en las cuencas de los ríos Jamundí, Lili, Melendez y Cañaveralejo.

- Pereira (Pereira, 2000)

La empresa Aguas y Aguas de Pereira, es la prestadora del servicio de acueducto en el municipio con un cubrimiento en el área urbana del 95,1% con 83.615 suscriptores. El agua que se capta para la distribución proviene del río Otún.

En la zona rural existen 42 acueductos, para una cobertura del 80%, referida como disponibilidad del recurso con 8.827 suscriptores y unas 40.000 personas atendidas. Las fuentes de abastecimiento se relacionan con diferentes quebradas que rodean el sector entre las que encontramos, quebradas: La Aurora, La Montañita, Pavas, San Vicente, Alto Pital, Palo Santo, entre otras. Igualmente, hay algunos ríos como Cestillar, Barbas y Consota.

Lo anterior es coherente con lo encontrado en el POMCA del río Otun.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- CVC (2017). Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Bolo. Santiago de Cali.
- CVC (2017). Balance oferta - Demanda de agua cuenca del Río Guachal. Santiago de Cali.
- CVC (2017). Balance oferta - Demanda de agua cuenca del Río Bugalagrande. Santiago de Cali.
- CVC (2017). Balance oferta - Demanda de agua cuenca del Río Jamundí. Santiago de Cali.
- CVC (2009). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Jamundí, departamento del Valle del Cauca. Santiago de Cali.
- CVC (2017). Balance oferta - Demanda de agua cuenca del Río Guadalajara. Santiago de Cali.
- CVC, & Corporación río Guadalajara (2011). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guadalajara. Guadalajara de Buga.
- CVC (2017). Balance oferta - Demanda de agua cuenca del. Santiago de Cali.
- CVC, & Corpocuenas (2008). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica de la quebrada San Pedro. San Pedro.
- CVC (2017). Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río La Vieja. Santiago de Cali.
- CVC, & CARDER (2018). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río La Vieja. Bogotá.
- CARDER, & Parques nacionales naturales de Colombia (2019). *Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Otún*. Pereira.
- CVC (2017). Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río La Paila. Santiago de Cali.
- CVC, & Universidad del Valle (2009). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río La Paila. Santiago de Cali.

---

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del Río Amaime*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del Río Cerrito*. Santiago de Cali.

CVC, Fundación universidad del Valle, & Parques nacionales naturales de Colombia (2013). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Amaime*. CVC.

CVC, & Fundación universidad del Valle (2013). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Cerrito*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Guabas*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Sabaletas*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Sonso*. Santiago de Cali.

CVC, & AsoGuabas (2009). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guabas 2009 - 2019*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Las Cañas*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Los Micos*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Obando*. Santiago de Cali.

CVC, & Universidad del Tolima (2009). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica de la quebrada Obando*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Cañaveralejo*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Lili*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Melendez*. Santiago de Cali.

---

CVC, Fondo de adaptación, Ecoforest, & Geocing (2019). *Elaboración del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica de los ríos Lili, Melendez y Cañaveralejo*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Morales*. Santiago de Cali.

CVC (2017). *Balance oferta - Demanda de agua cuenca del río Tuluá*. Santiago de Cali.

CVC, & Corpocuenas (2011). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Tuluá*. Santiago de Cali.

CVC (1975). *Plan de manejo y desarrollo de las cuencas superiores de los ríos Tuluá y Morales*. Santiago de Cali.

1	Noviembre 2022			
0	Julio 2022			
<b>Versión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 <b>Grupo Energía Bogotá</b> <b>UPME 04-2014 REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 kV</b> <b>PROYECTO LA VIRGINIA – ALFÉREZ</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>				
<b>Capítulo 5.1 MEDIO ABIÓTICO (NUMERAL 5.1.9)</b> 				
<b>ESCALA</b> <b>SIN</b>	<b>FORMATO</b> <b>Carta</b>	<b>CÓDIGO GEB:</b> <b>EEB-U414-CT102150-L380-HSE-2006</b>		
		<b>CÓDIGO CONTRATISTA:</b> <b>04517.01-INF-LL-EAMB-CAP5.1.9-0011</b>		



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1 OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
<b>2 GENERALIDADES</b>	<b>8</b>
<b>3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>8</b>
<b>4 ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>8</b>
<b>5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>9</b>
5.1 MEDIO ABIÓTICO	9
5.1.9 Hidrogeología	9
5.1.9.1 Inventario de Cuerpos de Agua Subterránea	11
5.1.9.1.1 Información de referencia	11
5.1.9.1.2 Puntos inventariados para el área de caracterización	17
5.1.9.1.3 Análisis de resultados de variables fisicoquímicas en puntos de agua subterránea	48
5.1.9.1.3.1 Balance iónico	48
5.1.9.1.3.2 Temperatura	49
5.1.9.1.3.3 pH	50
5.1.9.1.3.4 Oxígeno disuelto	51
5.1.9.1.3.5 Alcalinidad total	52
5.1.9.1.3.6 Bicarbonatos y carbonatos	54
5.1.9.1.3.7 Dureza total	54
5.1.9.1.3.8 Calcio y Magnesio	56
5.1.9.1.3.9 Cloruros	57
5.1.9.1.3.10 Sulfatos	58
5.1.9.1.3.11 Sodio total	59
5.1.9.1.3.12 Potasio total	60
5.1.9.1.3.13 Compuestos de nitrógeno	61
5.1.9.1.3.14 Conductividad eléctrica	64
5.1.9.1.3.15 Sólidos totales	65
5.1.9.1.3.16 Coliformes	66
5.1.9.2 Análisis hidroquímico	69
5.1.9.3 Unidades Hidrogeológicas	73
5.1.9.4 Caracterización Hidrogeológica del área	82

---

5.1.9.5 Zonas de Recarga y Descarga	86
5.1.9.6 Direcciones de Flujo	91
5.1.9.7 Dinámica hidrogeológica	98
5.1.9.8 Conclusiones	99
5.1.9.9 Referencias	100

---

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de agua inventario CVC verificados en campo y caracterizados dentro del presente estudio

Tabla 2. Puntos de agua inventario Consultoría Colombiana S.A con observaciones relacionadas a verificación

Tabla 3. Puntos de agua inventariados para el proyecto, diferenciados según tipo y unidad geológica superficial

Tabla 4. Manantiales inventariados dentro del presente estudio a lo largo del área de caracterización hidrogeológica del proyecto.

Tabla 5. Parámetros físico-químicos medidos para los manantiales muestreados dentro del área de caracterización.

Tabla 6. Aljibes inventariados dentro del presente estudio a lo largo del área de caracterización hidrogeológica del proyecto.

Tabla 7. Parámetros físico-químicos medidos para los aljibes muestreados dentro del área de caracterización hidrogeológica.

Tabla 8. Pozos profundos inventariados dentro del presente estudio a lo largo del área de caracterización hidrogeológica del proyecto.

Tabla 9. Parámetros físico-químicos medidos para los pozos muestreados dentro del área de caracterización hidrogeológico.

Tabla 10. Clasificación de los Cuerpos de Agua Según su Alcalinidad total

Tabla 11. Clasificación del agua según su dureza.

Tabla 12. Variaciones en el tipo de agua,

Tabla 13. Unidades Hidrogeológicas para el área de caracterización.

Tabla 14. Relación de áreas de las unidades hidrogeológicas para el área de caracterización.

Tabla 15. Resumen total puntos de agua subterránea.

Tabla 16. Resumen inventario de puntos de agua por unidad geológica.

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de puntos de agua inventariados dentro del área de caracterización hidrogeológica.,

Figura 2. Resultados, Balance iónico.

Figura 3. Resultados, Temperatura.

Figura 4. Resultados, pH.

Figura 5. Resultados, Oxígeno disuelto.

Figura 6. Resultados, Alcalinidad total.

Figura 7. Resultados, Bicarbonatos y carbonatos.

Figura 8. Resultados, Dureza total.

Figura 9. Resultados, Calcio.

Figura 10. Resultados, Magnesio.

Figura 11. Resultados, Cloruros.

Figura 12. Resultados, Sulfatos.

Figura 13. Resultados, Sodio.

Figura 14. Resultados, Potasio.

Figura 15. Resultados, Nitrógeno amoniacal.

Figura 16. Resultados, Nitritos.

Figura 17. Resultados, Nitratos.

Figura 18. Resultados, Conductividad eléctrica.

Figura 19. Resultados, Sólidos totales.

Figura 20. Resultados, Coliformes totales.

Figura 21. Resultados, Coliformes fecales.

Figura 22. Esquema de CHEVOTAREB

Figura 23. Diagrama de Piper.

Figura 24. Diagrama de Stiff.

Figura 25. Unidades Hidrogeológicas para el área de caracterización

Figura 26. Porcentaje de ocupación de unidades hidrogeológicas para el área de caracterización.

Figura 27. Comportamiento del agua que se infiltra. Bajo la zona saturada está la zona impermeable.

Fuente: Fitts, 2002.

Figura 28. Interacción Acuífero - Río (izquierda) y Río - Acuífero (derecha)

Figura 29. Zonas potenciales de recarga y descarga a los acuíferos.

Figura 30. Definición de las direcciones de flujo.

Figura 31. Direcciones de Flujo en el área de caracterización hidrogeológica.

## **LISTA DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía 1. Manantiales vistos en campo. Izquierda) Manantial CAV2-87, Derecha) Manantial CAV 2-94.

Fotografía 2. Aljibes vistos en campo. Izquierda) CAV 075C, Derecha) CAV 075B.

Fotografía 3. Pozos vistos en campo. Izquierda) CAV 153, Derecha) CAV 157.



## **LISTA DE ANEXOS**

D7.1. Mapa de unidades hidrogeológicas.

D7.2. Mapa de puntos de agua.

D7.3. FUNIAS

D7.4. Resultados de laboratorio

## 5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

### 5.1 MEDIO ABIÓTICO

#### 5.1.9 Hidrogeología

Teniendo en cuenta lo establecido en el Numeral 5.1.9 (Hidrogeología), del Capítulo 5 de los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (2018) para el tendido de las líneas de transmisión del sistema nacional de interconexión eléctrica, compuesto por el conjunto de líneas con sus correspondientes módulos de conexión (subestaciones) que se proyecte operen a tensiones iguales o superiores a 220 kV. (LI-TER-1-01, MAVDT, 2006), y la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales (MAVDT, 2018), se presenta el componente hidrogeológico, en el marco de la caracterización del medio abiótico del EIA para el Proyecto Subestación La Virginia – Alférez a 500 kV y líneas de transmisión asociados.

La caracterización hidrogeológica realizada tiene como objetivos principales:

- Elaboración del inventario de puntos de agua subterránea (pozos, piezómetros, Aljibes y manantiales) en el área de caracterización.
- Evaluar el potencial hidrogeológico de las rocas y sedimentos presentes en el área de caracterización para almacenar y transmitir agua.
- Establecer la productividad de los acuíferos.
- Describir el funcionamiento del sistema hidrogeológico de la zona de evaluación.

Para la elaboración del componente hidrogeológico se realizaron actividades de recopilación, análisis y validación de información existente. Se utilizó información adquirida en los aspectos de geología, geomorfología e hidrología, y se realizaron tareas específicas que incluyen información en campo para el reconocimiento de la zona de evaluación, así como, el inventario de puntos de agua subterránea, el cual se realizó a partir del trabajo de campo y de la información de referencia dentro del área de caracterización hidrogeológica, dando prioridad a aquellas áreas localizadas en un radio de 100 m de las torres dadas las recomendaciones ambientales en relación a la definición de rondas de protección hídrica.

El área de caracterización hidrogeológica, bajo la cual se estructura la línea base de este componente y representa la cobertura de evaluación de la información colectada en este capítulo cubre aproximadamente 46952,27 ha, las cuales en relación con el área de

influencia abiótica de aprox. 1256,24 ha, ésta se encuentra totalmente cubierta y representa cerca del 2.67% del área base de caracterización hidrogeológica.

Se partió de la evaluación y cartografía geológica realizada para el presente estudio (Ver numeral 5.1.1), de igual manera, se utilizó información de geomorfología (Ver numeral 5.1.4), hidrología (Ver numeral 5.1.6), presentada detalladamente en los respectivos apartes del estudio.

Para la elaboración de la cartografía hidrogeológica y caracterización de las unidades, se siguieron los lineamientos propuestos en los estándares internacionales, en este sentido se adopta la nomenclatura de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos” (UNESCO, 1983). La leyenda se basa en la asignación de categorías hidrogeológicas con base en el potencial de rocas y sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad litológica evaluada.

Teniendo en cuenta el Estudio Nacional de Agua (IDEAM, 2014), el territorio colombiano fue dividido en 16 provincias hidrogeológicas, sin contar el basamento; el área de caracterización hidrogeológica del EIA se enmarca en la provincia del Cauca – Patía y del basamento hidrogeológico.

Según las características del Proyecto, el trazado de la línea eléctrica de interconexión de 500 kV, en donde se busca la ubicación de torres de soporte separadas a distancias considerables, para el tendido de cuerdas eléctricas aéreas y dado el muy poco contacto tienen con la superficie terrestre; se puede concluir que el proyecto no presenta restricciones desde el punto de vista hidrogeológico.

### 5.1.9.1 Inventario de Cuerpos de Agua Subterránea

#### 5.1.9.1.1 Información de referencia

El inventario es un método de recopilación y análisis de los datos relacionados con la hidrogeología y que proceden de la información de usuarios de los denominados puntos de agua; se utiliza para conocer las características hidrogeológicas de una zona dada. En sentido estricto se puede definir un punto de agua subterránea como un lugar, obra civil o circunstancia que permita un acceso directo o indirecto a un acuífero, estos pueden incluir perforaciones existentes (pozos, piezómetros o aljibes), también se cuentan las fuentes o surgencias naturales (manantiales).

El presente Inventario parte de la revisión y corroboración en campo de dos fuentes de información principales: la información de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y el inventario realizado por Consultoría Colombiana S.A (2018)<sup>1</sup>. Adicionalmente, se recorrió el área de caracterización hidrogeológica del proyecto, con el fin de complementar y actualizar la información base de los estudios previos.

En la información de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) se incluyen 53 pozos profundos y 2 aljibes. Este inventario fue corroborado dentro del presente estudio y cada punto fue caracterizado de acuerdo a la información disponible, dando prioridad a la verificación de aquellos puntos localizados en un radio de 100 m de las torres dada las recomendaciones ambientales en relación a la definición de rondas de protección hídrica (ver Tabla 1).

Tabla 1. Puntos de agua inventario CVC verificados en campo y caracterizados dentro del presente estudio

PUNTOS DE AGUA CVC							
NOMBRE	TIPO	CONDICIÓN	UNIDAD	ESTE	NORTE	NOMENCLATURA INGETEC	OBSERVACIÓN
vcn-171	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4618758,277	1931292,294	CAV158	INGRESO SIN PERMISO
vcn-189	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4624407,23	1928635,99		FUERA DE ÁREA DE ESTUDIO
vcn-193	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4624495,69	1929927,76		SIN PERMISO DE INGRESO

<sup>1</sup> Consultoría Colombiana S.A. (2018). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto La Virginia - Alférez. Refuerzo Suroccidental a 500 kV.

PUNTOS DE AGUA CVC							
NOMBRE	TIPO	CONDICIÓN	UNIDAD	ESTE	NORTE	NOMENCLATURA INGETEC	OBSERVACIÓN
vcn-107	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4630932,52	1935495,41	CAV386	VERIFICADO
vcn-410	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4618758,277	1931292,294	CAV158b	VERIFICADO
vcn-260	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4628441,838	1932748,542	CAV376	VERIFICADO
vcn-31	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4617782,869	1931874,869	CAV156	VERIFICADO
vcn-51	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4629940,281	1934520,199	CAV385	VERIFICADO
vcn-12	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4622868,56	1930242,83		SIN PERMISO DE INGRESO
vcn-11	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4623847,82	1929136,76	CAV160	DESCARTADO
vcn-2	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4623739,47	1928354,52	CAV161	DESCARTADO
vcn-27	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4630385,364	1934381,318	CAV384	VERIFICADO
vcn-28	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4630385,364	1934381,318	CAV384	VERIFICADO
vcn-34	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4631582,50	1936782,69		SIN PERMISO DE INGRESO
vcn-548	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4619353,428	1929080,404	CAV145	VERIFICADO
vcn-58	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4624517,69	1929923,66		SIN PERMISO DE INGRESO
vcn-95	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4627353,062	1930384,227	VCN-95	VERIFICADO
vcn-159	Pozo Profundo	Abandonado	Depósitos de Terraza (Qt)	4611483,454	1930755,742	CAV147	VERIFICADO
vcn-111	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4622239,77	1928990,32	CAV 2-150	VERIFICADO
vcn-183	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4619671,10	1931072,95		PERMISO NEGADO
vcn-184	Pozo Profundo	Activo	Depósitos Aluviales (Qal)	4628299,338	1930384,36	CAV381	VERIFICADO
vcn-187	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4623859,326	1929094,273	CAV159	VERIFICADO
vcn-424	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4632282,922	1936634,565	CAV388	VERIFICADO

PUNTOS DE AGUA CVC							
NOMBRE	TIPO	CONDICIÓN	UNIDAD	ESTE	NORTE	NOMENCLATURA INGETEC	OBSERVACIÓN
vcn-429	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4632763,331	1938582,339	CAV390	VERIFICADO
vcn-431	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4624407,17	1928621,98		FUERA DE ÁREA DE ESTUDIO
vcn-440	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4628441,838	1932748,542	CAV376	VERIFICADO
vcn-443	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4630901,48	1935490,53	CAV386	VERIFICADO
vcn-448	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4626696,218	1929886,055	CAV2-149	VERIFICADO
vcn-551	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4621050,664	1928836,94	CAV148	VERIFICADO
vcn-570	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4624466,53	1929896,85		SIN PERMISO DE INGRESO
vcn-553	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4619672,568	1929363,429	CAV150	VERIFICADO
vcn-564	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4621137,061	1930736,251	CAV153	VERIFICADO
vcn-568	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4632720,741	1937394,94	CAV391	VERIFICADO
vcn-72	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4628912,329	1933233,795	CAV375	VERIFICADO
vcn-340	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4630385,364	1934381,318	CAV384	VERIFICADO
vcn-346	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4623111,946	1928939,914	CAV162	VERIFICADO
vcn-498	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4629074,03	1932418,73		FUERA DE ÁREA DE ESTUDIO
vcn-49	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4628727,049	1933850,253	CAV395	VERIFICADO
vcn-394	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4629410,07	1934974,42		PERMISO NEGADO
vcn-397	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4617844,06	1930521,07		FUERA DE ÁREA
vcn-398	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4632720,741	1937394,94	CAV391	MISMO 568
vcn-540	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4625680,88	1929964,85		PERMISO NEGADO
vcn-378	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4622002,671	1930948,734	CAV154	VERIFICADO



PUNTOS DE AGUA CVC							
NOMBRE	TIPO	CONDICIÓN	UNIDAD	ESTE	NORTE	NOMENCLATURA INGETEC	OBSERVACIÓN
vcn-382	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4619370,946	1930427,872	CAV151	VERIFICADO
vcn-387	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4623260,327	1929810,788	CAV163	VERIFICADO
vp-309	Pozo Profundo	Activo	Conos Aluviales (Qca)	4640008,35	1943662,75		SIN PERMISO DE INGRESO Palmira
vcn-525	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4627338,06	1930148,09		FUERA DE ÁREA DE ESTUDIO
vcn-427	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4631418,02	1936464,13		SIN PERMISO DE INGRESO
vcn-565	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4629401,485	1934098,28	CAV393	VERIFICADO
vcn-532	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4621940,873	1929847,727	CAV149	SE INGRESA SIN PERMISO
vcn-583	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4617701,041	1931698,497	CAV157	VERIFICADO
vcn-584	Pozo Profundo	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4620959,607	1929933,285	CAV146	VERIFICADO
vcn-627	Aljibe	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4627506,635	1930267,991	CAV165	VERIFICADO
vcn-621	Aljibe	Activo	Depósitos de Terraza (Qt)	4619690,58	1931184,98		PERMISO NEGADO
vcn-308	Pozo Profundo	Inactivo	Depósitos de Terraza (Qt)	4629720,86	1932489,07		FUERA DE ÁREA DE ESTUDIO

Dentro del inventario de Consultoría Colombiana S.A (2018)<sup>2</sup> Se inventariaron un total de 32 puntos hidrogeológicos: 10 pozos profundos, 9 aljibes y 13 manantiales. Este inventario fue corroborado dentro del presente estudio y cada punto fue caracterizado de acuerdo a la información disponible, dando prioridad a la verificación de existencia de puntos localizados en un radio de 100 m de las torres dada las recomendaciones ambientales en relación a la definición de rondas de protección hídrica (ver Tabla 2).

<sup>2</sup> Consultoría Colombiana S.A. (2018). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto La Virginia - Alférez. Refuerzo Suroccidental a 500 kV.

Tabla 2. Puntos de agua inventario Consultoría Colombiana S.A con observaciones relacionadas a verificación

INVENTARIO ESTUDIO PREVIO						
NOMBRE	TIPO	UNIDAD	ESTE	NORTE	CAMPO INGETEC	OBSERVACIÓN
Manantial o Nacedero 3	Manantial o nacedero	Formación La Paila (TMP)	4659120,091	2026525,312	CAV78B	VERIFICADO
Manantial o Nacedero 4	Manantial o nacedero	Macizo Ofiolítico de Ginebra (Jkoga)	4638997,12	1980217,04	CAV 2-106	VERIFICADO
Manantial o Nacedero 5	Manantial o nacedero	Formación Cinta de Piedra (Tocp)	4674964,96	2057663,11	CAV221	VERIFICADO
Manantial o Nacedero 6	Manantial o nacedero	Formación Cinta de Piedra (Tocp)	4681028,429	2069961,544	CAV251	VERIFICADO
Manantial o Nacedero 7	Manantial o nacedero	Complejo de Río Córdoba (Kdi)	4641920,76	1944585,12		SIN PERMISO DE INGRESO Palmira
Manantial o Nacedero 8	Manantial o nacedero	Conos Aluviales (Qca)	4642842,712	1969026,191	CAV18	FLUJO BAJO
Manantial o Nacedero 10	Manantial o nacedero	Macizo Ofiolítico de Ginebra (Jkoga)	4640125,31	1985304,73	CAV35	DESCARTADO, SIN FLUJO
Manantial o Nacedero 11	Manantial o nacedero	Macizo Ofiolítico de Ginebra (Jkoga)	4640193,542	1985008,688	CAV34	BAJO FLUJO
Manantial o Nacedero 12	Manantial o nacedero	Macizo Ofiolítico de Ginebra (Jkoga)	4640486,73	1985819,37	CAV2-116	DESCARTADO, SIN FLUJO
Manantial o Nacedero 9	Manantial o nacedero	Formación Amaime (Jka)	4645064,70	1946158,71		SIN PERMISO DE INGRESO Palmira
Manantial o Nacedero 13	Manantial o nacedero	Formación Cinta de Piedra (Tocp)	4676070,323	2061548,888	CAV2-91	VERIFICADO
Manantial o Nacedero 14	Manantial o nacedero	Formación Cinta de Piedra (Tocp)	4678388,669	2064442,06	CAV2-32	DESCARTADO, SIN FLUJO

INVENTARIO ESTUDIO PREVIO						
NOMBRE	TIPO	UNIDAD	ESTE	NORTE	CAMPO INGETEC	OBSERVACIÓN
Manantial o Nacedero 15	Manantial o nacedero	Formación Cinta de Piedra (Tocp)	4681844,57	2082566,42	CAV274	VERIFICADO
Aljibe 1	Aljibe	Formación La Paila (N1p)	4661952,20	2033993,43	CAV089	VERIFICADO
Aljibe 2	Aljibe	Depósitos Aluviales (Qal)	4664173,308	2036693,754	CAV107	VERIFICADO
Aljibe 16	Aljibe	Formación La Paila (TMp)	4663901,148	2036602,004	CAV105	VERIFICADO
Aljibe 17	Aljibe	Formación La Pobreza (TMpo)	4664934,758	2040072,858	CAV112	VERIFICADO
Pozo profundo 18	Pozo profundo	Depósitos Aluviales (Qal)	4665176,771	2040434,152	CAV113	VERIFICADO
Pozo profundo 19	Pozo profundo	Depósitos Aluviales (Qal)	4665156,96	2041253,457	CAV121	VERIFICADO
Aljibe 20	Aljibe	Conos Aluviales (Qca)	4640152,34	1944125,99		SIN PERMISO DE INGRESO Palmira
Pozo profundo 21	Pozo profundo	Conos Aluviales (Qca)	4640141,53	1944078,95		SIN PERMISO DE INGRESO Palmira
Pozo profundo 22	Pozo profundo	Depósitos de Terraza (Qt)	4628441,838	1932748,542	CAV376	VERIFICADO
Pozo profundo 23	Pozo profundo	Depósitos Aluviales (Qal)	4627967,173	1931540,895	CAV170	VERIFICADO
Pozo profundo 24	Pozo profundo	Depósitos Aluviales (Qal)	4627982,241	1931557,551	CAV172	VERIFICADO
Pozo profundo 25	Pozo profundo	Depósitos Aluviales (Qal)	4628010,358	1931595,35	Pozo profundo 25	VERIFICADO
Pozo profundo 26	Pozo profundo	Depósitos de Terraza (Qt)	4628037,554	1931630,186	CAV325	VERIFICADO
Aljibe 27	Aljibe	Depósitos de Terraza (Qt)	4628125,856	1931755,28	CAV332	VERIFICADO
Aljibe 28	Aljibe	Depósitos de Terraza (Qt)	4628227,88	1932020,781	CAV346	VERIFICADO
Aljibe 29	Aljibe	Depósitos de Terraza (Qt)	4628248,185	1932104,501	CAV349	VERIFICADO
Aljibe 30	Aljibe	Depósitos de Terraza (Qt)	4628286,525	1932192,028	CAV350	VERIFICADO

INVENTARIO ESTUDIO PREVIO						
NOMBRE	TIPO	UNIDAD	ESTE	NORTE	CAMPO INGETEC	OBSERVACIÓN
Pozo profundo 31	Pozo profundo	Depósitos de Terraza (Qt)	4628339,741	1932384,477	Pozo profundo 31	VERIFICADO
Pozo profundo 32	Pozo profundo	Depósitos Aluviales (Qal)	4614518,54	1931240,57	CAV 2-151	VERIFICADO

#### 5.1.9.1.2 Puntos inventariados para el área de caracterización

El inventario de aguas subterráneas relacionado al presente estudio se realizó en cinco etapas: la primera entre el 19 de octubre de 2020 hasta el 12 de noviembre de 2020, la segunda entre el 19 y el 29 de enero de 2021, la tercera etapa entre el 9 y 18 de noviembre de 2021, la cuarta etapa entre el 20 y 23 de diciembre de 2021 la quinta etapa entre el 2 y 5 de febrero de 2022 . Durante estas etapas se han inventariado un total de 210 puntos hidrogeológicos, 64 pozos profundos (51 productivos y 13 abandonados), 68 aljibes y 76 manantiales. Los puntos se muestran en la Figura 1 y con detalle en el mapa de puntos de agua del Anexo D7.2.

Los puntos de agua inventariados dentro del presente estudio de cada una de las unidades geológicas se presentan en la Tabla 3, en la misma se incluyen los puntos de agua subterránea verificados y actualizados de la información de referencia.

Tabla 3. Puntos de agua inventariados para el proyecto, diferenciados según tipo y unidad geológica superficial

UNIDAD GEOLÓGICA	POZOS SUBTERRÁNEOS		ALJIBES		NACIMIENTOS (Manantiales)		POZOS ABANDONADOS	
<b>DEPÓSITOS ALUVIALES</b>	CAV113 (Pozo profundo 18) CAV121 (Pozo Profundo 19) CAV381 (VCN-184)	3	CAV136 CAV167 CAV168 CAV 2-151 (Pozo profundo 32) CAV 2-152 CAV 2-154	6			CAV110	1
<b>CONOS ALUVIALES</b>	CAV183 CAV184 CAV 2-139 CAV 2-144 CVA3- 001 (Pozo VP895) CVA3- 002 CVA3- 003	21	CAV 2-140  CAV3-014 (Pozo-Aljibe 246CVC) CAV3-015 CAV3-016 CAV3-029	5	CAV3-017 CAV3-018 CAV3-019 CAV3-021 CAV3-022 CAV3-023 CAV3-024 CAV3-025 CAV3-026	11	CAV180	1

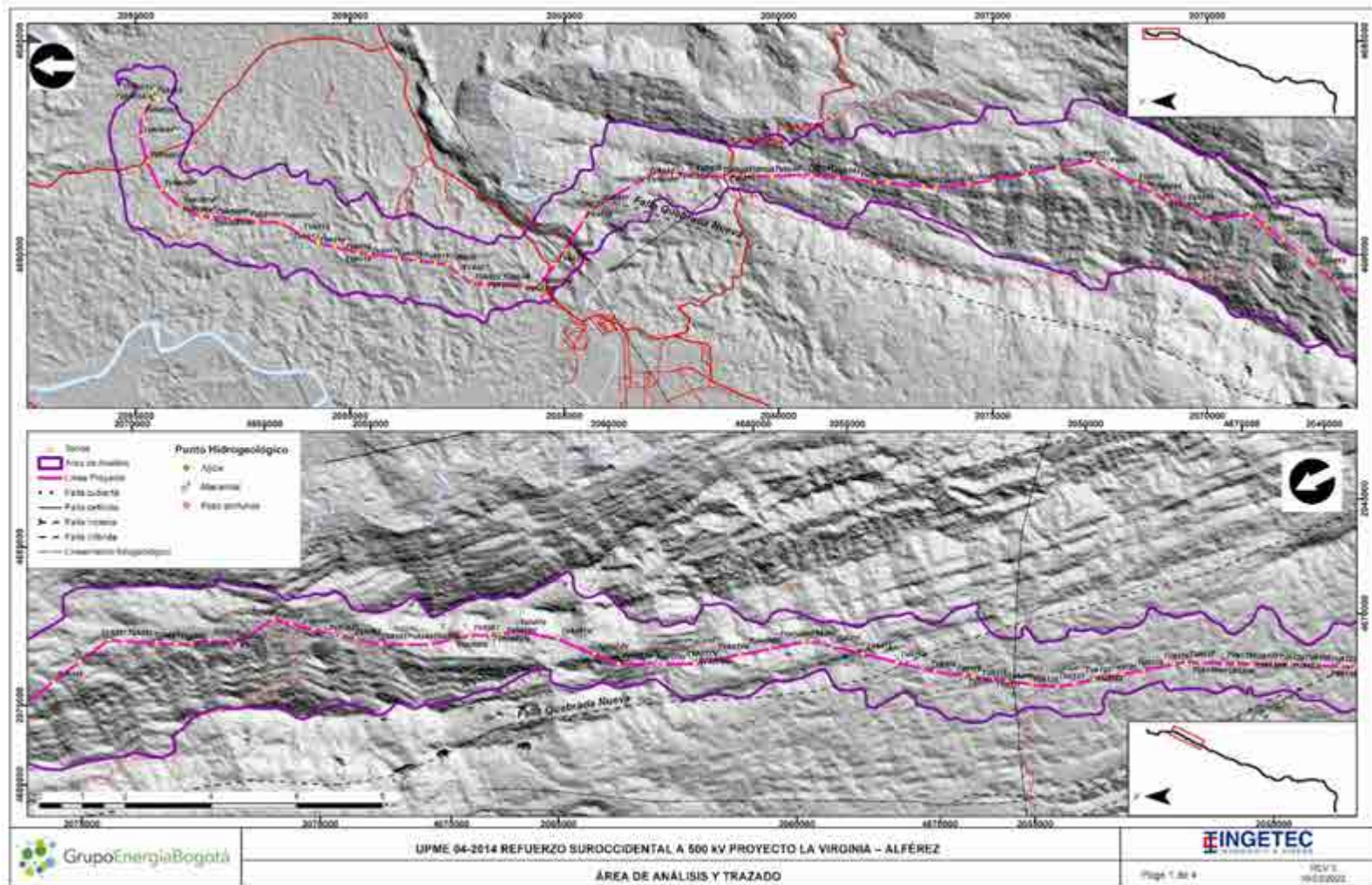
UNIDAD GEOLÓGICA	POZOS SUBTERRÁNEOS	ALJIBES	NACIMIENTOS (Manantiales)	POZOS ABANDONADOS		
	CVA3- 004 CVA3- 005 (Pozo VCE-93-2626) CVA3- 006 (Pozo VG-44) CVA3- 007 (Pozo VG-21) CVA3- 008 (Pozo 9062) CVA3- 009 (Pozo VP-659) CVA3- 010 (Pozo VP213) CVA3- 011 (Pozo VP 663) CVA3- 012 (Pozo VP544) CVA3- 013  CVA4-001( VCE194 -POZO 2641) CVA4-002 Pozo (VCE222- 9063) CVA4-03 (Pozo VCE163- 9048) CVA4-004 (POZO VCE134)		CAV3-027 CAV3-028			
<b>DEPÓSITOS DE TERRAZA</b>	CAV146 (VCN-584) CAV148 (VCN-551) CAV149 (VCN-532) CAV150 (VCN-553) CAV151 (VCN-382) CAV153 (VCN-564) CAV154 (VCN-378) CAV157 (VCN-583) CAV159 (VCN-187) CAV162 (VCN-346) CAV163 (VCN-387) CAV375 (VCN-72) CAV376 (VCN-440/Pozo Profundo 22) CAV379 CAV380 CAV384 (VCN-340) CAV386A (VCN-443) CAV388 (VCN-424) CAV390 (VCN-429) CAV391 (Mismos VCN-568/VCN-398) CAV392 CAV393 (VCN-565) CAV395 (VCN-49) CAV 2-145 (VCN-88) CAV 2-149 (VCN-449)	27	CAV152 CAV1611 CAV165 (VCN-627) CAV169 CAV170 (Pozo Profundo 23) CAV171 CAV172 (Pozo Profundo 24) CAV173 CAV175 CAV176 CAV177 CAV178 CAV179 CAV326 CAV325 (Pozo Profundo 26) CAV327 CAV328 CAV329 CAV330 CAV331 CAV332 (Aljibe 27) CAV333 CAV334	47	CAV145 (VCN-548) CAV147 (VCN-159) CAV156 (VCN-31) CAV158 (VCN-410/VCN-171) CAV376b (VCN-260) CAV384a-CAV384b (VCN-27/VCN-28) CAV385 (VCN-51) CAV386B (VCN-107) VCN-95	11

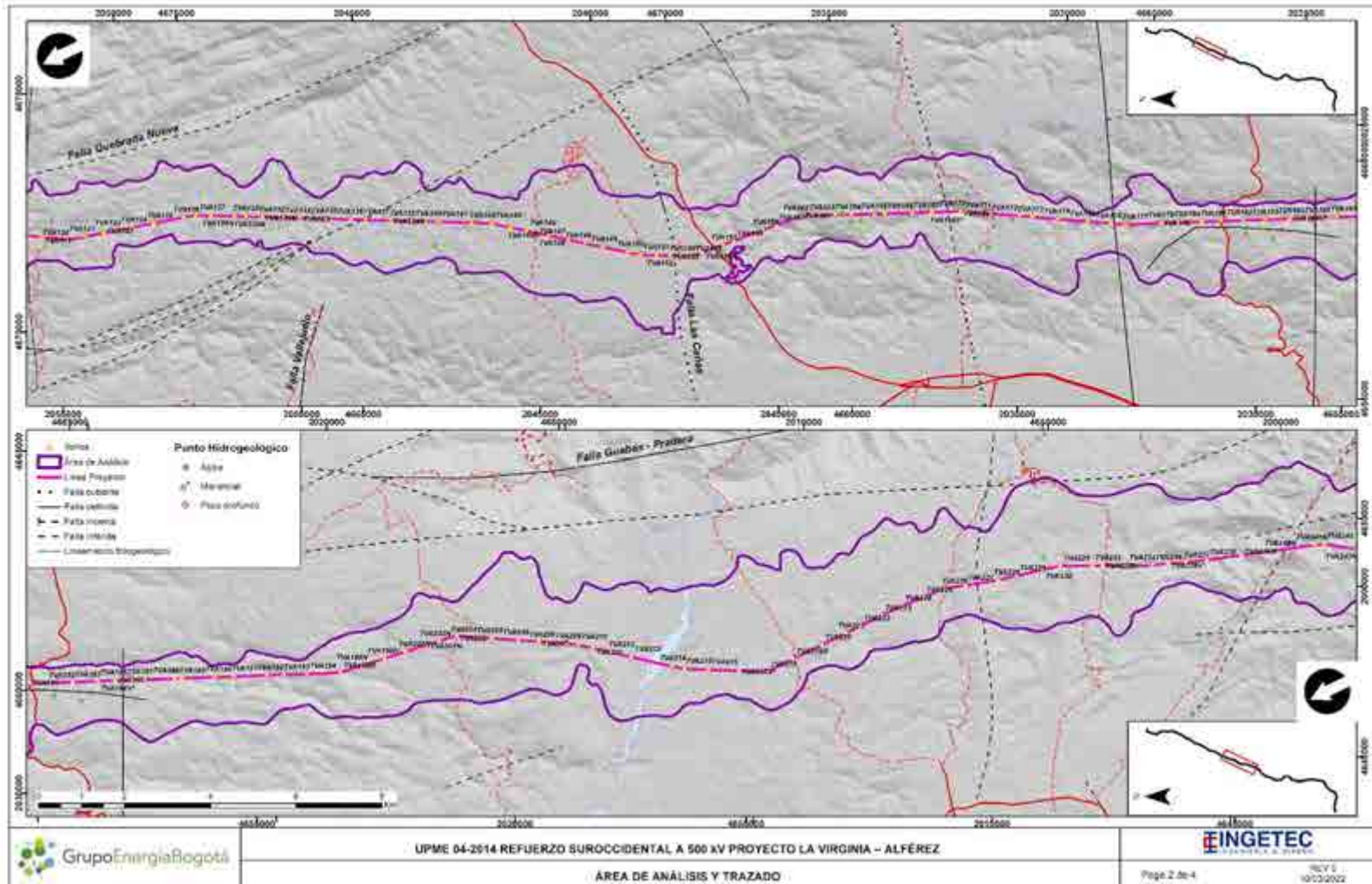
UNIDAD GEOLÓGICA	POZOS SUBTERRÁNEOS	ALJIBES	NACIMIENTOS (Manantiales)	POZOS ABANDONADOS
	CAV 2-150 (VCN-111)  CAV4-005 (Pozo VCN583)	CAV335 CAV336 CAV337 CAV338 CAV339 CAV340 CAV341 CAV342 CAV343 CAV344 Pozo Profundo 25 Pozo Profundo 31 CAV345 CAV346 (Aljibe 28) CAV347 CAV348 CAV349 (Aljibe 29) CAV350 (Aljibe 30) CAV351 CAV352 CAV353 CAV377 CAV382 CAV 2-146		
<b>FORMACIÓN ZARZAL</b>			CAV308 (descartable por ausencia en verano).	1
<b>FORMACIÓN LA PAILA</b>		CAV075B CAV075C CAV089 (Aljibe 1) CAV09 CAV104 CAV105 (Aljibe 16) CAV107 (Aljibe 2)	CAV073 NA CAV075 NA CAV077 NA CAV078B (Nacimiento 3) CAV 2-42	5
<b>FORMACIÓN LA POBREZA</b>		CAV112 (Aljibe 17) CAV 2-50		2
<b>FORMACIÓN CINTA DE PIEDRA</b>			CAV221 (Nacimiento 5) CAV225 CAV243 CAV247 CAV249 CAV251 (Nacimiento 6)	29



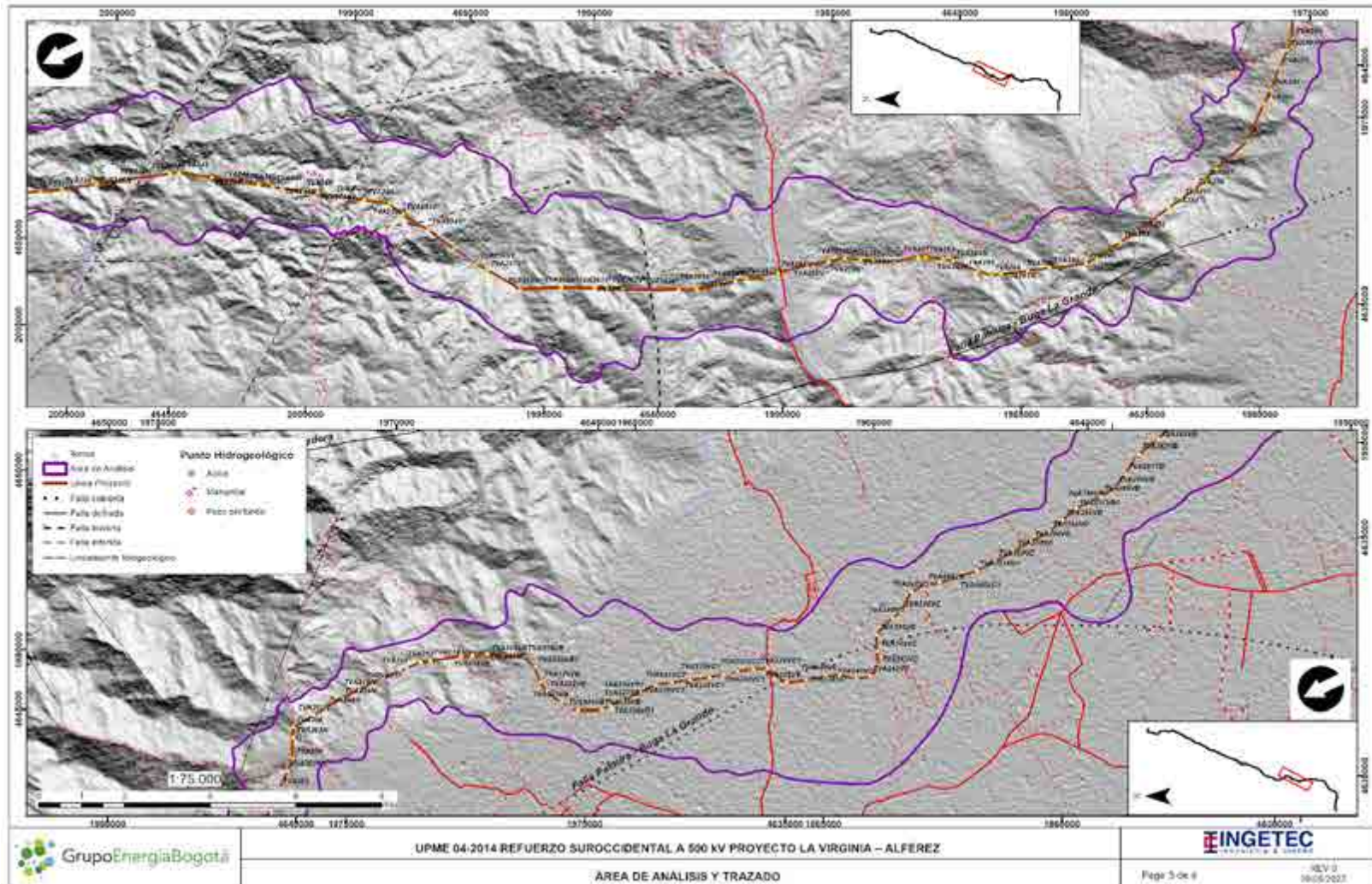
UNIDAD GEOLÓGICA	POZOS SUBTERRÁNEOS		ALJIBES		NACIMIENTOS (Manantiales)		POZOS ABANDONADOS	
					CAV270B CAV272 CAV279 CAV312 CAV 2-11 CAV 2-12 CAV 2-13 CAV 2-15 CAV 2-19 CAV 2-20 CAV 2-21 CAV 2-22B CAV 2-27 CAV 2-28 CAV 2-30 (Z) CAV 2-32 (Nacimiento 14 - intermitente) CAV 2-37 CAV 2-40B CAV 2-90 CAV 2-91 (Nacimiento 13) CAV 2-94 CAV 2-96 CAV 2-98			
<b>MACIZO OFIOLÍTICO DE GINEBRA</b>					CAV016 CAV018 (Nacimiento 8) CAV020 CAV026 CAV028 CAV029 CAV034 (Nacimiento 11) CAV187 CAV190 CAV1911 CAV204 CAV206 CAV355 CAV356 CAV357 CAV 2-101 CAV 2-104 CAV 2-106 (Nacimiento 4) CAV 2-114 CAV 2-115 CAV 2-128 CAV 2-131 CAV 2-136 CAV4-006	23		

UNIDAD GEOLÓGICA	POZOS SUBTERRÁNEOS		ALJIBES		NACIMIENTOS (Manantiales)		POZOS ABANDONADOS	
BATOLITO DE BUGA			CAV 2-66 (Dique)	1	CAV 2-74B CAV 2-76 CAV2-78 (Sin acceso) CAV 2-85 CAV 2-86 CAV 2-87 CAV 2-138	7		
<b>TOTAL</b>	<b>POZOS SUBTERRÁNEOS</b>		<b>ALJIBES</b>		<b>NACIMIENTOS</b>		<b>POZOS ABANDONADOS</b>	
208	51		68		76		13	









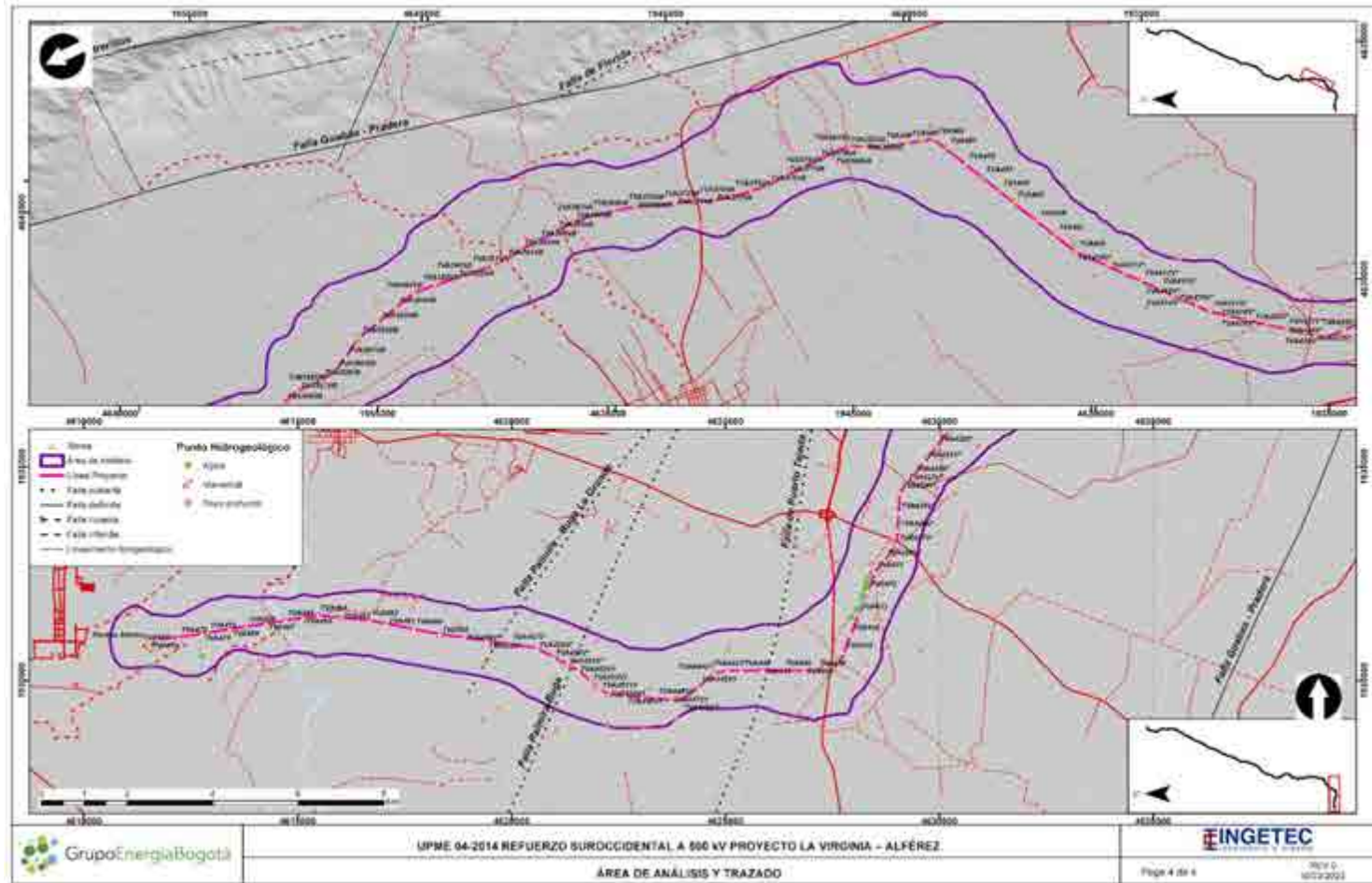


Figura 1. Mapa de puntos de agua inventariados dentro del área de caracterización hidrogeológica.,



- **Manantiales**

Un manantial es un punto o zona del terreno en la que, de modo natural, accede a la superficie un caudal apreciable de agua, procedente de la descarga de un acuífero. Suelen manifestarse con claridad en condiciones subterráneas, pero también están presentes habitualmente en condiciones subacuáticas (en las situaciones de efluencia). Constituyen la forma más conocida de alumbramiento natural de agua subterránea, a modo de aliviaderos y desagües de la infiltración o recarga de los acuíferos (Custodio, 1996).

En el área de caracterización hidrogeológica se identificaron 78 manantiales (Tabla 4) principalmente asociados a la Formación Cinta de Piedra y al Macizo Ofiolítico de Ginebra. Las principales características fisicoquímicas del agua para los puntos inventariados son: el color varía entre incoloro y amarillo, el olor del agua es predominantemente inodora. También se presentaron unidades de pH entre 7,2 y 8, la temperatura promedio del agua es de 24,6°C, la conductividad eléctrica se presenta entre 185  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 653  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (Ver Fotografía 1) (Tabla 5). Las características específicas de la totalidad de puntos inventariados son presentadas dentro de los formatos FUNIAS anexos al presente documento (Anexo D7.3).

Tabla 4. Manantiales inventariados dentro del presente estudio a lo largo del área de caracterización hidrogeológica del proyecto.

Nombre (ID)	Tipo	Estado-Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas	
					Este	Norte
CAV2-138	Manantial	Inactivo	ND	Batolito de Buga	4636545,79	1942745,71
CAV2-136	Manantial	Productivo-Doméstico	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4637583,71	1940485,55
CAV2-131	Manantial	Productivo-Ganadería	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4637576,3	1940499,96
CAV2-128	Manantial	Inactivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4646897,06	1996344,99
CAV2-115	Manantial	Sin uso directo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4681969,25	2082712,69
CAV2-114	Manantial	Sin uso directo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4641985,9	1972427,12
CAV2-106	Manantial	Sin uso directo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4640687,35	1985718,73
CAV2-104	Manantial	Productivo-	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4640644,29	1985796,47
		Doméstico y Ganadería				

Nombre (ID)	Tipo	Estado-Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas	
					Este	Norte
CAV2-101	Manantial	Productivo-	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4682032,82	2082895,74
		Doméstico y Ganadería				
CAV2-98	Manantial	Productivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4639460,58	1979147,87
		Ganadería				
CAV2-96	Manantial	Productivo- sin uso	ND	Formación Cinta de Piedra	4639399,34	1979123,87
CAV2-94	Manantial	Productivo-Ganadería	ND	Formación Cinta de Piedra	4681654,34	2083325,02
CAV2-91	Manantial	Inactivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4681956,7	2082176,28
CAV2-90	Manantial	Inactivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4681867,96	2081836,86
CAV2-78	Manantial	Sin uso directo	ND	Batolito de Buga	4674883,41	2057673,17
CAV2-76	Manantial	Productivo	ND	Batolito de Buga	4645017,95	1995001,57
		Ganadería				
CAV2-87	Manantial	Productivo	ND	Batolito de Buga	4681028,43	2069961,54
		Ganadería				
CAV2-86	Manantial	Productivo	ND	Batolito de Buga	4680760,87	2068859,29
		Ganadería				
CAV2-85	Manantial	Productivo	ND	Batolito de Buga	4680567,2	2068734,6
		Doméstico				
CAV2-74B	Manantial	Inactivo	ND	Batolito de Buga	4644511,44	1994415,56
CAV2-42	Manantial	Productivo	ND	Formación La Paila	4647859,97	1997738,52
		Ganadería				
CAV2-40B	Manantial	Productivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4647624,04	1997807,75
		Ganadería				
CAV2-37	Manantial	Inactivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4649473,73	1999231,73
CAV2-32	Manantial	Inactivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4652403,71	2006283,2
CAV2-28B	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación Cinta de Piedra	4664622,81	2039612,05

Nombre (ID)	Tipo	Estado-Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas	
					Este	Norte
CAV2-27	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación Cinta de Piedra	4673337,72	2055866,26
CAV2-22B	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación Cinta de Piedra	4675457,56	2058940,96
CAV2-21	Manantial	Reserva	ND	Formación Cinta de Piedra	4678388,67	2064442,06
		Ganadería - Uso ocasional				
CAV2-20	Manantial	Inactivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4681808,55	2081081,96
CAV2-19	Manantial	Productivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4681844,25	2079468,6
		Doméstico - Agrícola				
CAV2-15	Manantial	Productivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4612766,59	1930573,26
		Doméstico - Agrícola				
CAV2-13	Manantial	Productivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4646262,44	1996169,38
		Doméstico - Agrícola				
CAV2-12	Manantial	Productivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4646812,12	1995790,91
		Agrícola				
CAV2-11	Manantial	Inactivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4681977,07	2082766,95
CAV357	Manantial	Productivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4639460,31	1983835,83
		Ganadería				
CAV356	Manantial	Productivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4639395,8	1983823,24
		Ganadería				
CAV355	Manantial	Productivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4639411,67	1983762,21
		Ganadería				
CAV312	Manantial	Productivo-Reserva	ND	Formación Cinta de Piedra	4681308,54	2070488,57
CAV308	Manantial	Productivo - intermitente/sin flujo	ND	Formación Zarzal	4682255	2094646,21
		Ganadería				

Nombre (ID)	Tipo	Estado-Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas	
					Este	Norte
CAV279	Manantial	Productivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4675996,72	2060835,47
		Ganadería				
CAV272	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación Cinta de Piedra	4641836,89	1973714,05
CAV270B	Manantial	Inactivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4676118,53	2061554,55
CAV251	Manantial	Productivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4676070,32	2061548,89
		Doméstico				
		Ganadería				
CAV249	Manantial	Productivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4648143,26	1997277,74
		Ganadería				
CAV247	Manantial	Inactivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4648449,82	1997491,36
CAV243	Manantial	Inactivo	ND	Formación Cinta de Piedra	4648331,84	1997361,79
CAV225	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación Cinta de Piedra	4670763,08	2051245,8
CAV221	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación Cinta de Piedra	4681702,19	2079154,6
CAV206	Manantial	Productivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4638989,38	1980218,94
		Doméstico				
		Ganadería				
CAV204	Manantial	Sin uso directo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4641539,36	1987467,91
CAV1911	Manantial	Productivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4641448,03	1974019,6
		Doméstico				
		Ganadería				
CAV190	Manantial	Productivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4642046,73	1972863,9
		Doméstico				
		Agrícola				
CAV187	Manantial	Productivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4642513,54	1972888,43
		Doméstico				
		Agrícola				
CAV78B	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación La Paila	4659120,09	2026525,31

Nombre (ID)	Tipo	Estado-Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas	
					Este	Norte
CAV77	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación La Paila	4659319,32	2026686,64
CAV75	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación La Paila	4659658,15	2027494,33
CAV73	Manantial	Sin uso directo	ND	Formación La Paila	4659901,13	2028128,89
CAV34	Manantial	Inactivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4640193,54	1985008,69
CAV29	Manantial	Reserva	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4639561,07	1978764,14
		Agrícola				
CAV28	Manantial	Reserva	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4680060,21	2067859,11
CAV26	Manantial	Productivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4676101,81	2061400,17
		Agrícola				
CAV20	Manantial	Productivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4641366,98	1987967,47
		Doméstico				
		Ganadería				
CAV18	Manantial	Inactivo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4642842,71	1969026,19
CAV16	Manantial	Reserva	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4643252,97	1968941,48
CAV3- 017	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4639485,98	1969423,81
CAV3- 018	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4639496,85	1969327,6
CAV3- 019	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4639515,15	1969222,4
CAV3- 021	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4638876,27	1943743,42
CAV3- 022	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4638849,67	1943737,87
CAV3- 023	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4638865,65	1943725,97
CAV3- 024	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4638833,18	1943727,09
CAV3- 025	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4638793,32	1943715,38

Nombre (ID)	Tipo	Estado-Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas	
					Este	Norte
CAV3- 026	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4638786,54	1943714,73
CAV3- 027	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4638728,78	1943734,3
CAV3- 028	Manantial	Sin uso directo	ND	Conos aluviales	4638983,59	1943777,69
CAV4-006	Manantial	Sin uso directo	ND	Macizo ofiolítico de Ginebra	4640440,27	1976738,81

ND (SIN INFORMACIÓN)

En los formatos FUNIAS presentados en el Anexo D7.3, se presenta la información levantada en campo directamente durante el inventario de puntos de agua subterránea. Específicamente para los manantiales se validó en campo donde fue posible obtener esta información el estado, uso y caudales como se describe en la Tabla 4. La mayoría de estos manantiales son de uso doméstico (artesanal), agrícola y de ganadería. Información hidráulica relacionada a estos puntos como es el caudal no fue obtenida dado que la mayoría de ellos no se encuentran debidamente concesionados a la autoridad ambiental.

Tabla 5. Parámetros físico-químicos medidos para los manantiales muestreados dentro del área de caracterización.

Variable	Unidad	CAV251	CAV312	CAV279	CAV78B	CAV1911	CAV187	CAV 2-87	44-Vpalc (CAV3-017)
Nivel Freático	m	0,05	0,07	0,65	*	0,5	0,25	*	*
Oxígeno Disuelto	mg/L	3,76	4,74	5,76	6,15	4,49	6,86	5,89	1,92
pH	Unidades de pH	7,7	7,6	7,3	8,1	7,5	8	7,2	6,8
Temperatura	°C	24,1	24,6	27,9	23,9	23,4	22	26,5	23,8
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	188	130	304	399	175	185	85,9	315
Balance Iónico	%	9,22	3,43	5,7	9,92	6,94	9,72	9,38	6,63



Variable	Unidad	CAV251	CAV312	CAV279	CAV78B	CAV1911	CAV187	CAV 2-87	44-Vpalc (CAV3-017)
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	188	130	304	399	175	185	85,9	315
Calcio Total	mg/L	51,1	23,8	62,3	82,9	41,1	44,3	14,8	43,3
Carbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5,00
Cloruros	mg/L	1,7	1,1	3,6	0,7	2,1	1,9	1,3	< 0,70
Coliformes Fecales	NMP/100m L	16000	540	3500	110	540	2800	9200	24
Coliformes Totales	NMP/100m L	49000	7000	43000	170000	200000	1600000	120000	7900
Escherichia coli	NMP/100m L	11000	230	2800	94	93	2400	5800	<1,90
Conductividad Eléctrica	µS/cm	373	253	653	650	357	344	185	475
Dureza Total	mg/L	130	70,2	278	296	147	163	59,5	215
Magnesio Total	mg/L	6,8	2,62	30,3	37,3	13,6	17	5,47	25,9
Nitratos	mg/L	< 0,3	0,3	< 0,3	< 0,3	0,4	1,1	< 0,3	< 0,30
Nitritos	mg/L	< 0,03	< 0,03	0,141	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	2,10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Potasio Total	mg/L	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Sodio Total	mg/L	22,3	23,2	27,5	17,8	13,7	5,48	14,1	8,22
Sólidos Totales	mg/L	811	232	442	414	210	238	382	300
Sulfatos	mg/L	13,8	4,92	48,9	0,871	19	2,98	3,86	7,17

Nota 1: No aplica nivel freático (\*)

Nota 2: Parámetro no medido (-)

Fuente: AGQ Labs, 2021 y 2022



Fotografía 1. Manantiales vistos en campo. (Izquierda) Manantial CAV2-87 (E= 4648143, N=1997278); (Derecha) Manantial CAV 2-94 (E= 4676102, N=1997278).

- Aljibes

Los aljibes corresponden a captaciones de agua subterránea, generalmente de cortas profundidades, en las que se almacena y capta agua cortando el nivel freático local de manera artesanal. En el área de caracterización hidrogeológica se encontraron un total de 68 aljibes, los cuales son presentados en la Tabla 6. Las características específicas de estos puntos de agua son presentadas en los formatos FUNIAS (Anexo D7.3). En general, presentan profundidades entre 6 m - 32 m. Los profundos son escasos y predominan principalmente aquellos con profundidades entre 6 m - 15 m, siendo 12.7 la profundidad promedio. Los niveles freáticos varían según la unidad geológica captada pero en general se sitúan entre 2 m - 8 m de profundidad con valores de hasta 21.4 m.

La mayor parte de los aljibes inventariados en las fases de campo es productiva, sus principales usos son domésticos y agropecuarios, son explotados por medio de motobombas y/o bombas sumergibles. Los que no presentan producción actual se asocian a fases de construcción.

Tabla 6. Aljibes inventariados dentro del presente estudio a lo largo del área de caracterización hidrogeológica del proyecto.

Nombre (ID)	Estado- Uso	Unidad Geológica	Caudal (l/s)	Prof (m)	Coordenadas	
					Este	Norte
CAV382	Productivo	Depósitos de terraza	0,25	25	4628314,24	1930383,87
	Doméstico					
CAV377	Productivo	Depósitos de terraza	0,27	20	4628423,11	1932738,64

Nombre (ID)	Estado- Uso	Unidad Geológica	Caudal (l/s)	Prof (m)	Coordenadas	
					Este	Norte
	Doméstico					
CAV353	Productivo	Depósitos de terraza	0,41	12	4628318,15	1932297,18
	Doméstico					
CAV352	Productivo	Depósitos de terraza	ND	ND	4628303,8	1932264,24
	Doméstico					
CAV351	Productivo	Depósitos de terraza	0,28	15	4628292,03	1932207,39
	Doméstico					
CAV350	Productivo	Depósitos de terraza	0,28	15	4628286,53	1932192,03
	Doméstico					
CAV349	Productivo	Depósitos de terraza	0,14	6	4628248,19	1932104,5
	Doméstico					
CAV348	Productivo	Depósitos de terraza	0,28	6	4628251,21	1932078,92
	Doméstico					
CAV347	Productivo	Depósitos de terraza	0,14	12	4628234,63	1932043,67
	Doméstico					
CAV346	Productivo	Depósitos de terraza	0,83	13	4628227,88	1932020,78
	Doméstico					
CAV345	Productivo	Depósitos de terraza	0,83	ND	4628223,42	1931986,27
	Doméstico					
POZO PROFUNDO 25	Productivo	Depósitos de terraza	ND	12	4628010,35	1931595,35
	Doméstico					
POZO PROFUNDO 31	Productivo	Depósitos de terraza	ND	12	4628339,74	1932384,48
	Doméstico					
CAV344	Productivo	Depósitos de terraza	0,07	8	4628223,94	1932006,74
	Doméstico					
CAV343	Productivo	Depósitos de terraza	ND	12	4628215,03	1931974,72
	Doméstico					
CAV342	Productivo	Depósitos de terraza	0,41	12	4628213,25	1931972,25

Nombre (ID)	Estado- Uso	Unidad Geológica	Caudal (l/s)	Prof (m)	Coordenadas	
					Este	Norte
	Doméstico					
CAV341	Productivo	Depósitos de terraza	ND	ND	4628194,32	1931932,69
	Doméstico					
CAV340	Productivo	Depósitos de terraza	0,17	12,5	4628206,48	1931942,83
	Doméstico					
CAV339	Productivo	Depósitos de terraza	ND	12	4628207,34	1931937,52
	Doméstico					
CAV338	Productivo	Depósitos de terraza	ND	8	4628193,59	1931914,65
	Doméstico					
CAV337	Productivo	Depósitos de terraza	0,08	13	4628191,58	1931881,79
	Doméstico					
CAV336	Productivo	Depósitos de terraza	0,21	10	4628180,96	1931833,45
	Doméstico					
CAV335	Productivo	Depósitos de terraza	0,43	12	4628166,28	1931832,73
	Doméstico					
CAV334	Productivo	Depósitos de terraza	0,2	6	4628163,13	1931791,57
	Doméstico					
CAV333	Productivo	Depósitos de terraza	0,14	5	4628155,22	1931785,95
	Doméstico					
CAV332	Productivo	Depósitos de terraza	0,14	ND	4628125,86	1931755,28
	Doméstico					
CAV331	Productivo	Depósitos de terraza	0,14	12	4628134,35	1931733,56
	Doméstico					
CAV330	Productivo	Depósitos de terraza	ND	9	4628127,11	1931731,59
	Doméstico					
CAV329	Productivo	Depósitos de terraza	0,055	6	4628125,74	1931722,3
	Doméstico					
CAV328	Productivo	Depósitos de terraza	0,28	12	4628113,03	1931713,16

Nombre (ID)	Estado- Uso	Unidad Geológica	Caudal (l/s)	Prof (m)	Coordenadas	
					Este	Norte
	Doméstico					
CAV327	Productivo	Depósitos de terraza	0,1	12	4628076,68	1931686,17
	Doméstico					
CAV326	Productivo	Depósitos de terraza	0,14	12	4628076,68	1931686,17
	Doméstico					
CAV325	Productivo	Depósitos de terraza	0,42	8	4628037,55	1931630,19
	Doméstico					
CAV179	Productivo	Depósitos de terraza	ND	ND	4628220,87	1932021,14
	Doméstico					
CAV178	Productivo	Depósitos de terraza	0,27	12	4628260	1932142,98
	Doméstico					
CAV177	Productivo	Depósitos de terraza	ND	ND	4628308,83	1932304,84
	Doméstico					
CAV176	Productivo	Depósitos de terraza	ND	9	4628353,72	1932418,8
	Doméstico					
CAV175	Productivo	Depósitos de terraza	0,55	8	4628055,95	1931644,08
	Doméstico					
CAV173	Productivo	Depósitos de terraza	0,18	12	4628027,05	1931617,94
	Doméstico					
CAV172	Productivo	Depósitos de terraza	0,4	15	4627982,24	1931557,55
	Doméstico					
CAV171	Productivo	Depósitos de terraza	0,27	14	4627970,99	1931551,84
	Doméstico					
CAV170	Productivo	Depósitos de terraza	0,3	15	4627967,17	1931540,9
	Doméstico					
CAV169	Productivo	Depósitos de terraza	ND	12	4627954,89	1931527,65
	Doméstico					
CAV168	Productivo	Depósitos aluviales	0,28	12	4627948,17	1931515,94

Nombre (ID)	Estado- Uso	Unidad Geológica	Caudal (l/s)	Prof (m)	Coordenadas	
					Este	Norte
	Doméstico					
CAV167	Productivo	Depósitos aluviales	0,28	12	4627934,52	1931491,42
	Doméstico					
CAV165	Productivo	Depósitos de terraza	1	18	4627506,64	1930267,99
	Industrial- Planta					
CAV1611	Productivo	Depósitos de terraza	16	15	4623772,81	1928358,86
	Doméstico					
CAV152	Productivo	Depósitos de terraza	0,55	20	4619375,85	1930428,96
	Doméstico					
CAV136	Productivo	Depósitos aluviales	ND	ND	4667639,22	2045577,47
	Doméstico					
	Agrícola					
CAV112	Productivo	Formación La Pobreza	1,2	12	4664934,76	2040072,86
	Ganadería					
CAV107	Productivo	Formación La Paila	ND	9	4664173,31	2036693,75
	Doméstico					
CAV105	Productivo	Formación La Paila	3	9	4663901,15	2036602
	Doméstico					
CAV104	Inactivo	Formación La Paila	ND	9	4663817,93	2036371,09
CAV92	Productivo	Formación La Paila	1,11	32	4662288,82	2033209,87
	Doméstico					
	Ganadería					
CAV89	Productivo	Formación La Paila	ND	15	4661951,37	2033992,4
	Doméstico					
	Ganadería					
CAV75C	Inactivo	Formación La Paila	ND	15	4659218,14	2027927,56
CAV75B	Productivo	Formación La Paila	0,83	16	4659606,97	2028435,57



Nombre (ID)	Estado- Uso	Unidad Geológica	Caudal (l/s)	Prof (m)	Coordenadas	
					Este	Norte
	Ganadería					
CAV2-154	Productivo	Depósitos aluviales	ND	ND	4611560,15	1930366,81
	Doméstico					
	(Inst. Educativa)					
CAV2-152	Reserva	Depósitos aluviales	0,55	15	4612766,59	1930573,26
CAV2-151	Productivo	Depósitos aluviales	0,83	15	4614512,51	1931232,75
	Doméstico					
CAV2-146	Productivo	Depósitos de terraza	1,3	14	4633633,91	1938701,18
	Doméstico					
CAV2-140	Productivo	Conos aluviales	0,14	12	4637583,71	1940485,55
	Doméstico					
CAV2-66	Inactivo	Batolito de Buga (Dique)	NF	13	4652403,71	2006283,2
CAV2-50	Inactivo	Formación La Pobreza	ND	25	4664622,81	2039612,05
CAV3-014	Productivo	Conos aluviales (Qca)	ND	ND	4639638,65	1945145,51
	Doméstico					
CAV3-015	Productivo	Conos aluviales (Qca)	ND	ND	4639655,93	1945158,39
	Doméstico					
CAV3-016	Productivo	Conos aluviales (Qca)	ND	ND	4637855,36	1946327,9
	Doméstico					
CAV3-029	Productivo	Conos aluviales (Qca)	ND	ND	4639204,63	1967980,83
	Doméstico					

**ND. Sin información**

En los formatos FUNIAS presentados en el Anexo D7.3, se contiene la información levantada en campo directamente durante el inventario de puntos de agua subterránea. Específicamente para los aljibes se validó en campo donde fue posible obtener esta información el estado y uso como se observa en la Tabla 6. La mayoría de estos aljibes son de uso doméstico (artesanal), agrícola y de ganadería. Información hidráulica

relacionada a estos puntos como es el caudal no fue obtenida en todos los puntos hidrogeológicos (aljibes) dado que no fue suministrada por el concesionario o responsable ante la autoridad ambiental.

Las principales características físicoquímicas del agua medidas insitu para los aljibes son: color incoloro y amarillo, inodora, presentaron unidades de pH entre 7.2 y 7.4 la temperatura promedio del agua es de 27.4 °C, la conductividad eléctrica varía entre 0.33  $\mu$ S/cm - 928  $\mu$ S/cm (Tabla 7) (Fotografía 2).



Fotografía 2. Aljibes vistos en campo. (Izquierda) CAV 075C (E=4659218, N=2027927), (Derecha) CAV 075B (E=44659607, N=2028435).

Tabla 7. Parámetros físico-químicos medidos para los aljibes muestreados dentro del área de caracterización hidrogeológica.

Variable	Unidad	CAV75B	CAV092	CAV 105	CAV165	CAV167
Nivel Freático	m	2,43	21,4	3,8	3,75	6,14
Oxígeno Disuelto	mg/L	3,88	2,79	3,63	2,05	4,81
pH	Unidades de pH	7,4	7,4	7,2	7,2	7,4
Temperatura	°C	24,1	30,1	27,8	26,5	28,6
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	385	359	452	158	403
Balance Iónico	%	9,85	9,89	9,18	6,46	9,98
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	385	359	452	158	403
Calcio Total	mg/L	90,2	54,4	76,4	31,6	111
Carbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cloruros	mg/L	85	13	5,5	6,2	10

Variable	Unidad	CAV75B	CAV092	CAV 105	CAV165	CAV167
Coliformes Fecales	NMP/100mL	23	46	5400	<1,84	2
Coliformes Totales	NMP/100mL	4000	1000	680000	180	3100
Escherichia coli	NMP/100mL	10	40	1500	< 1,80	2,00
Conductividad Eléctrica	μS/cm	760	625	833	338	928
Dureza Total	mg/L	292	286	345	131	380
Magnesio Total	mg/L	32,8	36,4	45,5	13,9	51,4
Nitratos	mg/L	1,2	0,64	< 0,3	< 0,3	0,55
Nitritos	mg/L	0,096	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,331
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Potasio Total	mg/L	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Sodio Total	mg/L	36,7	54,6	44,9	15,2	30,9
Sólidos Totales	mg/L	464	478	521	232	617
Sulfatos	mg/L	98,5	18,9	19,5	10,6	107

Fuente: AGQ Labs. (2021).

- Pozos Profundos

El área de caracterización cuenta con un total de 64 pozos subterráneos identificados directamente en la fase de campo del presente estudio (Tabla 8). Presentan una profundidad promedio de 150 m y se relacionan principalmente a la unidad Depósitos de Terraza, la cual aflora hacia el sur de la zona de estudio, en la planicie del Valle geográfico del río Cauca.

En los formatos FUNIAS presentados en el Anexo D7.3, se contiene la información levantada en campo directamente durante el inventario de puntos de agua subterránea. Específicamente para los pozos profundos se validó en campo donde fue posible obtener esta información el estado y uso como se observa en la Tabla 8. La mayoría de estos pozos profundos con la información de campo son de uso agrícola - industrial. Información hidráulica relacionada a estos puntos como es el caudal no fue obtenida en todos los puntos hidrogeológicos (pozos profundos) dado que no fue suministrada por el concesionario o responsable ante la autoridad ambiental.

Tabla 8. Pozos profundos inventariados dentro del presente estudio a lo largo del área de caracterización hidrogeológica del proyecto.

Nombre (ID)	Tipo	Estado- Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas		Profundidad (m)
					Este	Norte	
CAV395	Pozo profundo	Productivo	50	Depósitos de terraza	4628727,05	1933850,25	74
		Agrícola (Caña)					
CAV393	Pozo profundo	Productivo	100	Depósitos de terraza	4629401,49	1934098,28	247
		Agrícola (Caña)					
CAV392	Pozo profundo	Productivo	100	Depósitos de terraza	4631566,17	1937812,43	202
		Agrícola (Caña))					
CAV391	Pozo profundo	Productivo	110	Depósitos de terraza	4632720,74	1937394,94	200
		Agrícola (Caña)					
CAV390	Pozo profundo	Productivo	70	Depósitos de terraza	4632763,33	1938582,34	129
		Agrícola (Caña)					
CAV388	Pozo profundo	Productivo	60	Depósitos de terraza	4632282,92	1936634,57	234
		Agrícola (Caña)					
CAV386a	Pozo profundo	Productivo	90	Depósitos de terraza	4630920,24	1935478,16	180
		Agrícola (Caña)					
CAV384	Pozo profundo	Productivo	0,5	Depósitos de terraza	4630385,36	1934381,32	56
		uso doméstico interno Ingenio					
CAV381	Pozo profundo	Productivo	60	Depósitos aluviales	4628299,34	1930384,36	55
		Agrícola (Caña)					
CAV380	Pozo profundo	Productivo	40	Depósitos de terraza	4629552,44	1930706,46	130
		Agrícola (Caña)					
CAV379	Pozo profundo	Productivo	80	Depósitos de terraza	4628514,8	1931456,55	140
		Agrícola (Caña)					
CAV376	Pozo profundo	Productivo	80	Depósitos de terraza	4628441,84	1932748,54	144

Nombre (ID)	Tipo	Estado- Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas		Profundidad (m)
					Este	Norte	
		Agrícola (Caña)					
CAV375	Pozo profundo	Productivo	1,11	Depósitos de terraza	4628912,33	1933233,8	25
		Doméstico					
CAV184	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4637382,37	1941893,53	217
		Agrícola (Caña)					
		Ganadería					
CAV183	Pozo profundo	Productivo	80	Conos aluviales	4637188,98	1939276,06	90
		Agrícola (Caña)					
CAV163	Pozo profundo	Productivo	90	Depósitos de terraza	4623260,33	1929810,79	138
		Agrícola (Caña)					
CAV162	Pozo profundo	Productivo	80	Depósitos de terraza	4623111,95	1928939,91	130
		Agrícola (Caña)					
CAV159	Pozo profundo	Productivo	80	Depósitos de terraza	4623859,33	1929094,27	173
		Agrícola (Caña)					
CAV157	Pozo profundo	Productivo	ND	Depósitos de terraza	4617701,04	1931698,5	217
		Agrícola (Caña)					
CAV154	Pozo profundo	Productivo	100	Depósitos de terraza	4622002,67	1930948,73	232
		Agrícola					
		(Caña, Piña Maíz)					
CAV153	Pozo profundo	Productivo	100	Depósitos de terraza	4621137,06	1930736,25	247
		Agrícola					
		(Caña, Piña Maíz)					
CAV151	Pozo profundo	Productivo	ND	Depósitos de terraza	4619370,95	1930427,87	257
		Agrícola (Caña)					
CAV150	Pozo profundo	Productivo	ND	Depósitos de terraza	4619672,57	1929363,43	48

Nombre (ID)	Tipo	Estado- Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas		Profundidad (m)
					Este	Norte	
		Agrícola (Caña)					
CAV149	Pozo profundo	Productivo	50	Depósitos de terraza	4621940,87	1929847,73	275
		Agrícola (Caña)					
CAV148	Pozo profundo	Productivo	120	Depósitos de terraza	4621050,66	1928836,94	226
		Agrícola (Caña)					
CAV146	Pozo profundo	Productivo	100	Depósitos de terraza	4620959,61	1929933,29	263
		Agrícola (Caña)					
CAV121	Pozo profundo	Productivo	15	Depósitos aluviales	4665156,96	2041253,46	80
		Doméstico y Ganadería					
CAV113	Pozo profundo	Productivo	47	Depósitos aluviales	4665176,77	2040434,15	100
		Avícola					
CAV2-150	Pozo profundo	Productivo	70	Depósitos de terraza	4622254,65	1928976,76	124
		Agrícola (Caña)					
CAV2-149	Pozo profundo	Productivo	50	Depósitos de terraza	4626696,22	1929886,06	222
		Agrícola (Caña)					
CAV2-145	Pozo profundo	Productivo	40	Depósitos de terraza	4633756,9	1938665,23	127
		Agrícola (Caña)					
CAV2-144	Pozo profundo	Productivo	70	Conos aluviales	4636545,79	1942745,71	195
		Agrícola (Caña)					
CAV2-139	Pozo profundo	Productivo	45	Conos aluviales	4637576,3	1940499,96	108
		Agrícola (Caña)					
CAV386b	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4630920,24	1935478,16	No info
CAV385	Pozo profundo	Abandonado/Sellado	ND	Depósitos de terraza	4629940,28	1934520,2	53



Nombre (ID)	Tipo	Estado- Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas		Profundidad (m)
					Este	Norte	
CAV384a	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4630343,34	1934389,41	75
CAV384b	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4630354,3	1934379,26	36
CAV376b	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4628408,36	1932738,14	134
CAV180	Pozo profundo	Abandonado	ND	Conos aluviales	4636876,41	1939777,47	140
CAV158	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4618758,28	1931292,29	135
CAV158b	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4618758,28	1931292,29	215
CAV156	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4617782,87	1931874,87	93
CAV147	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4611483,45	1930755,74	No info
CAV145	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4619353,43	1929080,4	263
CAV110	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos aluviales	4664974,45	2040220,31	No info
vcn-95	Pozo profundo	Abandonado	ND	Depósitos de terraza	4627353,06	1930384,23	21
CAV3-001	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4638883,92	1954753,78	200
		Agrícola (Caña)					
CAV3-002	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4639533,08	1953972,8	160
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-003	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4639858,86	1951601,03	240
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-004	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4639420,35	1969473,85	No info
		Industrial - Agrícola(Caña)					

Nombre (ID)	Tipo	Estado- Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas		Profundidad (m)
					Este	Norte	
CAV3-005	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4638487,5	1960403,67	No info
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-006	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4638256,61	1967802,7	200
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-007	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4638256,61	1967802,26	200
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-008	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4637615,53	1963123,68	No info
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-009	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4639649,45	1945116,92	150
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-010	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4637841,9	1946324,18	100
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-011	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4639173,98	1950994,97	No info
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-012	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4639408,36	1950131,26	180
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV3-013	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4625093,09	1930747,94	No info
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV4-001	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4637245,02	1962380,09	No info
		Industrial - Agrícola(Caña)					

Nombre (ID)	Tipo	Estado- Uso	Caudal (l/s)	Unidad geológica	Coordenadas		Profundidad (m)
					Este	Norte	
CAV4-002	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4637584,38	1963118,47	No info
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV4-003	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4636856,84	1963534,26	No info
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV4-004	Pozo profundo	Productivo	ND	Depósitos de Terraza	4638593,34	1965518,34	No info
		Industrial - Agrícola(Caña)					
CAV4-005	Pozo profundo	Productivo	ND	Conos aluviales	4617689,76	1931689,01	270
		Industrial - Agrícola(Caña)					

**ND. Sin información**

Las principales características físicoquímicas del agua medidas insitu para los aljibes son: color incoloro y amarillo, inodora, presentaron unidades de pH entre 7.5 y 8.5, la temperatura promedio del agua es de 26.3 °C, la conductividad eléctrica varía entre 0.33  $\mu$ S/cm - 720  $\mu$ S/cm (Tabla 9) (Fotografía 3).



Fotografía 3. Pozos vistos en campo. (Izquierda) CAV 153 (E=4621138, N1930736), (Derecha) CAV 157 (E=4617701, N=1931698).

Tabla 9. Parámetros físico-químicos medidos para los pozos muestreados dentro del área de caracterización hidrogeológica.

Variable	Unidad	CAV113	CAV112	CAV121	CAV381	CAV148	CAV184	CAV390	CAV375
Nivel Freático	m	4,37	7,8	3,7	59	2	2,1	**	4,94
Oxígeno Disuelto	mg/L	4,27	2,55	4,67	5,26	2,57	3,91	3,39	6,11
pH	Unidades de pH	7,7	7,6	8,5	7,5	7,5	8	8	7,7
Temperatura	°C	24,5	27,6	27,8	28,3	27,2	24	24,9	26,1
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	303	288	247	190	239	173	149	394
Balance Iónico	%	6,98	4,01	6,25	7,92	7,55	9,65	9,2	9,43
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	303	288	247	190	239	173	149	394
Calcio Total	mg/L	36,7	39,3	41,2	37,1	40,1	34,7	38,1	75,5
Carbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cloruros	mg/L	2,6	10	2	3,8	1,4	<0,7	1,7	3,5
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	23	330	2	920	<1,84	2	23	20
Coliformes Totales	NMP/100 mL	840	16000	110000	20000	310	920	1500	1800
Escherichia coli	NMP/100 mL	2	310	<180	310	< 1,80	< 1,80	2,00	< 1,80
Conductividad Eléctrica	µS/cm	503	578	471	386	451	320	329	720
Dureza Total	mg/L	164	179	143	161	142	141	126	324
Magnesio Total	mg/L	21,7	22,8	13	17,3	14,4	14,9	11,9	42
Nitratos	mg/L	< 0,3	< 0,3	2,9	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,34
Nitritos	mg/L	0,582	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,063	< 0,03
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	1	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Potasio Total	mg/L	< 4	5,55	4,11	< 4	5,27	< 4	< 4	< 4

Variable	Unidad	CAV113	CAV112	CAV121	CAV381	CAV148	CAV184	CAV390	CAV375
Sodio Total	mg/L	50,6	36,6	35	15,2	30,3	11,4	13,9	21,8
Sólidos Totales	mg/L	358	392	300	295	314	225	237	465
Sulfatos	mg/L	2,07	5,89	1,98	8,48	1,72	<0,8	21,1	11,3

Nota 1: Por las características de la estructura del pozo, no es posible su medición (\*\*)

Fuente: AGQ Labs. (2021).

#### 5.1.9.1.3 Análisis de resultados de variables fisicoquímicas en puntos de agua subterránea

Los resultados de laboratorio en puntos de análisis se presentan en el anexo D7.4 Resultados de laboratorio. A continuación se expone el análisis de resultados.

##### 5.1.9.1.3.1 Balance iónico

Uno de los criterios más utilizados para la validación de la calidad de los datos químicos de una muestra de agua es el cálculo del balance iónico (Appelo & Postma, 2005; Custodio & Llamas, 1983), el cual es exigido por la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2018) en un rango de  $\pm 10\%$ .

El balance iónico es un balance eléctrico donde la precisión del análisis puede estimarse para los iones principales a partir del balance de sus cargas, ya que la suma de las cargas positivas y negativas en el agua debe ser igual, tal como lo expresa la siguiente ecuación, donde los cationes y los aniones son expresados en unidades de meq/L e insertados con su signo de carga (Appelo & Postma, 2005).

Las sumas deberán ser tomadas sobre los cationes y aniones mayores, que habitualmente son  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ ; eventualmente otros elementos que estén en concentraciones superiores a  $1 \text{ mg/L}$  contribuyen significativamente a la carga iónica y deben ser incluidos en el balance como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{CO}_2$  libre y oxígeno disuelto (Castany, 1975; Appelo & Postma, 2005).

$$\text{Balance iónico (\%)} = \frac{(\sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones})}{(\sum \text{Cationes} - \sum \text{Aniones})} 100$$

Ecuación 1.

En la Figura 2 se presentan los resultados de balance iónico calculados para cada punto de muestreo. Todos los errores calculados presentan valores menores al 10%.

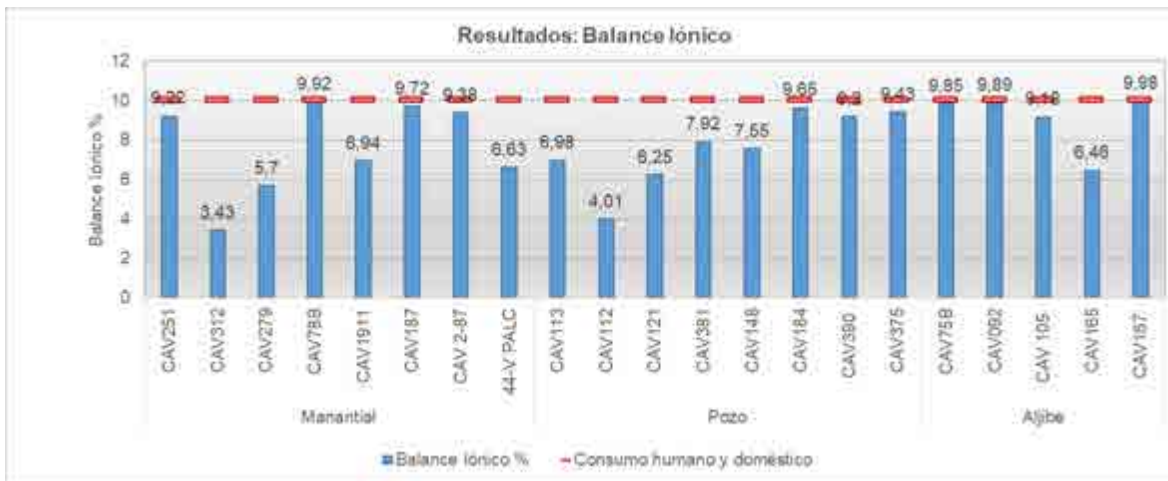


Figura 2. Resultados, Balance iónico.

### 5.1.9.1.3.2 Temperatura

La temperatura del agua es una variable relevante y significativa para la calidad del agua en la medida que la totalidad de reacciones del tipo químico y bioquímico serán dependientes de la temperatura del agua. Los resultados de temperatura se presentan en la Figura 3.

La temperatura del agua en los puntos contemplados se encuentra en un rango entre 22 y 30,1 °C, el mínimo se presenta en el manantial CAV187 y el máximo en el aljibe CAV092. Como tendencia general se encuentra que en los manantiales se presentan las menores temperaturas, con un valor promedio de 24,5 °C, estos son seguidos por los pozos profundos con un valor promedio de 26,3 °C y las máximas temperaturas se presentan en los aljibes con un valor promedio de 27,4 °C.



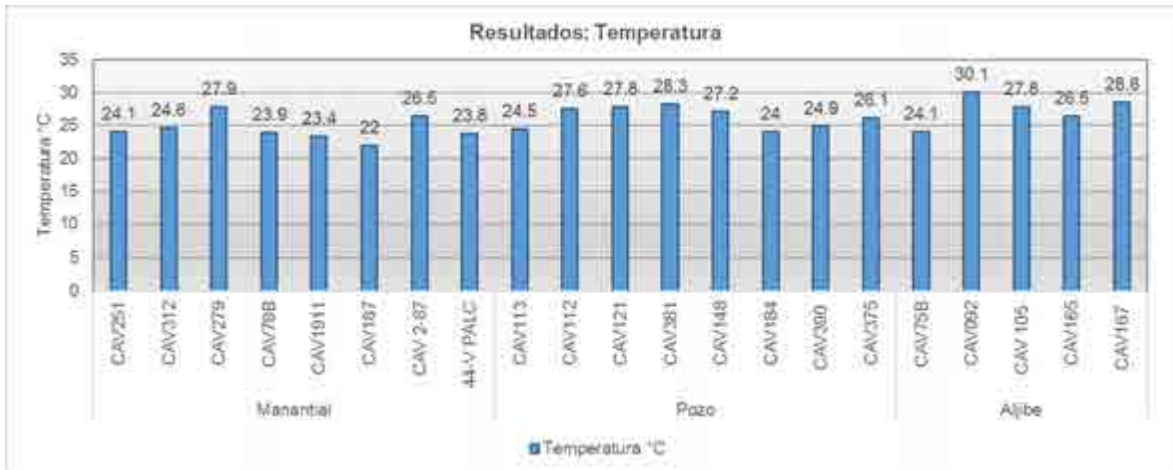


Figura 3. Resultados, Temperatura.

#### 5.1.9.1.3.3 pH

El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de la acidez; es una forma de representar la actividad del ión hidrógeno ( $H^+$ ). Esta variable es utilizada frecuentemente para la categorización del agua según condiciones ácidas o alcalinas y es una condición que define la solubilidad de metales e iones en el agua. Para la normatividad colombiana asociada a agua destinada para potabilización con tratamiento convencional, correspondiente al Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.3 el valor de pH debe estar en el rango de 6 a 9 unidades de pH, mientras que en el caso de riego agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5) en el rango de 4,5 a 9 unidades. Los resultados de pH se presentan en la Figura 4.

El pH en los puntos contemplados se encuentra en un rango entre 6,9 y 8,5 unidades, de este modo, en todos los casos el pH se encuentra en el rango apto para consumo doméstico y agrícola. Como tendencia general se encuentra que el pH tiene valores neutros a ligeramente alcalinos.

En los aljibes se identifica que los pH están en todos los casos entre 7 y 7,5 unidades indicando que en estos puntos es predominante una tendencia neutral.

Para los pozos profundos el pH está en todos los casos entre 7,5 y 8,5, por lo cual, se identifica una tendencia a pH ligeramente alcalinos.

En los manantiales el pH se encuentra en el rango entre 6,9 y 8,1 unidades.

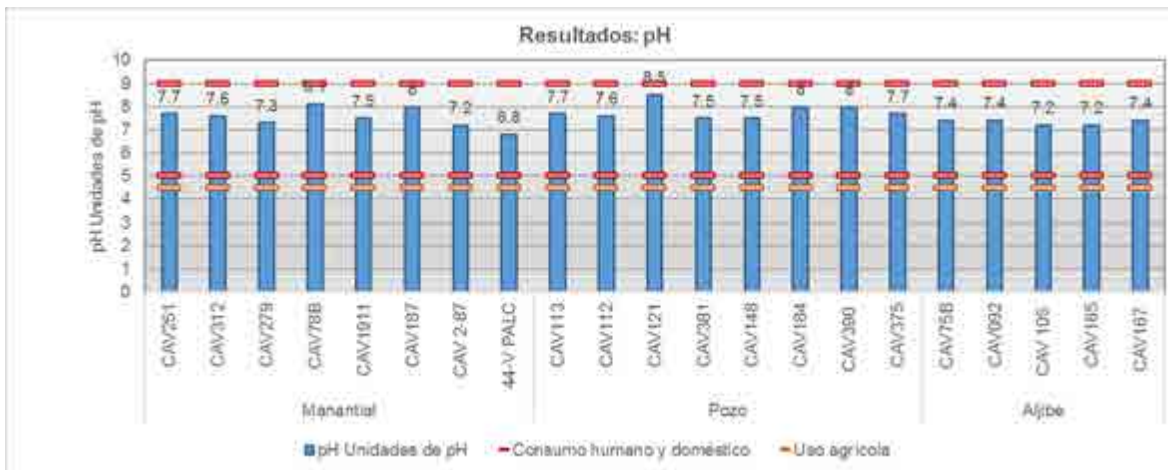


Figura 4. Resultados, pH.

#### 5.1.9.1.3.4 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en el agua subterránea, siendo el oxígeno el agente oxidante por excelencia, determina si se presenta un ambiente reductor u oxidante en el medio acuoso. Si bien el oxígeno es considerado una característica deseable en el agua, en aguas subterráneas puede tomar concentraciones bajas, por la falta de interacción del agua con la atmósfera y el consumo de oxígeno por la presencia de carbono en el suelo. Los resultados de oxígeno disuelto se presentan en la Figura 5.

La concentración de oxígeno disuelto se encuentra en un rango entre 1,92 y 6,86 mg/l, el manantial 44-V PALC presenta la concentración más baja, mientras que el manantial CAV187 el valor pico.

En el caso de los manantiales se encuentra que el 87% de los puntos contemplados presentan una concentración de oxígeno disuelto mayor a 4 mg/l, presentándose ambientes aeróbios. Los puntos con una concentración de oxígeno menor a 4 mg/l corresponde al manantial CAV251 en el cual se evidencia una concentración de 3,76 mg/l y el manantial 44-C PALC con una concentración de 1,92 mg/l. De este modo, se encuentra que los puntos identificados como manantiales presentan el mayor promedio de oxígeno disuelto con un valor de 4,9 mg/l.

En los pozos profundos se encuentran puntos con concentraciones elevadas de oxígeno (cerca al punto de saturación), como es el caso del pozo CAV375 con una concentración de 6,11 mg/l y concentraciones bajas de oxígeno disuelto como es el caso

del pozo CAV112 con una concentración de 2,55 mg/l. El promedio general para los pozos es de 4,09 mg/l.

Por último en los aljibes, se encuentra que en la totalidad de los puntos la concentración es menor a 5 mg/l y en un 80% de los puntos la concentración es menor a 4 mg/l, siendo el aljibe CAV167 con una concentración de 4,31 mg/l.

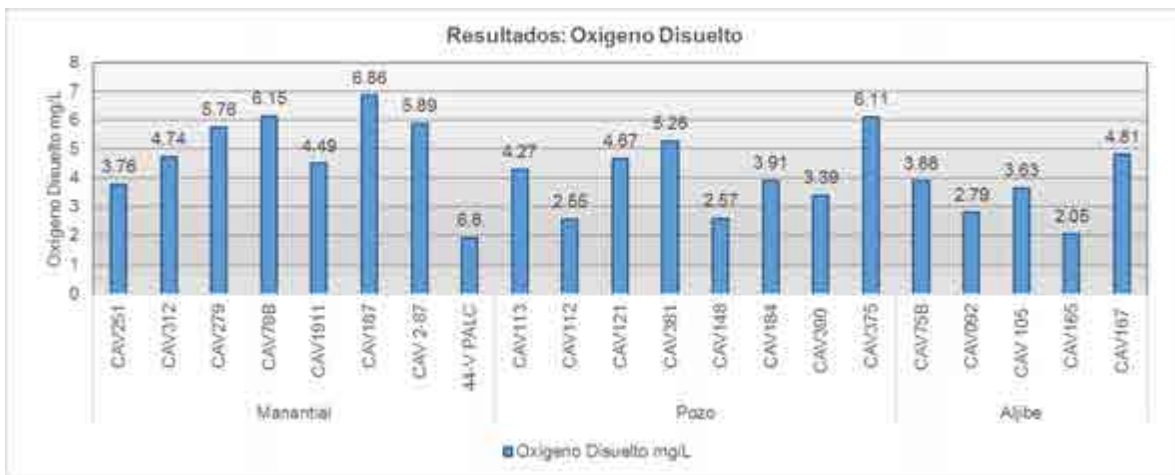


Figura 5. Resultados, Oxígeno disuelto.

#### 5.1.9.1.3.5 Alcalinidad total

La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ion hidroxilo, como son las bases fuertes los hidróxidos de los metales alcalinotérreos, los carbonatos y fosfatos (Secretaría de Economía, Estados Unidos Mexicanos, 2001). Dicho de otro modo, es una variable que cuantifica la cantidad de especies alcalinas en el agua y su capacidad para neutralizar ácidos, de manera que es una medida de la capacidad de amortiguación a descensos en el nivel de pH.

La alcalinidad atribuye capacidad buffer al agua, cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generan disminuciones del pH (acidificación). La clasificación de acuerdo con la capacidad Buffer se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Clasificación de los Cuerpos de Agua Según su Alcalinidad total

Descripción	Alcalinidad (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Sensibles a contaminación	<20
Mínimo aceptable	20
Pobremente amortiguadas	< 25
Moderadamente amortiguadas	25 - 75
Muy amortiguadas	> 75

Fuente: Goyenola , 2007.

Los resultados de alcalinidad total se presentan en la Figura 6. La alcalinidad total en los puntos contemplados, se encuentra en un rango entre 85,9 (manantial CAV 2-87) a 452 (aljibe CAV105) mg/l CaCO<sub>3</sub>, de este modo, la totalidad de los puntos se encuentra en la categoría de muy amortiguadas para la capacidad buffer.

En los puntos asociados a manantiales se observa que en su mayoría los valores de alcalinidad están en un rango menor a 189 mg/l CaCO<sub>3</sub>. En los puntos CAV78B, , 44-V PALC y CAV279 se presentan valores de 399, 315 y 304 mg/l CaCO<sub>3</sub>, respectivamente.

En los puntos asociados a pozos profundos se presenta un rango entre 149 y 303 mg/l CaCO<sub>3</sub>, con excepción del punto CAV375 que presenta un valor de 394 mg/l CaCO<sub>3</sub>.

Por último, en los puntos asociados a aljibes se presenta un rango entre 158 y 403 mg/l CaCO<sub>3</sub>, con excepción del punto CAV105 que presenta un valor de 452 mg/l CaCO<sub>3</sub>.



Figura 6. Resultados, Alcalinidad total.

### 5.1.9.1.3.6 Bicarbonatos y carbonatos

Las aguas naturales como resultado de la interacción con el CO<sub>2</sub> atmosférico y la descomposición anaerobia de materia orgánica, contiene CO<sub>2</sub> disuelto. La presencia de CO<sub>2</sub> a su vez genera ácido carbónico, bicarbonatos y carbonatos. Estos elementos (entre otros), confieren alcalinidad al agua, los resultados de carbonatos y bicarbonatos se presentan en la Figura 7.

Típicamente para un pH del agua entre 7 y 8,5 unidades de pH (como los medidos en los puntos estudiados) la especie de carbono inorgánico favorecida por el equilibrio químico del agua son los bicarbonatos. Por esta razón, es coherente que los resultados de carbonatos se presentan en todos los casos por debajo del límite de cuantificación de las técnicas de medición empleadas. Igualmente, es coherente que la concentración de bicarbonatos expresada como mg/l CaCO<sub>3</sub> sea igual a la concentración de alcalinidad total.



Figura 7. Resultados, Bicarbonatos y carbonatos.

### 5.1.9.1.3.7 Dureza total

La dureza del agua depende de la cantidad de minerales disueltos en el agua. La dureza total del agua está compuesta en su mayoría por dos partes: la dureza por la presencia de iones de calcio y la dureza por la presencia de iones de magnesio. La medida de ambas durezas corresponde a los contenidos de los iones Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, expresados como miligramos por litro de CaCO<sub>3</sub>. Los problemas de la calidad del agua con respecto a la

dureza se asocian principalmente a que el agua dura no tiene buena calidad para interactuar con productos de limpieza y las aguas con suficiente dureza tienden a producir una película de  $\text{CaCO}_3$  que se forma por la precipitación de este compuesto y esto representa un problema en sistemas de distribución de agua. En términos de dureza las aguas se pueden clasificar como se expone en la Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación del agua según su dureza.

Dureza (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	Clasificación
D < 60	Blandas
61 < D < 120	Moderadamente dura
121 < D < 180	Dura
D > 180	Muy dura

Fuente: OMS. (2006).

Los resultados de dureza total se presentan en la Figura 8, la dureza total en los puntos contemplados, se encuentra en un rango entre 59,5 (manantial CAV 2-87) a 380 (aljibe CAV167) mg/l  $\text{CaCO}_3$ .

En el caso de los manantiales, en este tipo de puntos se encuentran las dos únicas muestras de estudio con durezas correspondientes a la categoría de aguas blandas (CAV 2-87) y moderadamente duras (CAV312). Por otro lado, se identifican tres puntos en la categoría de muy duras (CAV279, CAV296 y 44-V PALC) y los puntos restantes se asocian a la categoría de duras.

Para el caso de los puntos asociados a pozo profundo, se encuentra que el rango de dureza está entre 128 y 179 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , por lo cual, la categorización es en todos los casos de agua dura.

Por último, para los aljibes, se encuentra que todos los puntos presentan características de agua muy dura, a excepción del aljibe CAV165 (el cual presenta una dureza de 131 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , la cual corresponde a una categoría de dura).



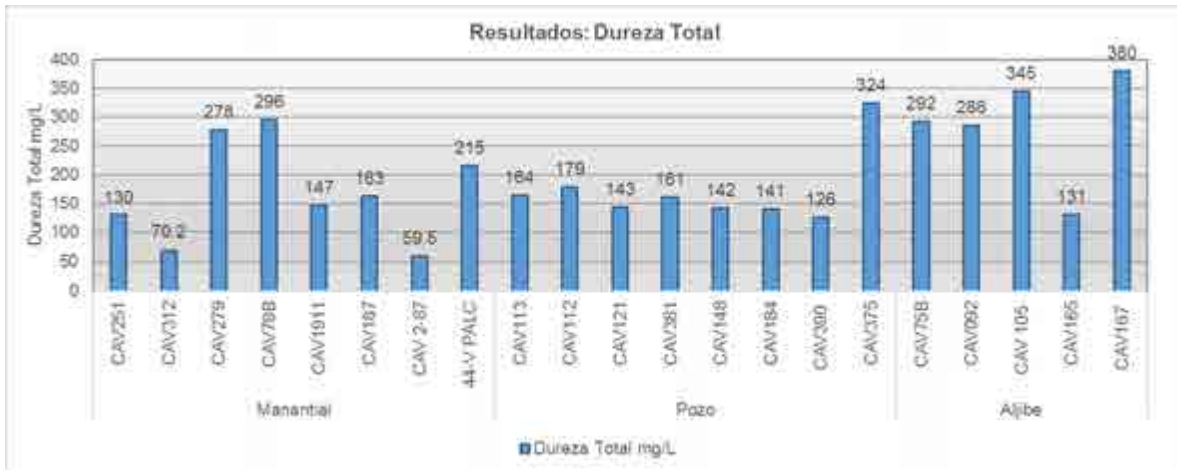


Figura 8. Resultados, Dureza total.

#### 5.1.9.1.3.8 Calcio y Magnesio

A continuación, se analizan las concentraciones de calcio y magnesio los cuales corresponden a los principales causantes de la dureza total del agua.

Los resultados de calcio se presentan en la Figura 9, en general la concentración se establece en un rango entre 14,8 (manantial CAV 2-87) y 111 mg/l (Aljibe CAV167). Como es de esperarse se observa una correlación en los resultados de calcio con los resultados de dureza total.

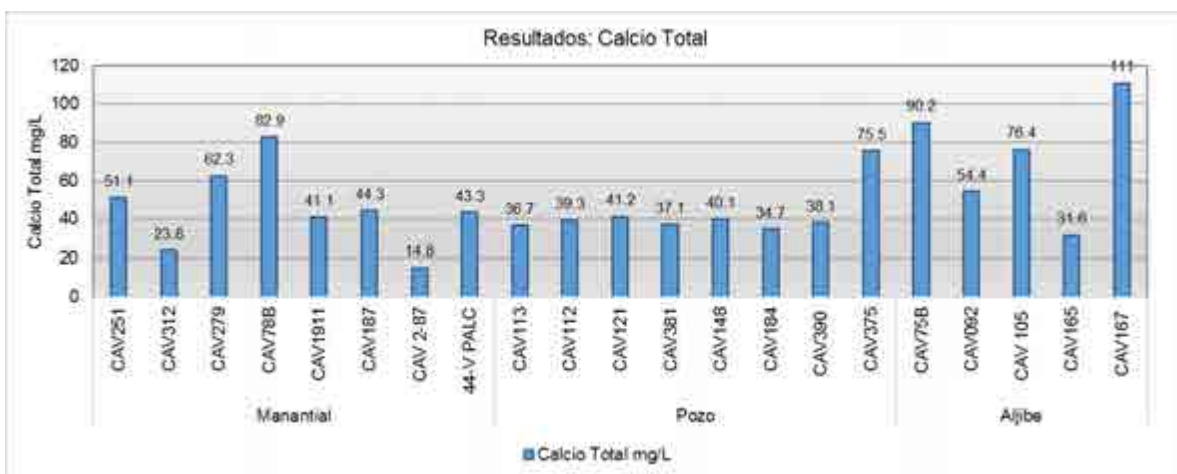


Figura 9. Resultados, Calcio.

Los resultados de magnesio se presentan en la Figura 10, en general la concentración se establece en un rango entre 2,62 (manantial CAV 312) y 51,4 mg/l (Aljibe CAV167).

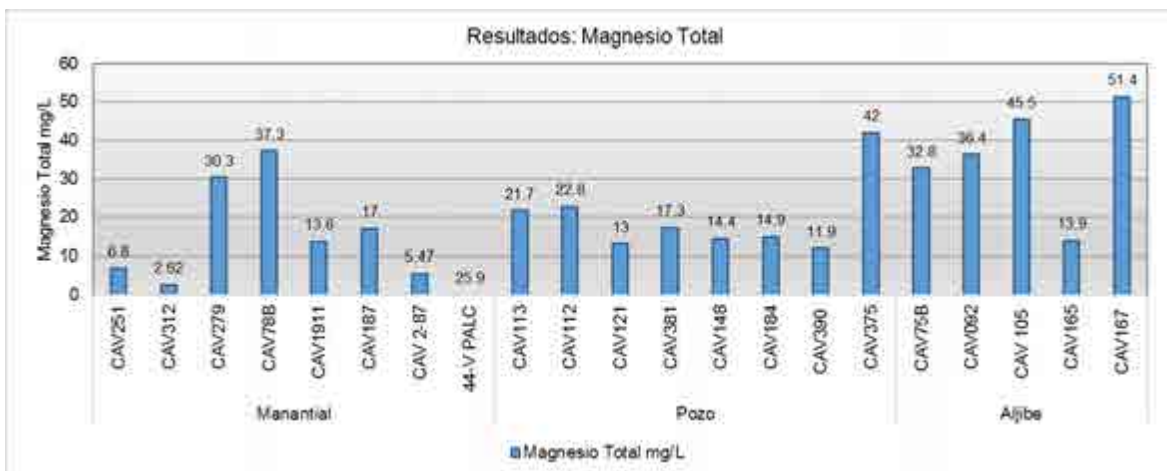


Figura 10. Resultados, Magnesio.

Con respecto a la dureza cálcica y magnésica del agua, las cuales se infieren de las concentraciones de calcio y magnesio expresadas como carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ :

En el caso de los manantiales, en los puntos CAV251 y CAV312, el 82 a 84,6% de la dureza total, se atribuye a dureza cálcica. Mientras que en los puntos restantes únicamente el 55,5 a 64,7% de la dureza total, se atribuye al ión calcio.

En los pozos profundos la dureza total se encuentra representada en un 50,6 a 66% por dureza cálcica.

Por último, en los aljibes entre un 47,5 a 62,5% de la dureza total, se asocia al catión calcio. Se resalta el punto CAV092, el cual es el único punto de los estudiados que presenta un mayor aporte a la dureza total por el ión magnesio (52,5%) que por el ión calcio (47,5%).

#### 5.1.9.1.3.9 Cloruros

Los cloruros son un anión altamente soluble en agua que se presenta en el agua subterránea naturalmente a causa de la disolución de minerales en el suelo. La normatividad para el uso de consumo doméstico (decreto 1075 de 2015, artículo

2.2.3.3.9.3), establece que los cloruros deben ser como máximo de 250 mg/l. Por otro lado, en los objetivos del agua (Resolución No. 0686 de 2006) únicamente en el tramo II se establece un valor de 250 mg/l.

Los resultados de cloruros se presentan en la Figura 11. En general la concentración de cloruros presenta valores menores a 10 mg/l, con la excepción de los aljibes CAV75B en el cual se presenta una concentración pico de 85 mg/l y el aljibe CAV092 el cual presenta una concentración de 13 mg/l. En todos los casos la concentración de cloruros se encuentra por debajo del límite máximo permisible para uso doméstico del agua.

En los manantiales la concentración se encuentra en todos los casos por debajo de 3,6 mg/l.

En los pozos profundos la concentración está por debajo de 3,8 mg/l, con excepción del punto CAV112 el cual presenta una concentración de 10 mg/l.

Por último, en los aljibes se reportan las mayores concentraciones de cloruros (como ya se explicó anteriormente para los valores pico), estas se encuentran entre 5,5 y 85 mg/l.

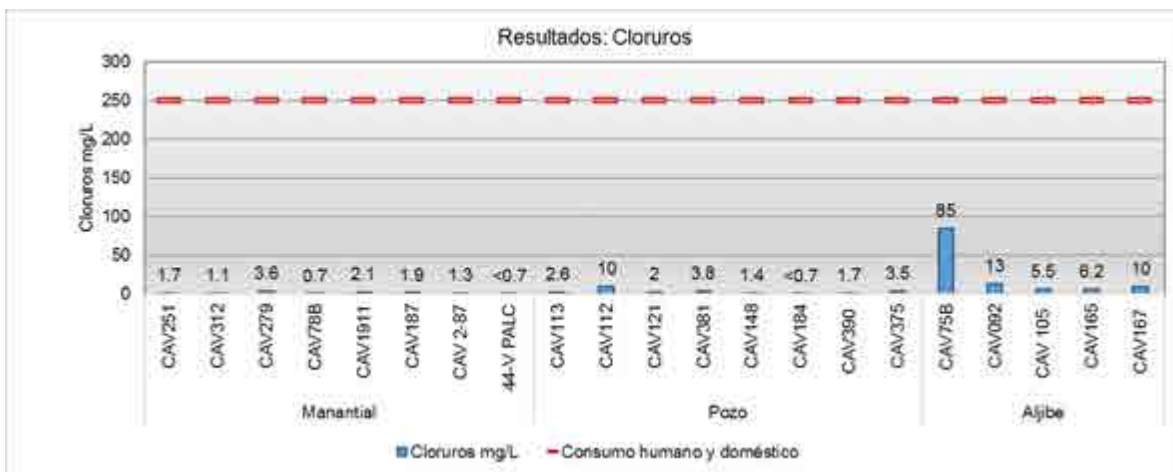


Figura 11. Resultados, Cloruros.

#### 5.1.9.1.3.10 Sulfatos

El sulfato es un anión que se presenta comúnmente en el agua subterránea al ser el azufre uno de los elementos más comunes en el suelo. Por otro lado, la presencia de elevadas concentraciones de sulfatos en el agua puede obedecer a la reducción de

sulfuros o estar relacionados a actividades antropogénicas. Los sulfatos son indeseables en agua destinadas al consumo humano. La normatividad para el uso de consumo doméstico (decreto 1075 de 2015, artículo 2.2.3.3.9.3), establece que los cloruros deben ser como máximo de 400 mg/l.

Los resultados de sulfatos se presentan en la Figura 12. Se identifican en el análisis de sulfatos tres puntos con valores pico (por fuera de la tendencia general) los cuales se relacionan a continuación: El aljibe CAV167 con la concentración máxima de 107 mg/l, el aljibe CAV75B con la concentración de 98,5 mg/l y el manantial CAV279 con la concentración de 48,9 mg/l. Para todos los puntos restantes, la concentración de sulfatos es menor a 25 mg/l, de este modo, en todos los casos la concentración de sulfatos se encuentra por debajo del límite máximo permisible para uso doméstico del agua.

Los valores mínimos de sulfatos en el pozo CAV 184 y manantial CAV78B con valores de 0,8 y 0,87 mg/l respectivamente.

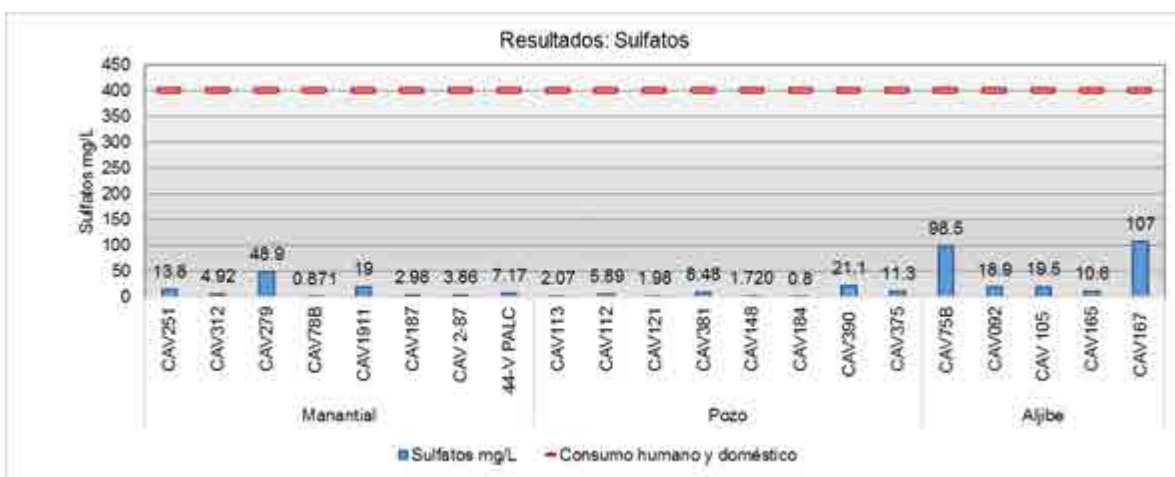


Figura 12. Resultados, Sulfatos.

### 5.1.9.1.3.11 Sodio total

El sodio es un metal alcalino que está presente en el agua en forma de catión. La presencia de este componente en el agua se da por la disolución de materiales presentes en el suelo y rocas. Los principales conflictos con la calidad del agua asociados al sodio, es cuando está destinada para riego dado que puede afectar la permeabilidad del suelo y las raíces de las plantas.

Los resultados de sodio se presentan en la Figura 13. La concentración de sodio se encuentra en un rango entre 5,48 y 54,6 mg/l, el manantial CAV187 presenta la concentración más baja, mientras que el ALJIBE CAV092 el valor pico.

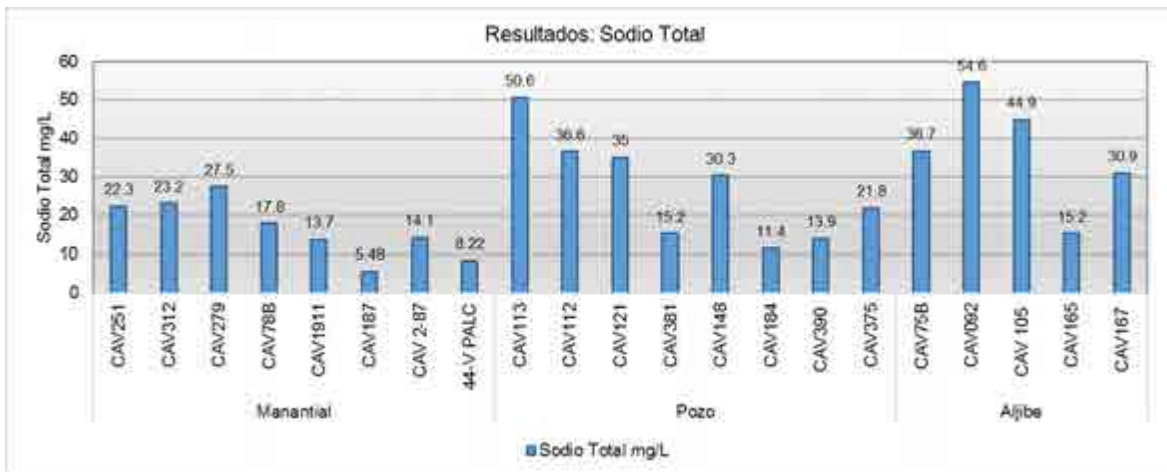


Figura 13. Resultados, Sodio.

#### 5.1.9.1.3.12 Potasio total

El potasio es un metal alcalino que está presente en el agua en forma de catión. La presencia de este componente en el agua se da por la disolución de materiales presentes en el suelo y rocas.

Los resultados de potasio se presentan en la Figura 14. Para la gran mayoría de los puntos, la concentración de potasio se presenta por debajo del límite de cuantificación de las técnicas empleadas para la medición. Únicamente en tres puntos asociados a los pozos profundos, se reporta una concentración de potasio. Estos corresponden a los puntos: CAV112 con una concentración de 5,6 mg/l, CAV148 con una concentración de 5,2 mg/l y CAV121 con una concentración de 4,1 mg/l.

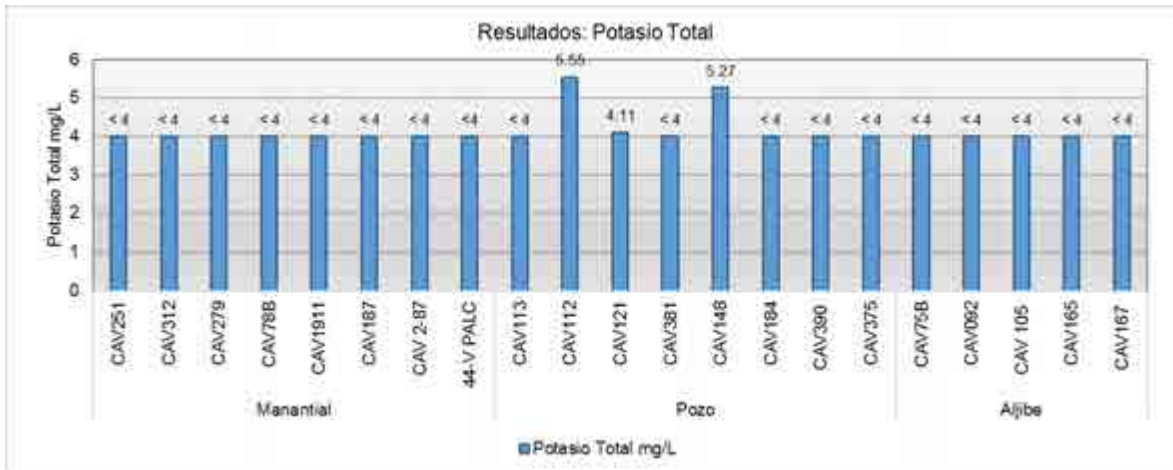


Figura 14. Resultados, Potasio.

#### 5.1.9.1.3.13 Compuestos de nitrógeno

El nitrógeno en el agua es de interés por ser un nutriente importante con consecuencias ambientales y sanitarias por su presencia en el recurso hídrico. El nitrógeno se presenta en diferentes especies orgánicas (nitrógeno orgánico) e inorgánicas (nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos).

Las fuentes de aporte de nitrógeno a las aguas subterráneas son generalmente antrópicas, al no ser un compuesto comúnmente aportado por el contacto de las aguas con las rocas. Teniendo en cuenta el ciclo del nitrógeno en el agua: Mineralización de nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal y nitrificación del nitrógeno amoniacal a nitritos y posteriormente a nitratos, la presencia de nitrato en aguas subterráneas suele ser un indicador de contaminación asociada al nitrógeno en sus diferentes especies.

A continuación, se analizan las diferentes especies de nitrógeno.

Para el caso del nitrógeno amoniacal (ver Figura 15), se encuentra que únicamente se reporta un resultado por encima del límite de cuantificación de las técnicas empleadas en el pozo profundo CAV148, la concentración se reporta en un valor de 1 mg/l.



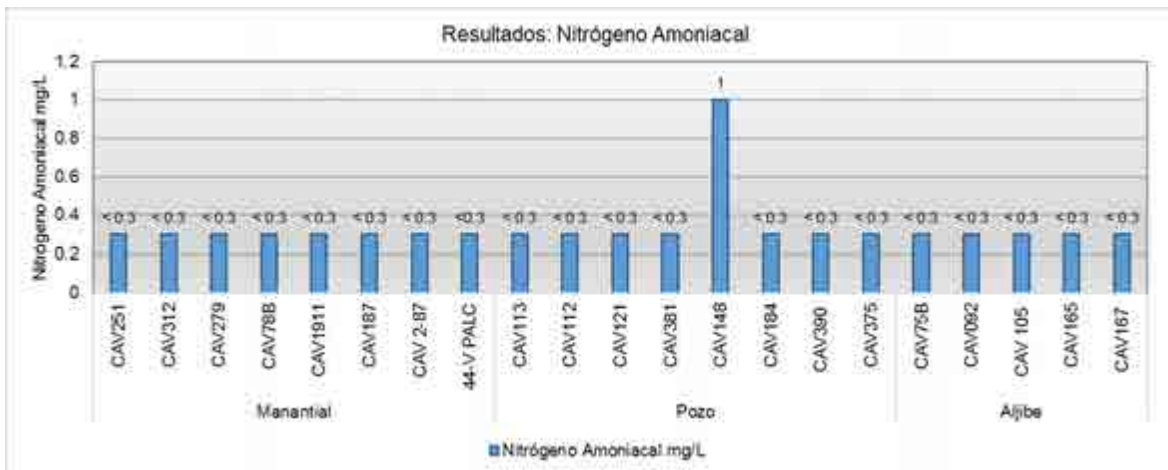


Figura 15. Resultados, Nitrógeno amoniacal.

Para lo nitritos (ver Figura 16) se encuentra que en la normatividad colombiana se presentan restricciones en las concentraciones máximas de esta especie de nitrógeno, cuando el agua es empleada en usos domésticos (artículo 2.2.3.3.9.3 del decreto 1076 de 2015) y pecuario (artículo 2.2.3.3.9.6). En ninguna de las mediciones realizadas se superan los límites normativos, siendo el establecido para consumo doméstico el más estricto.

En el pozo profundo CAV148 único punto en el cual se encontraron concentraciones de nitrógeno amoniacal (ver Figura 15), no se reportan concentraciones de nitritos o nitratos (ver Figura 17), esto indica que la fuente que produce el nitrógeno amoniacal es reciente y no ha tenido tiempo suficiente para cumplir el ciclo de nitrificación. Otra opción es que por los bajos niveles de oxígeno disuelto asociados en este punto (ver Figura 5) los cuales corresponden a 2,57 mg/l, el nitrógeno amoniacal presenta limitaciones para la oxidación.

El valor pico de nitritos se presenta en el manantial 44-V PALC con una concentración de 2.10 mg/L superando el límite permitido para el consumo humano y doméstico. Por otro lado, el punto CAV279 presenta niveles por encima del límite de cuantificación. En cuanto a los pozos que registran concentraciones por encima del límite de cuantificación son el pozo CAV113 CAV390 con concentraciones de 0,58 mg/l y 0,063 mg/l respectivamente. En el caso de los aljibes, el punto CAV167 presenta una concentración superior al límite de cuantificación con un valor de 0.331 mg/l. La presencia de nitritos en estos puntos, puede ser un indicativo de procesos de nitrificación (por aportes de nitrógeno amoniacal a las aguas subterráneas) o aportes directos de carga de nitritos.

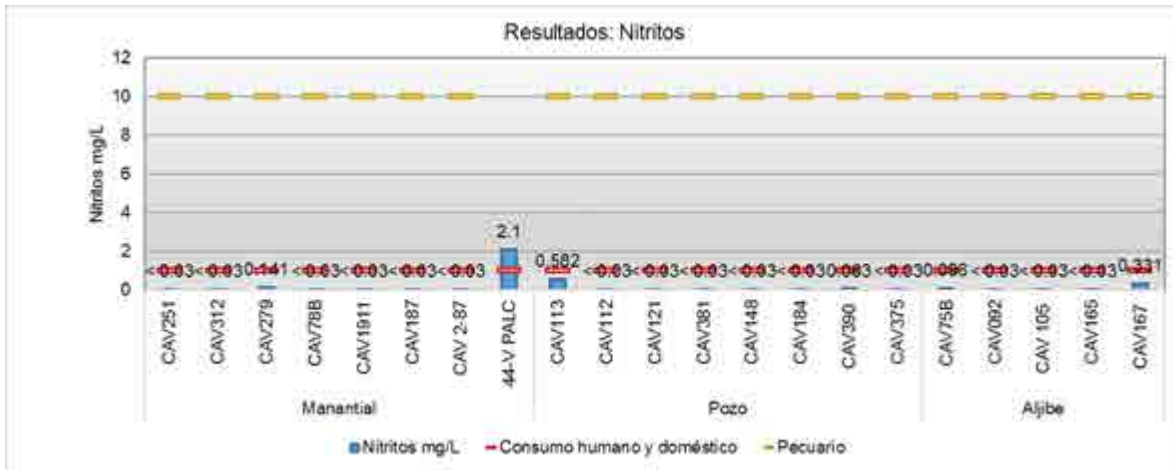


Figura 16. Resultados, Nitritos.

Por último, para los nitratos (ver Figura 17) en la normatividad colombiana se presentan restricciones en las concentraciones máximas de esta especie de nitrógeno, cuando el agua es empleada en usos domésticos (artículo 2.2.3.3.9.3 del decreto 1076 de 2015). En ninguna de las mediciones realizadas se superan los límites normativos.

El nivel pico de nitratos, se presenta en el pozo profundo CAV121 con un valor de 2,9 mg/l. Dado que en este punto no se encontraron concentraciones de nitrógeno amoniacal o nitritos, la presencia de nitratos puede estar asociada a aportes de nitrógeno amoniacal con antigüedad en el agua subterránea, los cuales como producto final de la nitrificación se transforman en nitratos o a aportes directos de carga de nitratos. Esto sucede igualmente en el pozo profundo CAV375.

En los manantiales se reportan niveles de 0,4 y 1,1 mg/l en los puntos CAV1911 y CAV187, respectivamente.

Por último en los aljibes se presentan concentraciones de nitratos en un rango entre 0,55 y 1,2 mg/l. En los puntos CAV105 y CAV165 la concentración se encuentra por debajo del límite de cuantificación.

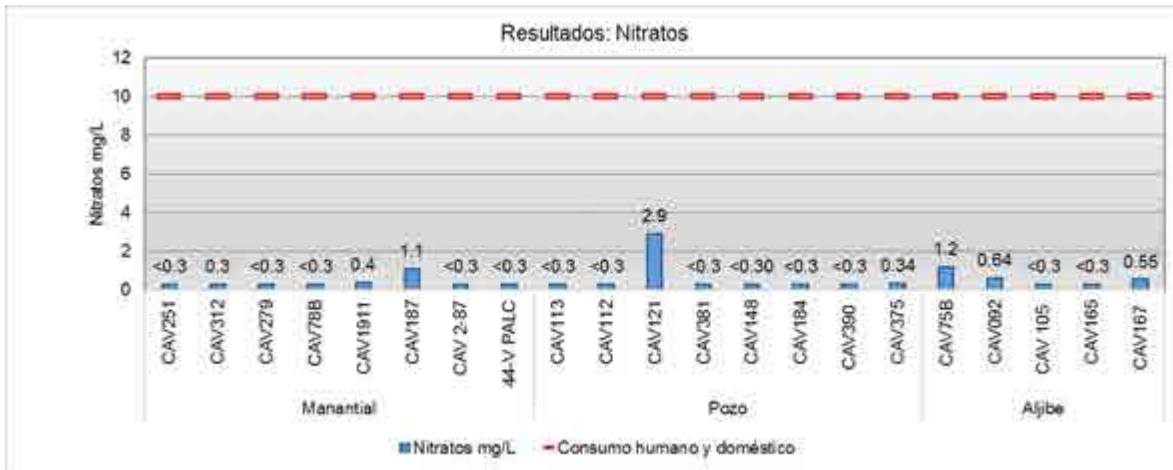


Figura 17. Resultados, Nitratos.

#### 5.1.9.1.3.14 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica corresponde a la capacidad del agua de conducir electricidad, está asociada a la cantidad de sales disueltas (aniones y cationes) que presenta el agua. Los principales aniones asociados a la conductividad son los cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, mientras que los principales cationes son el calcio, magnesio, potasio y sodio. Los resultados de conductividad se presentan en la Figura 18.

En concordancia con los resultados de la concentración de diferentes iones, los cuales presentaron las máximas concentraciones en los aljibes, en estos tipos de puntos igualmente, se presentan los mayores valores de conductividad eléctrica, los cuales se reportan entre 625 y 928 uS/cm, con excepción del punto CAV165, el cual reporta un valor menor de 338 uS/cm, en este punto igualmente se reportaron los menores valores (entre los puntos en aljibes) de los iones calcio, magnesio, sulfatos y sodio.

Para el caso de los pozos profundos la conductividad presenta un rango entre 320 y 720 uS/cm, el valor pico se produce en el punto CAV375, punto en el cual se reportaron los valores pico de dureza total (calcio y magnesio) en los pozos.

Por último, para los manantiales la conductividad presenta un rango entre 185 y 663 uS/cm, el valor pico se produce en el punto CAV279, punto en el cual se reportaron los valores pico de sulfatos, sodio y cloruros. El siguiente punto en magnitud de la conductividad corresponde a CAV78B, con un valor de 650 uS/cm, en este punto se reportaron los valores máximos de dureza (calcio y magnesio).



Figura 18. Resultados, Conductividad eléctrica.

#### 5.1.9.1.3.15 Sólidos totales

Los sólidos totales corresponden a la suma de los sólidos suspendidos totales (fracción particulada de los sólidos) y los sólidos disueltos totales (fracción disuelta de los sólidos). Los sólidos suspendidos totales (SST) corresponden a la cantidad de material particulado que está suspendido en el agua, el cual genera turbidez en la misma. Por otro lado, sólidos disueltos totales (SDT) representan la concentración total de sustancias disueltas en el agua, las cuales son principalmente sales inorgánicas y menor medida materia orgánica. De este modo, están estrechamente relacionados con la conductividad. Los resultados de sólidos totales se presentan en la Figura 19.

El valor pico para los sólidos totales, corresponde al manantial CAV251 con un valor de 811 mg/l. Dado que en este punto los valores de conductividad se reportaron entre los valores mínimos de los puntos medidos, es posible que los valores elevados de sólidos totales están atribuidos a SST y no a SDT, esto dada la correlación existente entre los SDT y la conductividad.

Por otro lado, en los puntos restantes en manantiales los sólidos totales se reportan en un rango entre 232 y 442 mg/l.

Para el caso de los pozos profundos se encuentra que los valores pico de sólidos totales 455 (CAV375), 392 (CAV112) y 358 mg/l (CAV113) están asociados a los valores pico de conductividad en los pozos profundos. Del mismo modo, los valores mínimos 225 (CAV184) y 237 mg/l (CAV390), coinciden de igual manera con los valores mínimos de

conductividad. En este orden de ideas, para los pozos profundos se tiene una gran incidencia de los SDT en el comportamiento de los sólidos totales.

La tendencia de los pozos profundos, se identifica igualmente en los aljibes, en los cuales se evidencia una correlación entre sólidos totales y conductividad. El rango de concentración se reporta entre 464 y 617 mg/l, con excepción del punto CAV165, el cual reporta un valor menor de 232 mg/l.

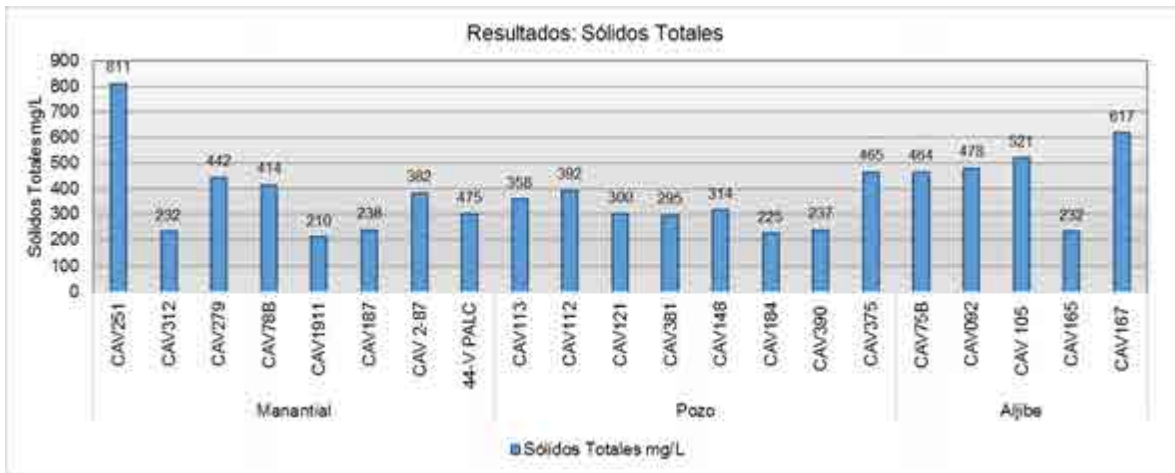


Figura 19. Resultados, Sólidos totales.

#### 5.1.9.1.3.16 Coliformes

Los coliformes son un grupo de microorganismos con ciertas características bioquímicas en común y son un determinante de alteración de la calidad microbiológica del agua al ser un indicador de presencia de materia fecal. No obstante, algunos coliformes dentro del grupo de coliformes totales no poseen origen fecal y están ampliamente distribuidos en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. En la normatividad nacional correspondiente al decreto 1076 de 2015, se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3) y agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 20000 y 5000 NMP/100 ml, respectivamente.

Los coliformes totales se presentan en la Figura 20, nótese que el eje y se presenta en escala logarítmica para facilitar la lectura de resultados. Para el caso de los manantiales se encuentra que la totalidad de puntos supera el límite máximo para riego agrícola y el 75% de los puntos superan el límite máximo permisible para uso doméstico, siendo el primero el más estricto. El rango de coliformes totales se establece entre 7000 (CAV312)

a 1600000 NMP/100ml (CAV187), siendo este último el más elevado de todos los puntos contemplados.

En los pozos profundos únicamente el punto CAV121 supera los límites para uso doméstico y en conjunto con este, los puntos CAV112 y CAV381 superan los límites para uso agrícola. Estos puntos presentan un rango de coliformes entre 16000 y 110000 NMP/100ml. Para los puntos restantes en pozos la concentración de coliformes se encuentra entre 310 y 1800 NMP/100ml.

Por último, en los aljibes únicamente el punto CAV105 con una concentración de 680000 NMP/100ml supera los límites para uso doméstico y agrícola. Para los puntos restantes la concentración se presenta en un rango entre 180 y 4000 NMP/100ml.

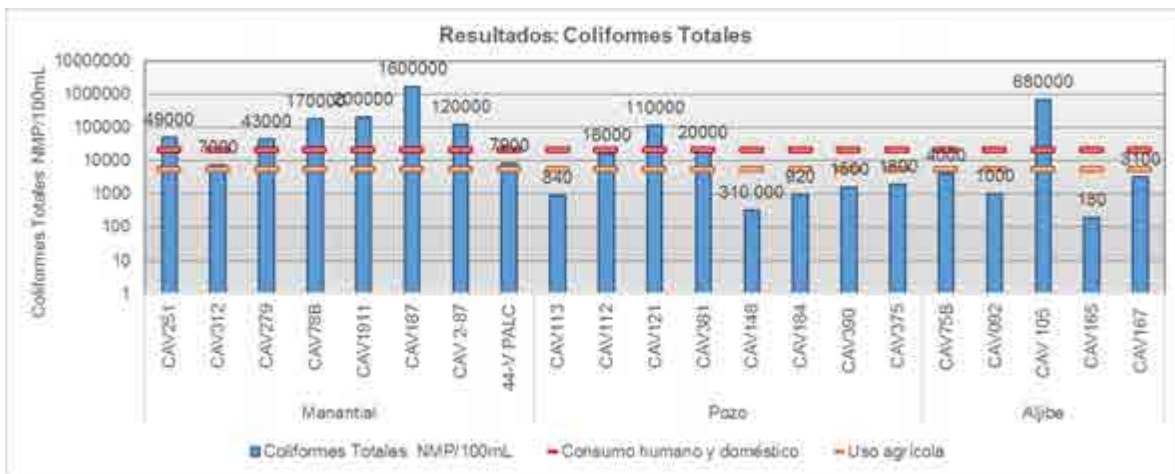


Figura 20. Resultados, Coliformes totales.

Los coliformes fecales o termotolerantes son la proporción de los coliformes que se asocia a un origen fecal, de este modo, tienen asociado un origen por contaminación por aguas residuales domésticas. En la normatividad nacional correspondiente al decreto 1076 de 2015, se establecen límites máximos permisibles para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3) y agrícola (artículo 2.2.3.3.9.5), los cuales corresponden a 2000 y 1000 NMP/100 ml, respectivamente.

Los resultados para coliformes fecales se exponen en la Figura 21, nótese que el eje y se presenta en escala logarítmica para facilitar la lectura de resultados. En el caso de los manantiales se encuentra que en los puntos CAV251, CAV279, CAV187 y CAV2-87, se presentan concentraciones de coliformes fecales que superan los límites permisibles para uso agrícola y doméstico. De este modo, se evidencia que en estos puntos existe algún



tipo de contaminación fecal. En los manantiales restantes, la concentración de coliformes fecales se encuentra en un rango entre 24 y 540 NMP/100ml.

En los puntos del tipo pozo profundo, la concentración de coliformes totales se presenta en un rango entre 2 y 920 NMP/100ml. De este modo, en ningún punto se superan los límites máximos permisibles para usos doméstico o agrícola. Se identifica que si bien en algunos pozos profundos se presentan concentraciones elevadas de coliformes totales, en su mayoría no se asocian a contaminación fecal.

Se identifica que el aljibe CAV105 en el cual se encontraron concentraciones elevadas de coliformes totales igualmente se identifican concentraciones de coliformes totales que sobrepasan los límites normativos para usos del agua. De este modo, en este punto se identifican indicadores de aporte de contaminación fecal. En los aljibes restantes se presenta una concentración entre 1,84 a 46 NMP/100ml.

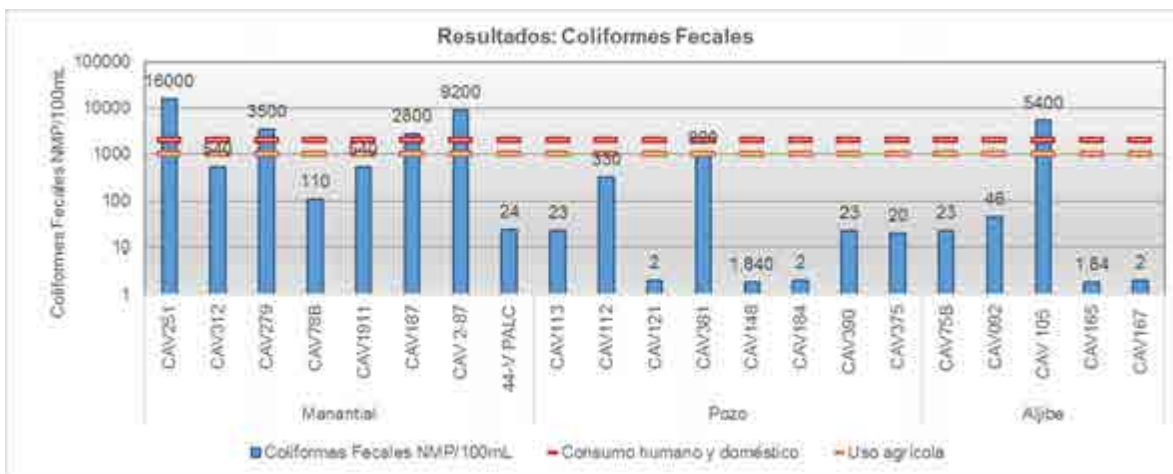


Figura 21. Resultados, Coliformes fecales.

### 5.1.9.2 Análisis hidroquímico

El agua de lluvia, incluso en zonas libres de contaminación, tiene también pequeñas cantidades de sustancias disueltas procedentes de polvo atmosférico (cantidades de orden de 0,2 – 0,4 mg/l de cada ion, en ocasiones mayores); en zonas costeras el sodio puede llegar a unos pocos mg/l por el aire salobre. En cualquier caso, después de la precipitación las pequeñísimas concentraciones en el agua se concentran por destilación: por tanto, al intentar explicar el origen de algunos iones en un agua subterránea, no hay que olvidar que una parte puede no haber sido adquirida en el terreno, sino provenir de la atmósfera.

Desde que el agua alcanza la superficie freática más próxima hasta que sale en un río, manantial o captación, pueden transcurrir días o miles de años, y el recorrido puede ser de unos metros o de varios kilómetros. Por tanto, la evolución química del agua dependerá de los minerales con los que entre en contacto y de la duración de dicho contacto, que a su vez depende de la velocidad del flujo subterráneo, las aguas subterráneas con menor tiempo de permanencia en el subsuelo son generalmente bicarbonatadas. Después predomina el sulfato, y las aguas más salinas son cloruradas. Esta evolución se denomina secuencia de Chevotareb (ver Figura 22 ).

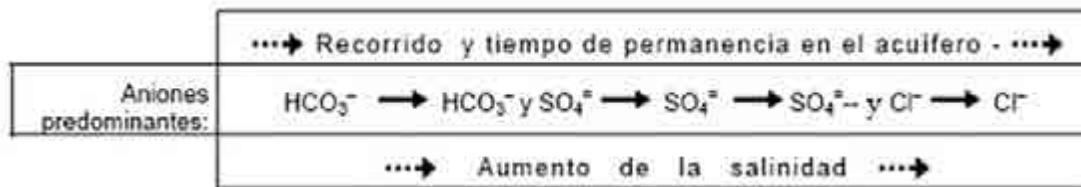


Figura 22. Esquema de CHEVOTAREB

A continuación, se presenta la caracterización hidroquímica para las aguas presentes en los puntos hidrogeológicos analizados (pozos, aljibes y manantiales), donde es posible observar en general una correspondencia dominante hacia aguas con bajos tiempos de permanencia en el acuífero (mayor concentración de  $\text{HCO}_3^-$ ), a excepción de 2 aljibes (CAV-075B y CAV-167) localizados en la unidad geológica (Formación La Paila y Depósito aluvial, respectivamente), muestran mayor concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  y un pozo profundo (CAV-390) asociado a la unidad geológica Depósitos de Terraza, que mostró un leve aumento en el contenido de  $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$  que se correlaciona un aumento relativo en el tiempo de tránsito en el acuífero.

El diagrama de Piper es un diagrama ternario ideal para representar tres componentes (como el diagrama textural de suelos) que, además de clasificar el agua acorde a los componentes iónicos mayoritarios permite establecer las mezclas existentes y la evolución hidroquímica de las aguas (Prassana et al., 2011; Manzano y Guimaraens, 2011). El diagrama de Piper construido para los puntos de análisis se presenta en la Figura 23.

Los resultados de los análisis químicos de las muestras de agua se analizaron mediante diagramas de Piper y Stiff. Los diagramas hidroquímicos son representaciones gráficas de los resultados de los análisis químicos que permiten definir las principales características del agua, facilitando su clasificación y análisis, así como la interpretación conjunta de un gran número de muestras (Castany, 1975; Custodio, 1996). Como soporte lógico para la caracterización de las aguas utilizó el software Diagrammes, versión 6.61 (Roland SIMLER Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, 2020).

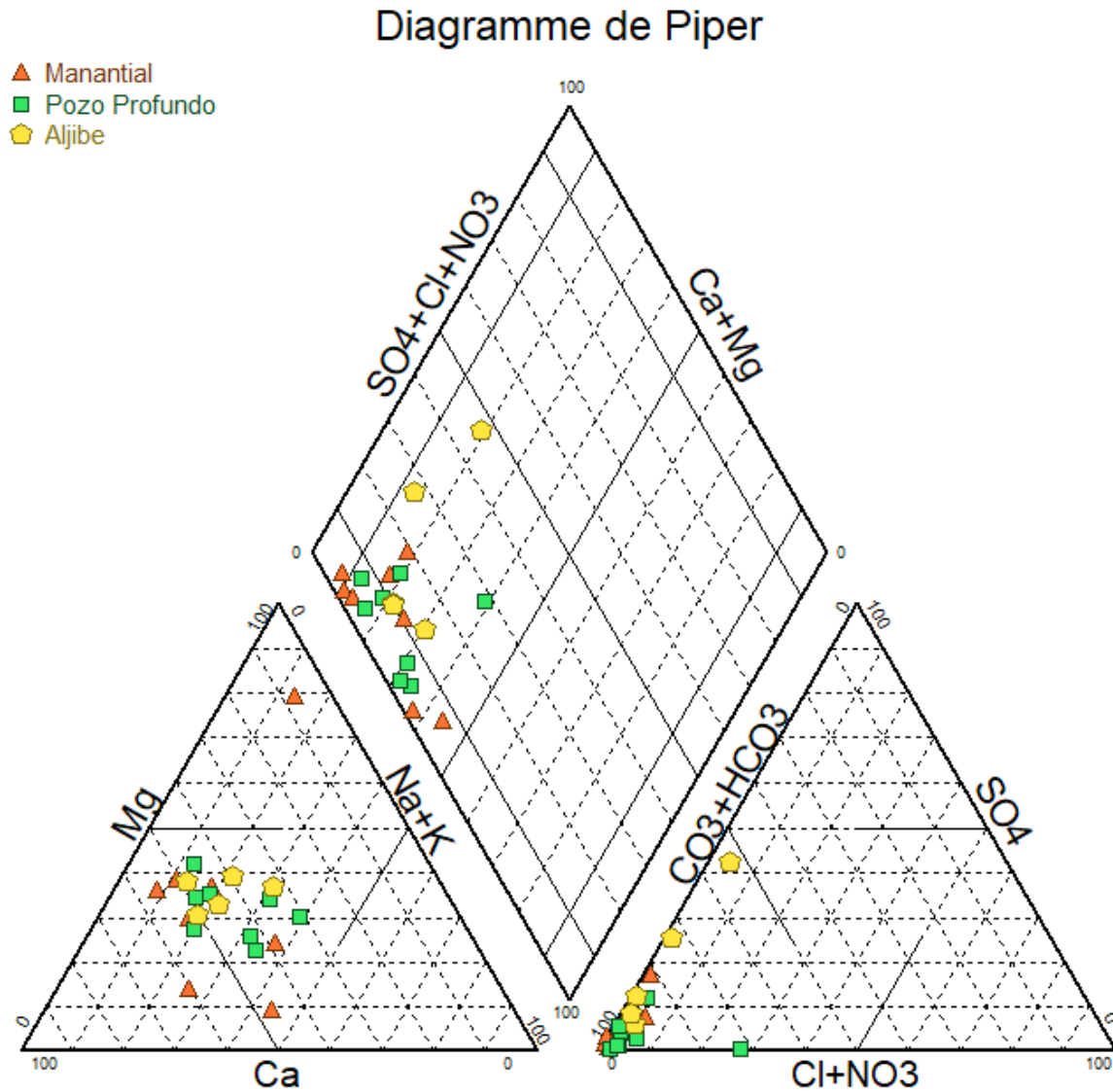


Figura 23. Diagrama de Piper.

El diagrama de Stiff es otro tipo de representación gráfica para los datos químicos donde la proporción de concentraciones de los cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) y los aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) de la muestra de agua, se presentan mediante vértices que se extienden horizontalmente indicando la cantidad existente de cada uno de los iones; de la misma manera que en el diagrama de Piper se expresa en meq/L. Hacia el lado izquierdo de la figura se presentan los cationes y hacia el derecho los aniones. La forma del polígono

resultante permite visualizar diferentes tipos de agua o la mineralización de la misma. El diagrama de Stiff construido para los puntos de análisis se presenta en la Figura 24.

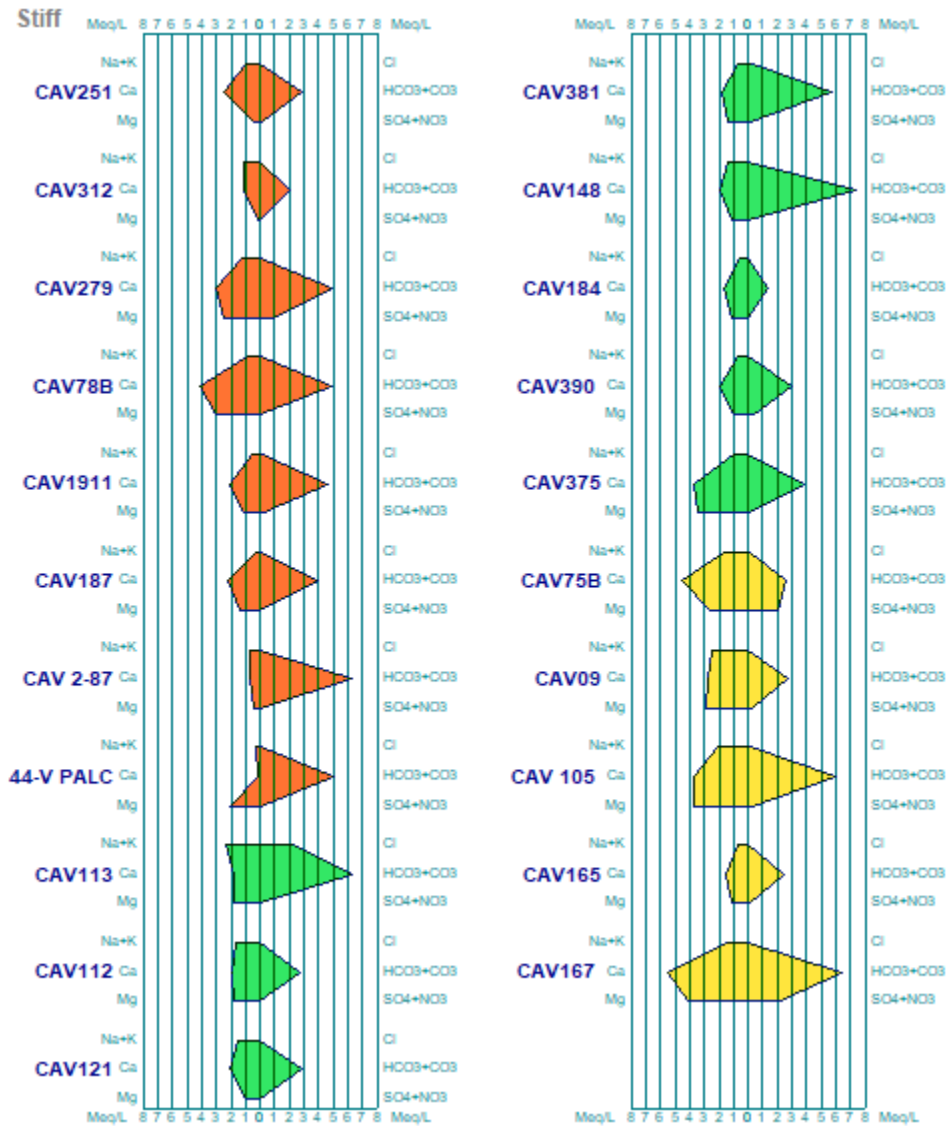


Figura 24. Diagrama de Stiff.

De acuerdo a los resultados gráficos de los diagramas de Piper y de Stiff se realiza la clasificación del tipo de agua para cada muestra, esto se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Variaciones en el tipo de agua,

Tipo	Muestra	Tipo de Agua
<b>Manantial</b>	CAV251	HCO <sub>3</sub> - Ca
	CAV312	HCO <sub>3</sub> - Ca - Na+K
	CAV279	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
	CAV78B	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
	CAV1911	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
	CAV187	HCO <sub>3</sub> - Na+K - Mg
	CAV 2-87	HCO <sub>3</sub> - Na+K - Ca
	44-V PALC	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
<b>Pozo profundo</b>	CAV113	HCO <sub>3</sub> - Cl - Na+K
	CAV112	HCO <sub>3</sub> - Mg - Na+K
	CAV121	HCO <sub>3</sub> - Ca - Na+K
	CAV381	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
	CAV148	HCO <sub>3</sub> - Ca - Na+K
	CAV184	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
	CAV390	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
	CAV375	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
<b>Aljibe</b>	CAV75B	Ca - Mg - HCO <sub>3</sub>
	CAV092	Mg - HCO <sub>3</sub> - Ca
	CAV 105	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
	CAV165	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg
	CAV167	HCO <sub>3</sub> - Ca - Mg

### 5.1.9.3 Unidades Hidrogeológicas

Parte fundamental para la caracterización hidrogeológica en la línea base y el desarrollo de la caracterización hidrogeológica conceptual, es la identificación del comportamiento del agua subterránea en las distintas unidades geológicas. Para ello se deben tener en cuenta varios criterios que van desde las características intrínsecas de la unidad geológica (unidad roca o depósito) como el tipo de roca, los aspectos texturales y



mineralógicos, el tipo de porosidad (primaria o secundaria por fracturamiento o por disolución) y el perfil de meteorización entre otros, hasta las características generales de la unidad geológica como espesor de la roca dentro de una secuencia estratigráfica definida, cambios texturales y mineralógicos (faciales) laterales y verticales y relación con estructuras geológicas como fallas (zonas de fracturamiento intenso), pliegues y discordancias, principalmente. Estas características geológicas definen las propiedades hidrogeológicas de las rocas gobernando la circulación del agua subterránea, y permitiendo su almacenamiento y transmisión en el medio geológico.

La porosidad como parámetro principal para caracterizar el comportamiento hidrogeológico de una unidad litológica (unidad roca y depósitos o sedimentos sueltos) debe ser diferenciada en primaria o secundaria. La primera está asociada a la formación de la roca o el depósito (primaria), mientras que la segunda responde a fenómenos deformacionales y meteóricos posteriores a la formación de la roca (secundaria). Los tipos de porosidad son:

- Porosidad intergranular o primaria: Es típica de materiales detríticos no consolidados, es decir depósitos o sedimentos sueltos, y de las rocas sedimentarias poco cementadas. En estas unidades litológicas los poros constituyen una intrincada red de canales de pequeño diámetro por los que circula el agua subterránea debido a que los poros o espacios vacíos se encuentran interconectados entre sí. La porosidad en estos materiales suele estar en el rango entre 45% – 25%.
- Porosidad por fracturas (secundaria): Se origina predominantemente en rocas sedimentarias cementadas, ígneas y metamórficas afectadas por procesos tectónicos que generan una red de fracturas de mayor o menor densidad. La porosidad en estos materiales suele ser inferior al 5%.
- Porosidad por disolución (secundaria): Es la porosidad que se da en rocas potencialmente solubles como las carbonatadas por los efectos de las aguas meteóricas las cuales empiezan a circular a través de pequeñas fracturas y planos de estratificación/foliación, disolviendo la roca y formando redes de canales. El valor de porosidad dependerá del desarrollo de estos conductos, y suele estar en el rango entre 5% – 50%.

De acuerdo a lo anterior las unidades hidrogeológicas se definen con base en la capacidad que tienen los materiales de almacenar y permitir el flujo de agua, lo cual está relacionado directamente con la porosidad como se enuncia a continuación:

- Acuífero: Formación geológica que posee espacios intercomunicados que almacenan agua y permiten el flujo de ésta.

- **Acuicludo:** Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que debido a que el tamaño de los poros es muy pequeño, no es posible la circulación del agua a través de este medio.
- **Acuitardo:** Formación geológica que, aunque almacena agua, solo permite su flujo muy lentamente.
- **Acuifugo:** Formación geológica de muy baja permeabilidad y porosidad efectiva, que no tiene capacidad de almacenar ni de permitir el flujo de agua.

La definición de estas unidades es la base para la elaboración del mapa de unidades hidrogeológicas, el cual es la representación cartográfica de las propiedades y comportamiento hidrogeológico de las formaciones geológicas previamente definidas en el área de estudio.

El mapa de Unidades Hidrogeológicas, representa las unidades acuíferas y confinantes que se encuentran aflorando en el área de caracterización hidrogeológico del proyecto, compuestas por una o varias unidades litológicas, las cuales han sido agrupadas en dos categorías principales, que dependen del tipo de porosidad de las rocas, de la ocurrencia o no de aguas subterráneas y de la capacidad de almacenamiento.

La homologación de unidades litológicas a unidades hidrogeológicas se realizó teniendo en cuenta la metodología de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos” (UNESCO, 1983), adicional a esto se contrastó esta información con lo relacionado en el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, Mapa de Unidades Hidrogeológicas, donde establecen una relación de capacidad específica (l/s/m), para cada unidad litológica relacionada.

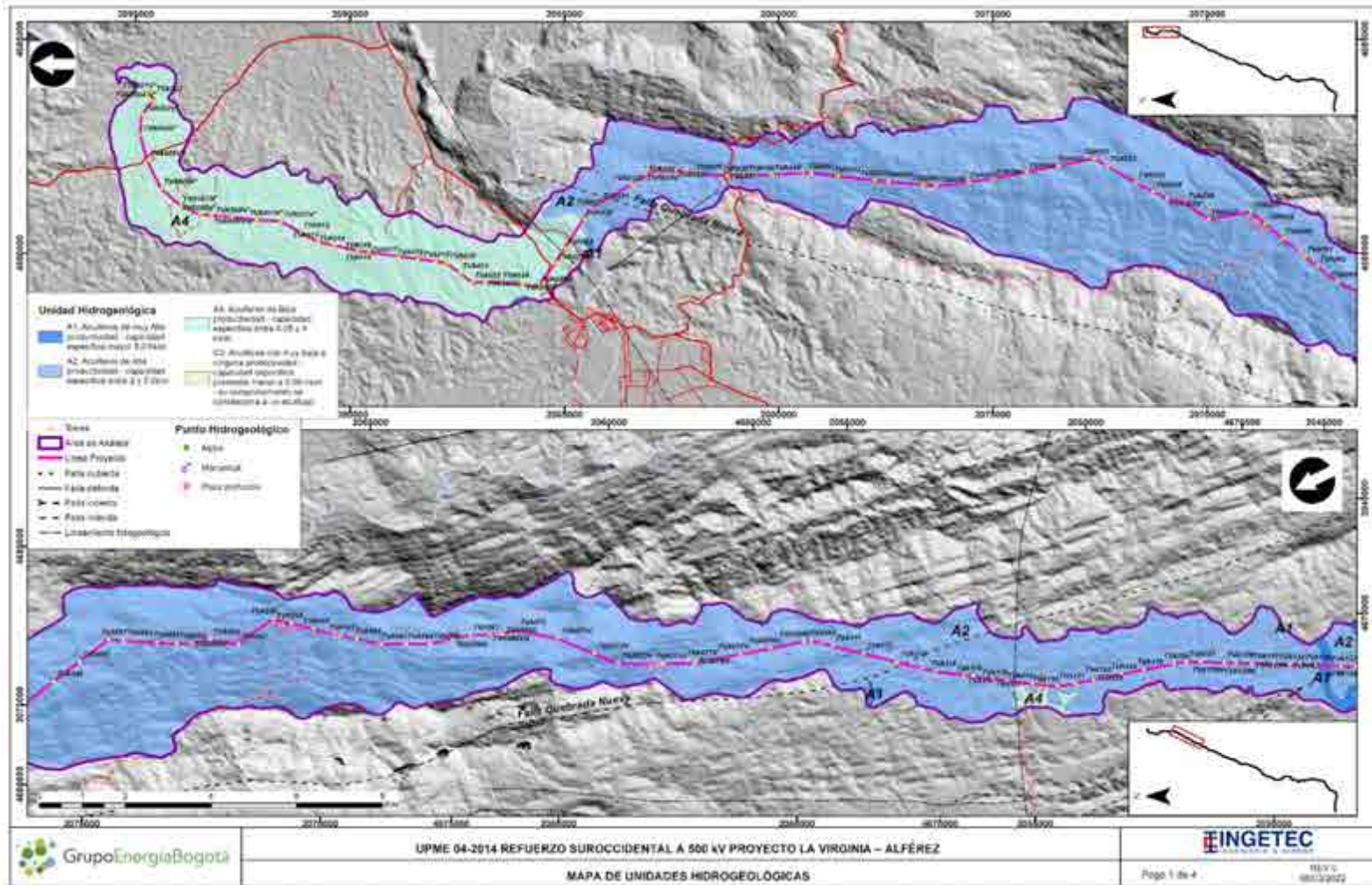
En la Tabla 13 se muestran las unidades hidrogeológicas dentro del área de caracterización hidrogeológica, las cuales son presentadas en la Figura 25 y con detalle en el Anexo D7.1.

Tabla 13. Unidades Hidrogeológicas para el área de caracterización.

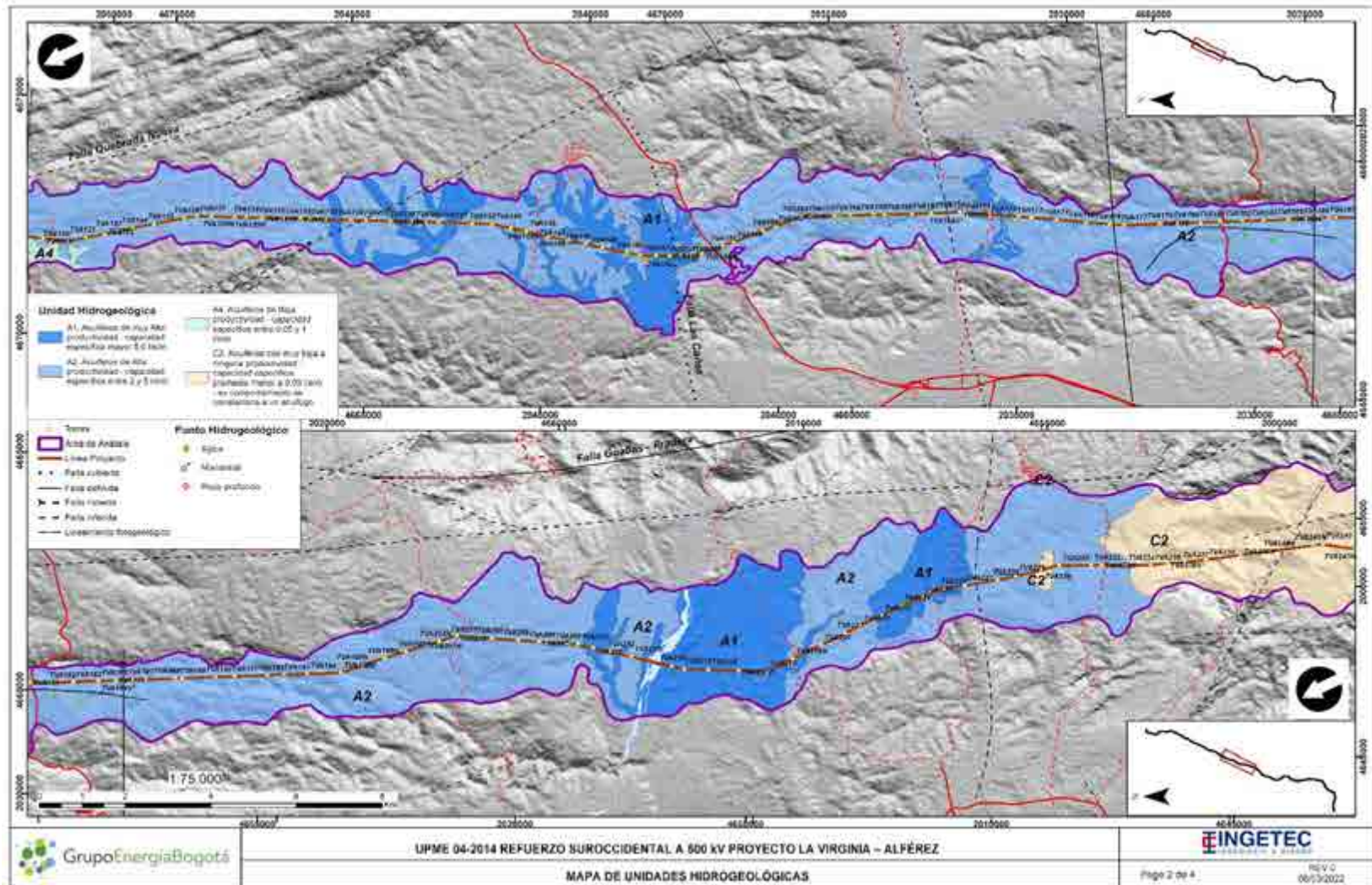
SISTEMA ACUÍFERO		CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
<b>SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO INTERGRANULAR</b>			
<b>A1</b>	<b>Acuíferos de muy Alta productividad, capacidad específica mayor 5,0 l/s/m  (37.37%)</b>	Sistemas acuíferos de extensión regional, conformada por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos de tipo libre, semiconfinado y confinado, con agua recomendable para cualquier uso	Depósitos Aluviales (Qal) -6.79%
			Conos Aluviales (Qca) - 17.95%

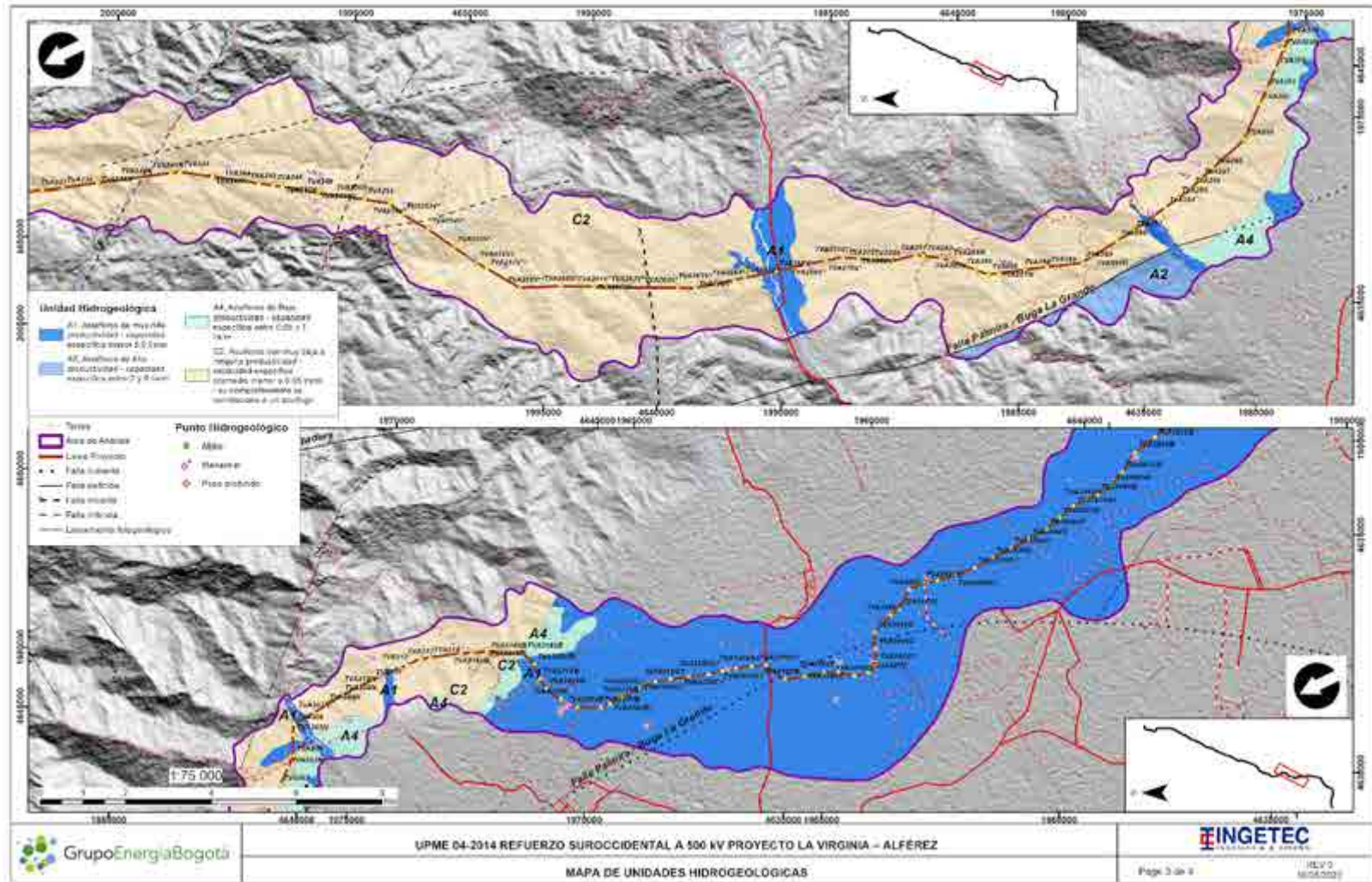
SISTEMA ACUÍFERO		CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
			Depósitos de Terraza (Qt) - 12.64%
A2	<b>Acuíferos de Alta productividad, capacidad específica entre 2,0 y 5,0 l/s/m (35.87%)</b>	Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, depositados en ambiente fluvial, conformado por rocas Paleógenas y Neógenas poco consolidadas que desarrollan acuíferos de tipo confinado, almacenando aguas recomendables cualquier uso	Formación La Pobreza (TMpo) - 2.19%
			Formación La Paila (TMP) - 19.31%
			Formación Cinta de Piedra (Tocp) - 14.46%
A4	<b>Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m (6.50%)</b>	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos Cuaternarios de ambiente coluvial, que desarrollan acuíferos libres y localmente confinados y por rocas y Neógenas y Paleógenas de ambiente Fluvio-Volcánico y marino con acuíferos de tipo confinado. Almacenan agua recomendable para cualquier uso	Depósitos de Derrubio (Qd) - 1.26%
			Flujos de lodo y cenizas recientes (Qto) - 1.65%
			Formación Zarzal (TPz) - 3.6%
<b>SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA</b>			
C2	<b>Acuíferos con muy baja a ninguna productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona a un acuífugo (20.24%)</b>	Complejo de rocas ígneo - metamórficas con muy baja a ninguna productividad, de edades Precámbricas a Cretácicas. Con frecuencia se encuentran fuentes termales.	Batolito de Buga (Kcd-t) - 5.79%
			Macizo Ofiolítico de Ginebra (Jkoga, Jkogu) - 14.37%

Fuente: Modificada de UNESCO. (1983).











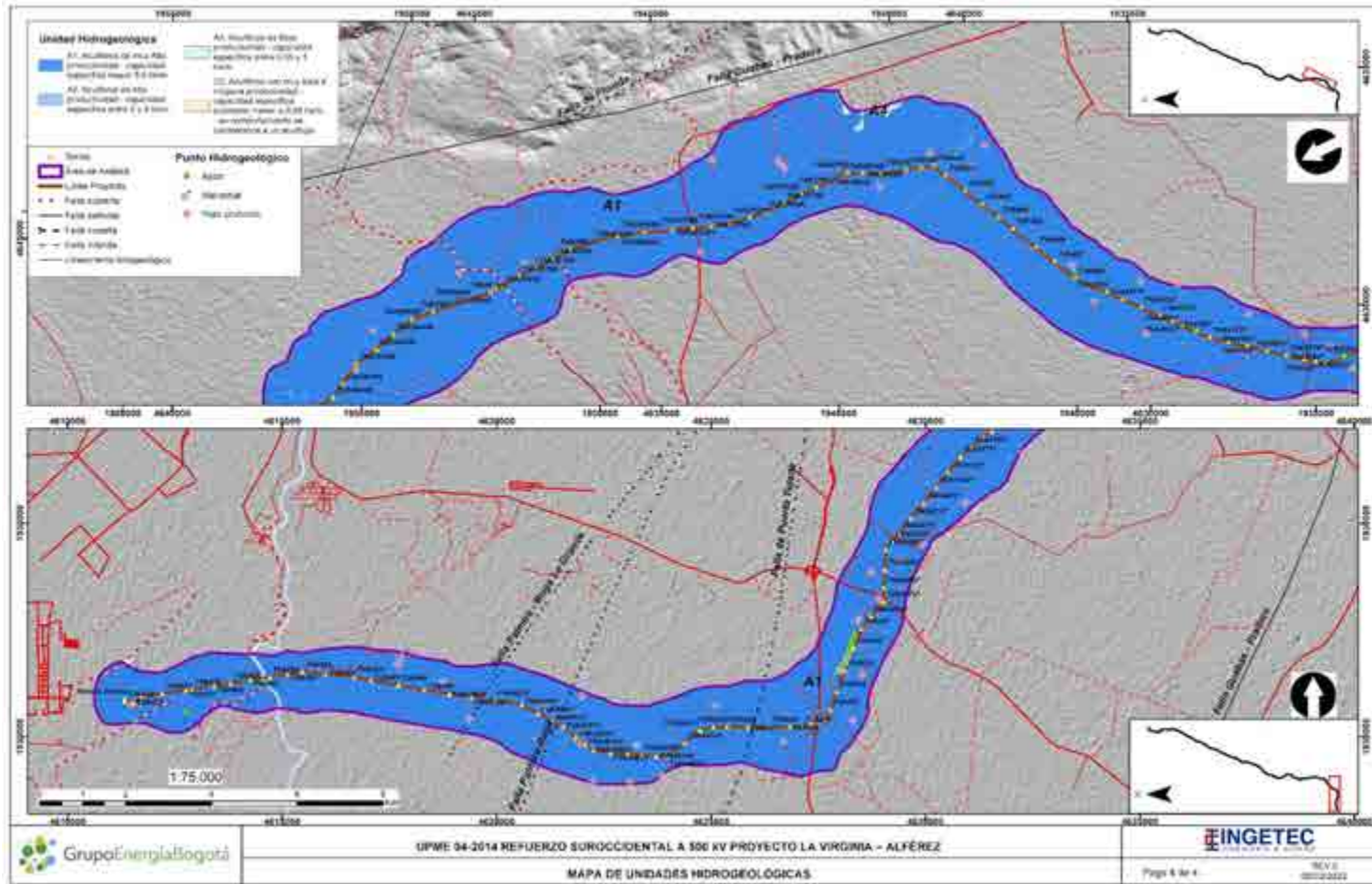


Figura 25. Unidades Hidrogeológicas para el área de caracterización

Teniendo en cuenta esta información y las características de las unidades litológicas para conformar unidades con capacidad de almacenamiento se clasifican en los siguientes tipos:

- Acuíferos

Unidad geológica que permite el almacenamiento y circulación del agua dadas sus condiciones de permeabilidad suficientes para generar acumulaciones significativas del recurso hídrico, los acuíferos más comunes son las arenas y gravas (materiales no consolidados), pero rocas sedimentarias permeables tales como las areniscas, calizas, rocas cristalinas fracturadas y volcánicas intensamente meteorizadas o fracturadas también pueden ser clasificadas como acuíferos (Sanchez, 2014). En el área de caracterización hidrogeológica constituyen en el 79.84%, afloran los sistemas acuíferos asociados a Depósitos Aluviales (Qal), Conos Aluviales (Qca), Depósitos de Terraza (Qt), Formación La Pobreza (TMpo), Formación La Paila (TMp), Formación Cinta de Piedra (Tocp), Depósitos de Derrubio (Qd), Flujos de lodo y cenizas recientes (Qto) y Formación Zarzal (TPz).

- Acuícludos

Unidad geológica que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos arcillosos de cualquier origen. En el área de caracterización hidrogeológica no se encuentran unidades con estas características, pero algunas intercalaciones arcillosas de las unidades cartografiadas deben constituir Acuícludos locales. (Sanchez, 2014).

- Acuitardos

Unidad geológica que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptas para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, pero, sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante. (Sanchez, 2014). En el área de caracterización hidrogeológica no se encontraron unidades con estas características sin embargo algunas unidades cristalinas consideradas Acuífugos pueden conformar Acuitardos locales.

- Acuífugos

Son aquellas unidades geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico que no esté fisurado o rocas metamórficas sin meteorización y fracturación, estas se consideran unidades impermeables. (Sanchez, 2014). En el área de caracterización hidrogeológica corresponden al 20,16%, conformado por las unidades: Batolito de Buga (Kcd-t) y el Macizo Ofiolítico de Ginebra (Jkoga, Jkogu).

#### 5.1.9.4 Caracterización Hidrogeológica del área

Los diferentes sistemas acuíferos, se clasifican por sus características de permeabilidad, porosidad, transmisividad, extensión y espesor; en general en el área de caracterización se presentan rocas y sedimentos con limitados recursos subterráneos, unidades acuíferas de los depósitos cuaternarios y de rocas consolidadas de edad Neógeno.

- Sedimentos y rocas con flujo intergranular

Se definen como sedimentos y rocas con flujo intergranular a los sistemas con una porosidad que permite el flujo del recurso, por lo general se debe a su bajo grado de consolidación y el tamaño de grano. (Sanchez, 2014).

- Acuíferos de muy Alta productividad, capacidad específica mayor 5,0 l/s/m (A1)

Sistemas acuíferos de extensión regional, conformada por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos de tipo libre, semiconfinado y confinado, con agua recomendable para cualquier uso. (INGEOMINAS, 2000).

En el área de caracterización hidrogeológica se encuentran Depósitos Aluviales (Qal), Conos Aluviales (Qca) y Depósitos de Terraza (Qt), los cuales representan el 37.37% del área ocupando una extensión de 17549,49 hectáreas.

El potencial hidrogeológico del área de caracterización se asocia a esta unidad, el acuífero de los Depósitos Aluviales, depositados en la gran fosa del Cauca, el cual se formó por movimientos tectónicos; así mismo hacia las estribaciones de la Cordillera Central se localizan impresionantes conos aluviales que se caracterizan por tener sedimentos gruesos con cantos rodados y bloques de gran tamaño que en forma general van decrecimiento de tamaño en dirección hacia el río Cauca, pasando por gravas hasta quedar reducidas a arenas, cerca al cauce del río. (Taupin, 2003).

En el valle, los lentes intercalados de arenas, gravas y arcillas constituyen acuíferos libres, confinados y un sistema múltiple de goteo. Constituyen el principal sistema acuífero que abastece la mayoría de los pozos profundos en la zona estudiada. Los aljibes existentes en la zona extraen el agua de los sedimentos de la parte superior de la unidad que en ocasiones forman acuíferos aislados. (Taupin, 2003).

- Acuíferos de Alta productividad, capacidad específica entre 2,0 y 5,0 l/s/m (A2)

Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, depositados en ambiente fluvial, conformado por rocas Paleógenas poco consolidadas que desarrollan acuíferos de tipo confinado, almacenando aguas recomendables para cualquier uso. (INGEOMINAS, 2000) En el área de caracterización hidrogeológica está conformada por los acuíferos de las unidades, Formación La Pobreza (TMpo), Formación La Paila (TMp) y Formación Cinta de Piedra (Tocp); representan el 35.87% del área con una extensión de 16845,43 hectáreas.

El acuífero de la Formación Cinta de Piedra se caracteriza por ser una secuencia de arenitas grises, amarillentas a verdes de grano fino a medio, intercaladas con arcillolitas compactas y horizontes locales de conglomerados. La Formación Paila está compuesta por intercalaciones de conglomerados y areniscas (INGEOMINAS, 1984). La Formación La Pobreza es muy similar a la parte superior de la Formación La Paila.

- Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m (A4)

Sistemas acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos Cuaternarios de ambiente coluvial, que desarrollan acuíferos libres y localmente confinados y por rocas Paleógenas de ambiente fluvio-volcánico y marino con acuíferos de tipo confinado. Almacenan agua recomendable para cualquier uso (INGEOMINAS, 2000).

En el área de caracterización está conformada por los acuíferos de las unidades, Depósitos de Derrubio (Qd), Flujos de lodo y cenizas recientes (Qto), Formación Zarzal (TPz) ; las cuales representan el 6,50% del área ocupando una extensión de 3054,19 hectáreas.

- Sistemas y rocas con limitados recursos de aguas subterráneas

Son acuíferos con muy baja productividad, comportamiento se correlaciona al de y Acuífugos, por lo general son complejos ígneo-metamórficos que no permiten la conductividad y carecen de propiedades permeables por su alta compactación.

Acuíferos con muy baja a ninguna productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona a un acuífugo (C2).

Complejo de rocas ígneo - metamórficas con muy baja a ninguna productividad, de edades Precámbricas a Cretácicas. Con frecuencia se encuentran fuentes termales, son rocas que por su naturaleza no pueden almacenar ni transmitir agua, con limitados recursos (INGEOMINAS, 2000).

En el área de caracterización está conformado por las unidades: Batolito de Buga (Kcd-t) y el Macizo Ofiolítico de Ginebra (Jkoga, Jkogu); representan el 20.24% del área ocupando una extensión de 9503,16 hectáreas.

Este sistema acuífero presenta una capacidad específica menor de 0,05 l/s/m, abarcan gran parte de la zona de estudio, sus posibilidades acuíferas son muy limitadas dependen del grado de meteorización y/o fracturamiento que sufra la roca, generalmente forman parte del basamento hidrogeológico.

En resumen, la caracterización hidrogeológica del área sugiere que los sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea tienen una participación en el área de un 20.24%, mientras los sistemas acuíferos compuestos por sedimentos y rocas con flujo intergranular ocupan la mayor parte del área de caracterización con 79.76% de participación.

En la Tabla 14 y Figura 26 se presentan las áreas y porcentajes de las unidades hidrogeológicas para el área de caracterización.

Tabla 14. Relación de áreas de las unidades hidrogeológicas para el área de caracterización.

Sistemas acuíferos	Unidades Hidrogeológicas	Área (ha)		Área (%)	
<b>Sedimentos y rocas con flujo Intergranular</b>					
Acuíferos de muy Alta Productividad (A1)	Depósitos Aluviales (Qal)	3186,3	17549,8	6,79	37,37
	Conos Aluviales (Qca)	8429,8		17,95	
	Depósitos de Terraza (Qt)	5933,7		12,64	

Sistemas acuíferos	Unidades Hidrogeológicas	Área (ha)		Área (%)	
Acuíferos de Alta Productividad (A2)	Formación La Pobreza (TMpo)	1028,88	16845,43	2,19	35,87
	Formación La Paila (TMp)	9065,86		19,31	
	Formación Cinta de Piedra (Tocp)	6790,13		14,46	
Acuíferos de Baja Productividad (A4)	Depósitos de Derrubio (Qd)	590,0	3054,19	1,26	6,505
	Flujos de lodo y cenizas recientes (Qto)	773,26		1,65	
	Formación Zarzal (TPz)	1690,93		3,60	
<b>Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea</b>					
Acuíferos con muy baja a ninguna productividad acuífugo (C2)	Batolito de Buga (Kcd-t)	2716,3	9503,16	5,79	20,240
	Macizo Ofiolítico de Ginebra (Jkoga, Jkogu)	6747,14		14,37	
<b>TOTAL</b>		<b>46952,27</b>	<b>46952,27</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



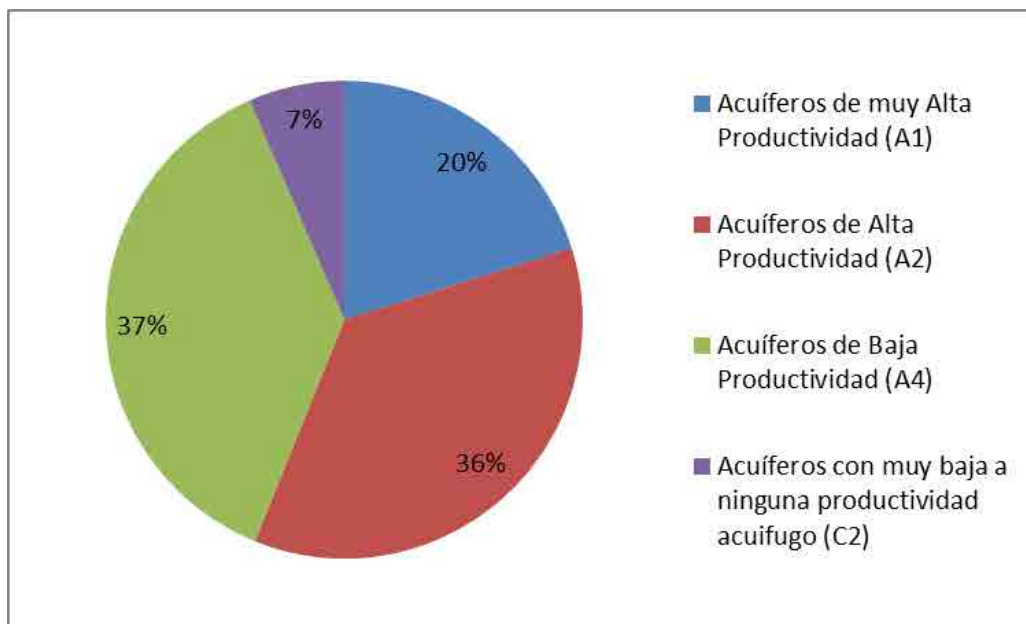


Figura 26. Porcentaje de ocupación de unidades hidrogeológicas para el área de caracterización.

#### 5.1.9.5 Zonas de Recarga y Descarga

La recarga del flujo subterráneo en el área de caracterización hidrogeológica, se produce a través de la infiltración de las aguas lluvia que se precipitan sobre las unidades de roca ígneas y sedimentarias, así como sobre los depósitos aluviales y coluvio aluviales que cubren estas litologías localmente. No obstante, el porcentaje de agua de las precipitaciones que se infiltra en el subsuelo depende de la evapotranspiración, la absorción del agua por la cobertura vegetal y el tipo de vegetación, la morfología del terreno y la permeabilidad de suelos y rocas. Es así como el agua infiltrada se mueve esencialmente por acción de la gravedad en los suelos y rocas, y su paso por la zona no saturada (Figura 27) constituye la principal fuente para la recarga de los acuíferos, sin embargo éstos tienen un potencial de capacidad de acumulación de agua subterránea, que como se ha explicado, está definido por las propiedades texturales, mineralógicas, estructurales y de grado de meteorización de las rocas, así como del espesor y características de las formaciones superficiales (depósitos y suelos residuales) que cubren las unidades roca. El volumen de agua que llega hasta la superficie de saturación de los acuíferos es igual al volumen total de la infiltración menos la cantidad de agua retenida en el suelo. El contenido de humedad del suelo, antes del comienzo de la

infiltración, es por lo tanto uno de los factores más importantes que influyen en la recarga de los acuíferos.

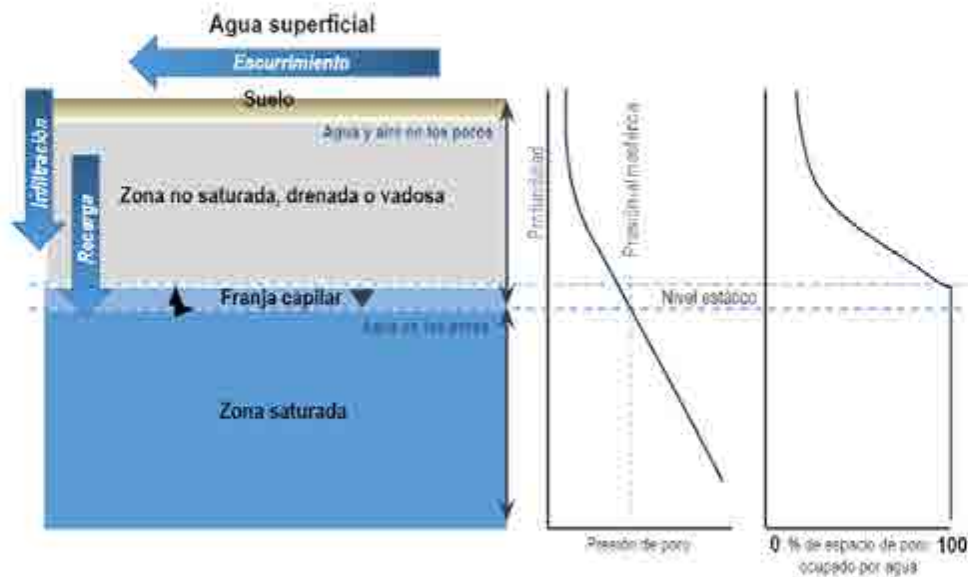


Figura 27. Comportamiento del agua que se infiltra. Bajo la zona saturada está la zona impermeable.

Fuente: Fitts. (2002).

Otra fuente de recarga importante de los acuíferos es su conexión directa con cuerpos de agua superficiales como lagos, ríos y quebradas, que dependen de la disponibilidad de agua durante las temporadas de lluvias. En los periodos lluviosos, las corrientes de agua superficiales tenderán a recargar los acuíferos y durante los periodos de sequía tenderá a ocurrir lo contrario. Esta interacción hídrica entre las corrientes de aguas superficiales y los acuíferos es un proceso que depende de la diferencia de potencial entre los niveles de agua superficial en la corriente y los niveles de agua subterránea en el acuífero, así como de las características hidrogeológicas de permeabilidad y porosidad de los materiales involucrados.

En los cauces localizados en valles profundos generalmente el proceso principal es de descarga de las aguas subterráneas hacia la corriente, ya que en este tipo de configuración comúnmente los niveles freáticos descienden en forma más o menos paralela a las laderas a través de las discontinuidades de la roca y están por consiguiente localizados por encima del río. En cambio, en cauces localizados en valles amplios conformados por materiales aluviales pueden presentarse comúnmente procesos dependientes de la época hidrológica, en los que en época seca el flujo se da desde los acuíferos al río y en época de lluvias en el sentido contrario.

Cuando los niveles en el acuífero son más altos que los niveles en el río, se pueden presentar flujos desde el acuífero hacia el río. Esto sucede comúnmente al principio de las épocas de tiempo seco, cuando tras la época de lluvias, los acuíferos están cargados, tienen niveles altos, mientras que los niveles en el cauce son bajos; a medida que transcurre la temporada de tiempo seco el acuífero se va descargando, los niveles freáticos van bajando, pudiendo llegar un momento en el cual ya no se da un aporte desde éste hacia la corriente.

Cuando los niveles en el río son más altos que los niveles en el acuífero, los flujos se dan desde el río hacia el acuífero, con lo cual se logra un proceso de recarga “lateral” de éstos; esto sucede comúnmente al principio de la época de lluvias, cuando los niveles limnimétricos son altos mientras que los niveles en el acuífero son bajos debido al proceso de descarga del mismo durante la temporada de tiempo seco inmediatamente anterior.

En función de las unidades geológicas y estructuras circundantes al río es importante tener en cuenta que cuando éstos tienen baja conductividad hidráulica y baja porosidad la interacción con la corriente superficial es baja, mientras que cuando los materiales tienen alta conductividad hidráulica y alta porosidad, la interacción puede ser mayor. En la Figura 28 se presenta un esquema general que muestra el comportamiento relacionado con la interacción río - acuífero asociado a la condición en la cual el acuífero descarga a los cuerpos de agua, y el comportamiento relacionado con la interacción río - acuífero asociado a la condición en la cual los cuerpos de agua recargan los acuíferos.

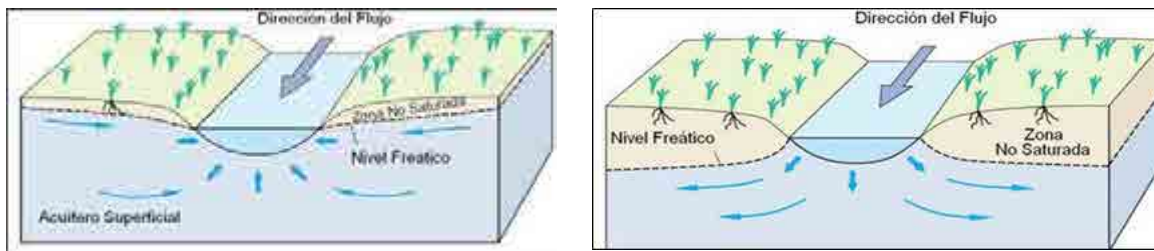


Figura 28. Interacción Acuífero - Río (izquierda) y Río - Acuífero (derecha)

En la zona de estudio también debe considerarse como fuente de recarga de los acuíferos, las corrientes superficiales de agua. Esta recarga depende del grado de conectividad entre éstos y la disponibilidad de agua en las corrientes superficiales durante las temporadas de lluvias. En los periodos lluviosos, las corrientes superficiales de agua tenderán a recargar los acuíferos y durante los periodos de sequía ocurre lo contrario. Finalmente las fuentes termales también contribuyen a la recarga de los acuíferos, sin embargo en cercanías de la zona de interés no se identificaron anomalías geotérmicas

que pudieran evidenciar la llegada de flujos regionales procedentes de sistemas hidrogeológicos asociados a cuerpos magmáticos.

Como zonas de descarga en el área de influencia se tienen las corrientes superficiales de agua (cuerpos lóticos) como ríos y quebradas (Figura 29), siendo el río Cauca la fuente principal de descarga de los flujos de agua subsuperficial (flujos de agua que transitan en los primeros metros de profundidad y vuelven a salir a superficie sin incorporarse al nivel freático) y agua subterránea presentes en el área de caracterización hidrogeológico conceptual. Estos sistemas de agua superficial presentan caudal permanente a lo largo de todo el año hidrológico, con variaciones relacionadas directamente con la precipitación. Durante los periodos de tiempo seco los caudales de estos sistemas se alimentan en parte gracias a la superficie freática y la zona saturada, es decir al flujo base que aportan los acuíferos de porosidad primaria como los depósitos cuaternarios aluviales y coluvio - aluviales, y acuíferos de porosidad secundaria por fracturamiento como las rocas ígneas.

En general, las principales zonas de recarga de a lo largo del área de caracterización hidrogeológica se localizan en: 1. El sistema de fallas geológicas de las cordilleras Central y Occidental 2. Los conos aluviales de los ríos Cauca y sus tributarios 3. Los cauces de los ríos tributarios y 4. La infiltración directa de la lluvia sobre toda la zona restante. Su principal zona de descarga es el río Cauca en toda su longitud (Figura 29).

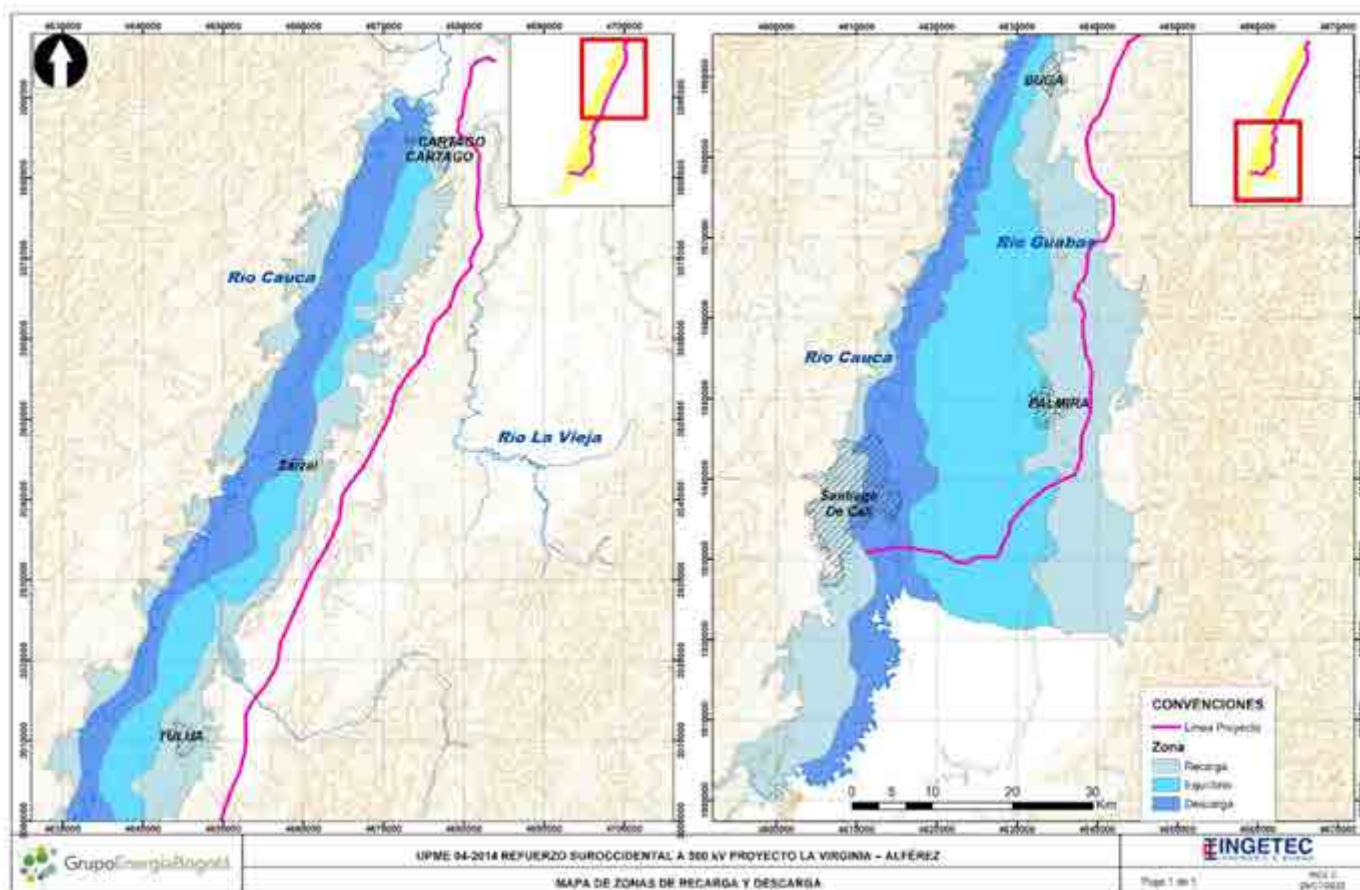


Figura 29. Zonas potenciales de recarga y descarga a los acuíferos.  
 Fuente: Zona tomadas de CVC. (2020).

### 5.1.9.6 Direcciones de Flujo

La definición de las direcciones de flujo consiste en representar la dirección y el sentido del flujo del agua subterránea y su interconexión hidráulica con sistemas acuíferos adyacentes o cuerpos de agua superficial. En este sentido la construcción de las direcciones de flujo se realiza teniendo en cuenta los datos del nivel piezométrico del inventario de puntos de agua subterránea, junto con las condiciones litológicas, estructurales y topográficas de la zona de estudio.

A los datos de profundidad de nivel freático adquiridos se les realiza la corrección de línea base (topografía), para luego realizar la interpolación de líneas equipotenciales de nivel freático, para este caso se realizó la interpolación de estos datos usando una regresión polinomial, la cual consiste en representar la tendencia de las líneas equipotenciales, estas líneas equipotenciales indican implícitamente la dirección de flujo, ya que en el sentido sobre el que su valor aumenta (aumento de profundidad), este sugiere la dirección de flujo, esto quiere decir que la dirección de flujo es perpendicular a las líneas equipotenciales del nivel freático (Figura 30).

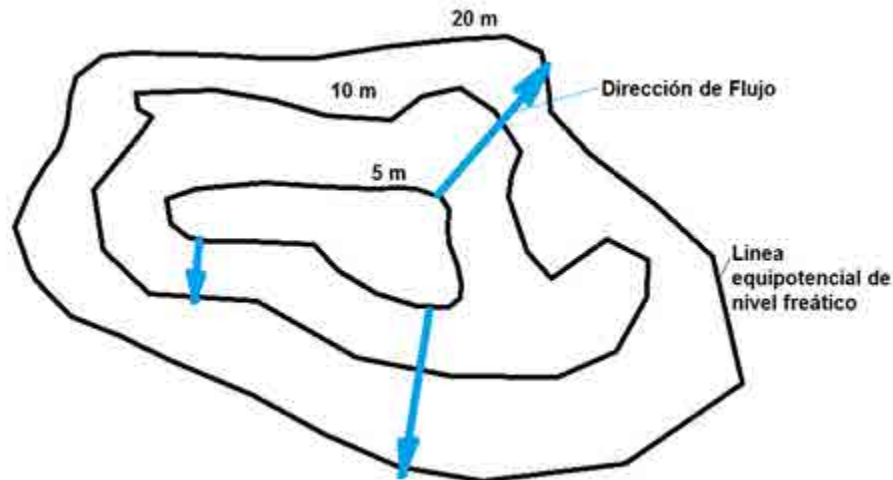


Figura 30. Definición de las direcciones de flujo.  
Fuente: GEB. (2018).

Los flujos de agua subsuperficial son dominantes en unidades superficiales de poco espesor como los depósitos coluvio-aluviales que rellenan drenajes menores en los flancos de la estructura sinclinal, así como en los suelos residuales desarrollados a partir de la meteorización de los esquistos cuarzo sercíticos también en los flancos del sinclinal. Estos flujos subsuperficiales se consideran de importancia ya que corresponden



a agua lluvia que se infiltra temporalmente al suelo y vuelve a manifestarse en la superficie a manera de nacederos por un cambio en la pendiente del terreno o en la permeabilidad del suelo. Estos flujos no alcanzan el nivel freático, por lo que no se consideran manantiales o puntos de agua subterráneo, pero se comportan como un recurso temporal que puede aportar flujo a los cursos de agua.

De acuerdo a lo descrito, se puede concluir que en el área de caracterización solo se identificaron flujos locales e intermedios de aguas subterráneas, siendo las características de cada uno las que se muestran a continuación:

- Flujos a escala local: Estos flujos son poco profundos y están localizados en las cuencas hidrográficas que coinciden con las zonas de recarga de agua subterránea. Los recorridos de flujo del agua subterránea son del orden de decenas de metros, nunca excediendo 1 km. Los flujos a escala local son dominantes y representan la mayor parte del flujo de agua subterránea en el área de estudio del Proyecto Subestación La Virginia – Alférez a 500 kV y líneas de transmisión asociados.
- Flujos de escala intermedia: Estos flujos están asociados con sistemas de aguas subterráneas más profundas. Los recorridos de aguas subterráneas son típicamente del orden de cientos de metros a varios kilómetros, nunca excediendo los 10 km. Los flujos de escala intermedia están presentes a lo largo del proyecto.
- Flujos de escala regional: Se considera que estos son característicos de los sistemas acuíferos de escala regional, donde los recorridos del flujo de agua subterránea pueden superar varias decenas de kilómetros de longitud. No hay flujos de aguas subterráneas de esta naturaleza en el área del proyecto debido a los tipos de unidades hidrogeológicas presentes, con una prevalencia de descarga proveniente de aguas subterráneas locales.
- Flujos geotérmicos: En el área del proyecto no se observan manantiales con temperatura elevada (agua termal).

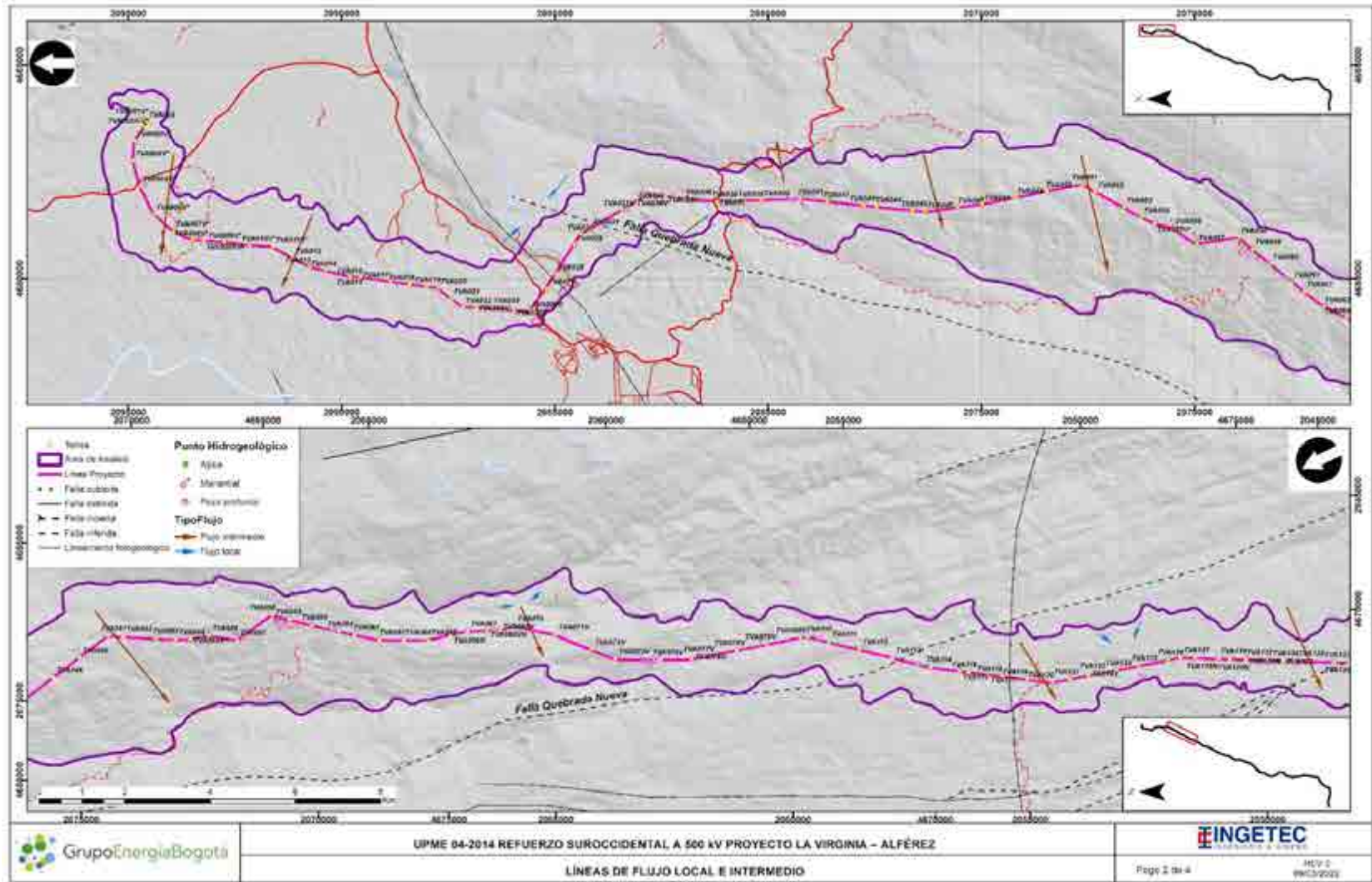
De acuerdo a la información geológica, hidrológica, hidráulica e hidroquímica obtenida, se realiza la estimación de la dirección de flujo e identificación de zonas de recarga, tránsito y descarga (ver Figura 29), de acuerdo al detalle solicitado por los TdR - 17, donde a partir de la determinación conceptual del sentido de flujo coherente con gradiente hidráulico que sigue la topografía en acuíferos libres (desde las partes altas a bajas), se definen las líneas de flujo local como se presenta en la Figura 31 y anexo D7.2, teniendo en cuenta que durante la etapa de inventario de puntos de agua subterránea no fue posible obtener mediciones de niveles piezométricos en los pozos identificados dado la ausencia de

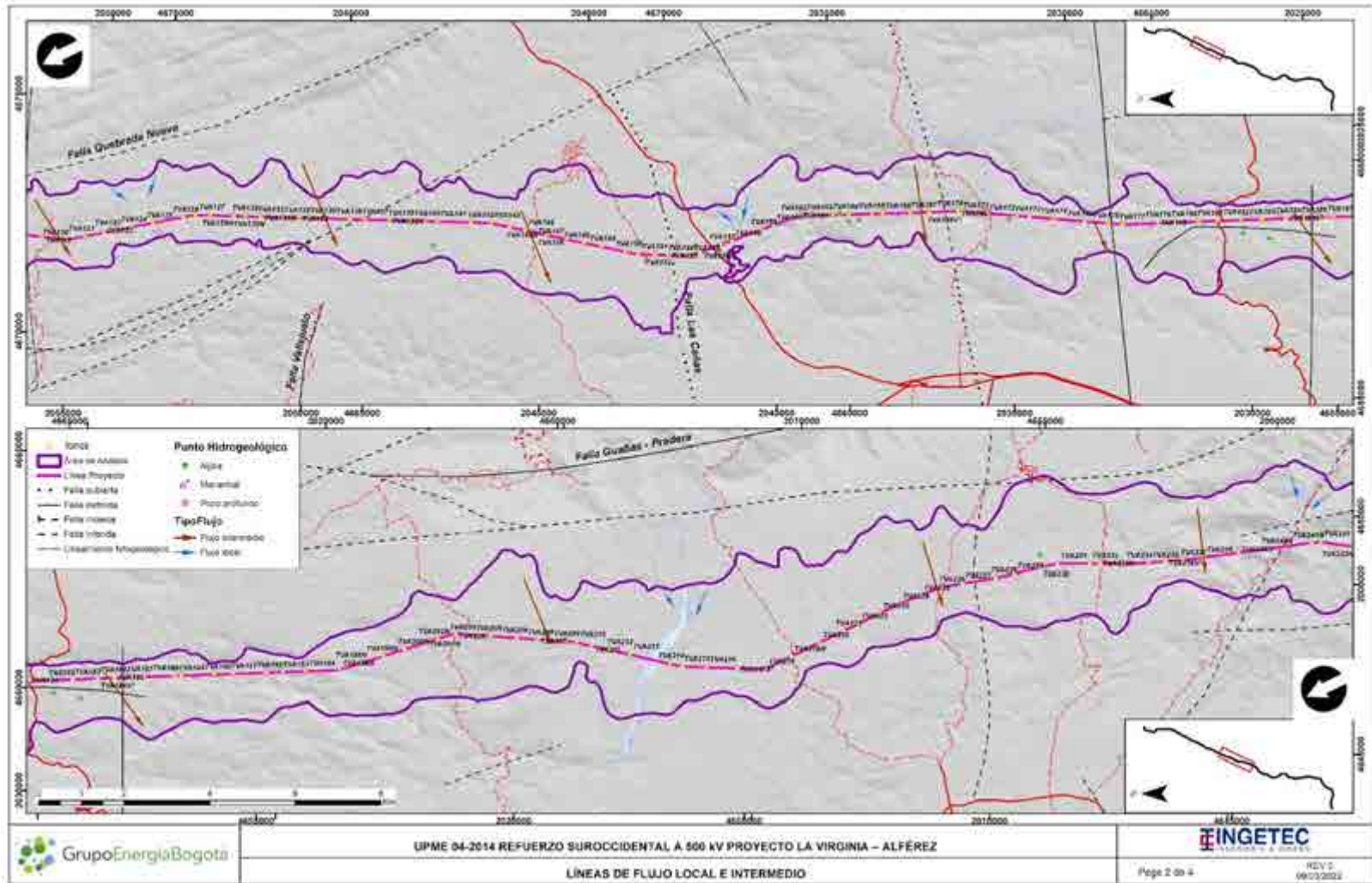
---

información reportada por el concesionario o responsable del pozo así como la gran cantidad de pozos inactivos a lo largo del lineamiento (ver FUNIAS en el anexo D7.3).

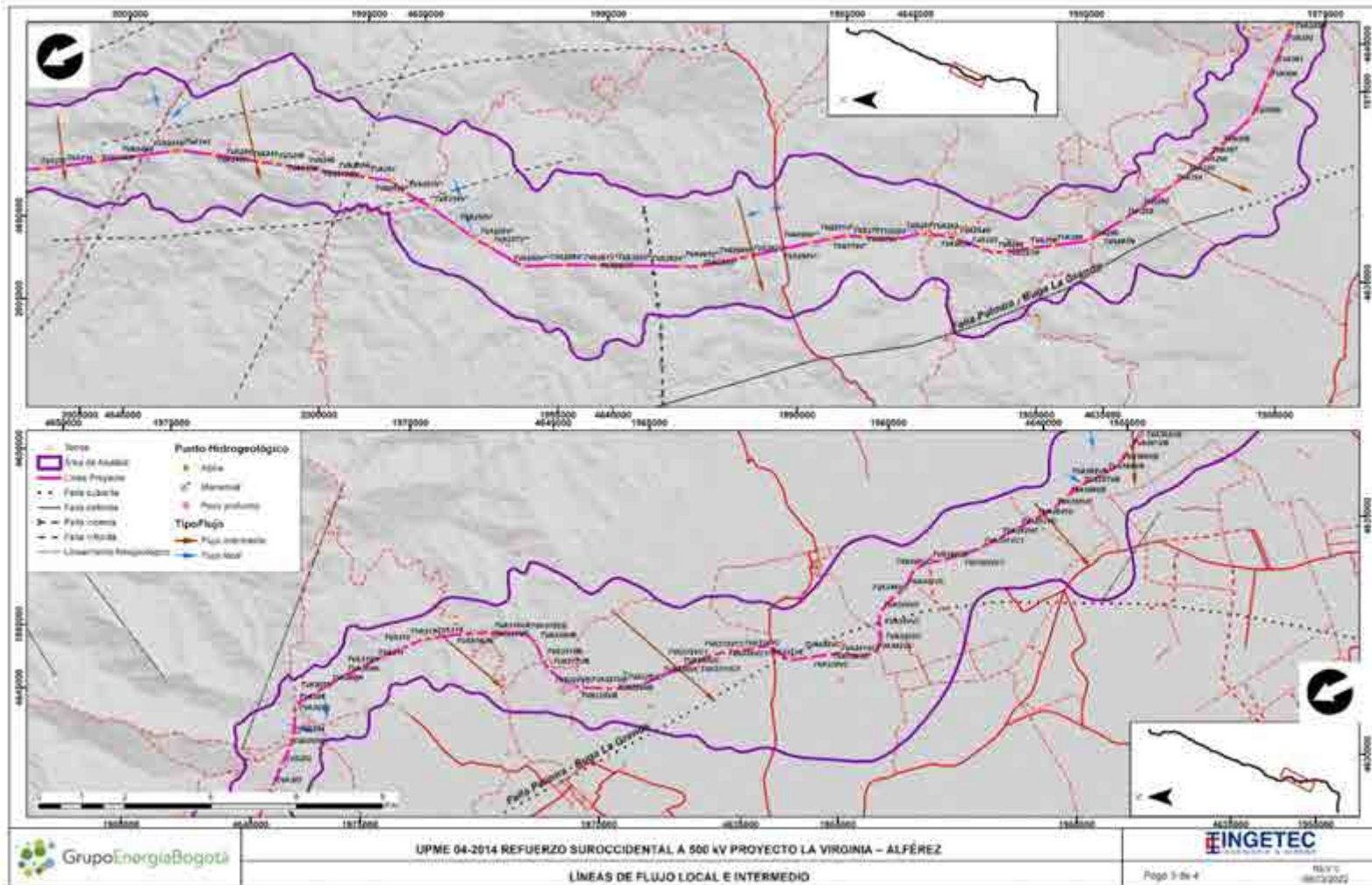
En el área de caracterización las direcciones de flujo convergen en dirección Sureste en cercanías a las planicies de inundación y la cuenca del río Cauca, y sus afluentes como el río La Vieja, La Paila, Bugalagrande, Morales, Tulua, Guadalajara, Guabas y Nima.

Esta tendencia en la dirección de flujo del agua subterránea sugiere un flujo regional en sentido NE – SW, convergiendo al cauce principal del Río Cauca, con una recarga asociada a la parte alta de la Cordillera Central al Oriente del área de caracterización como se muestra en la Figura 31 y con mayor detalle en el anexo D7.1.









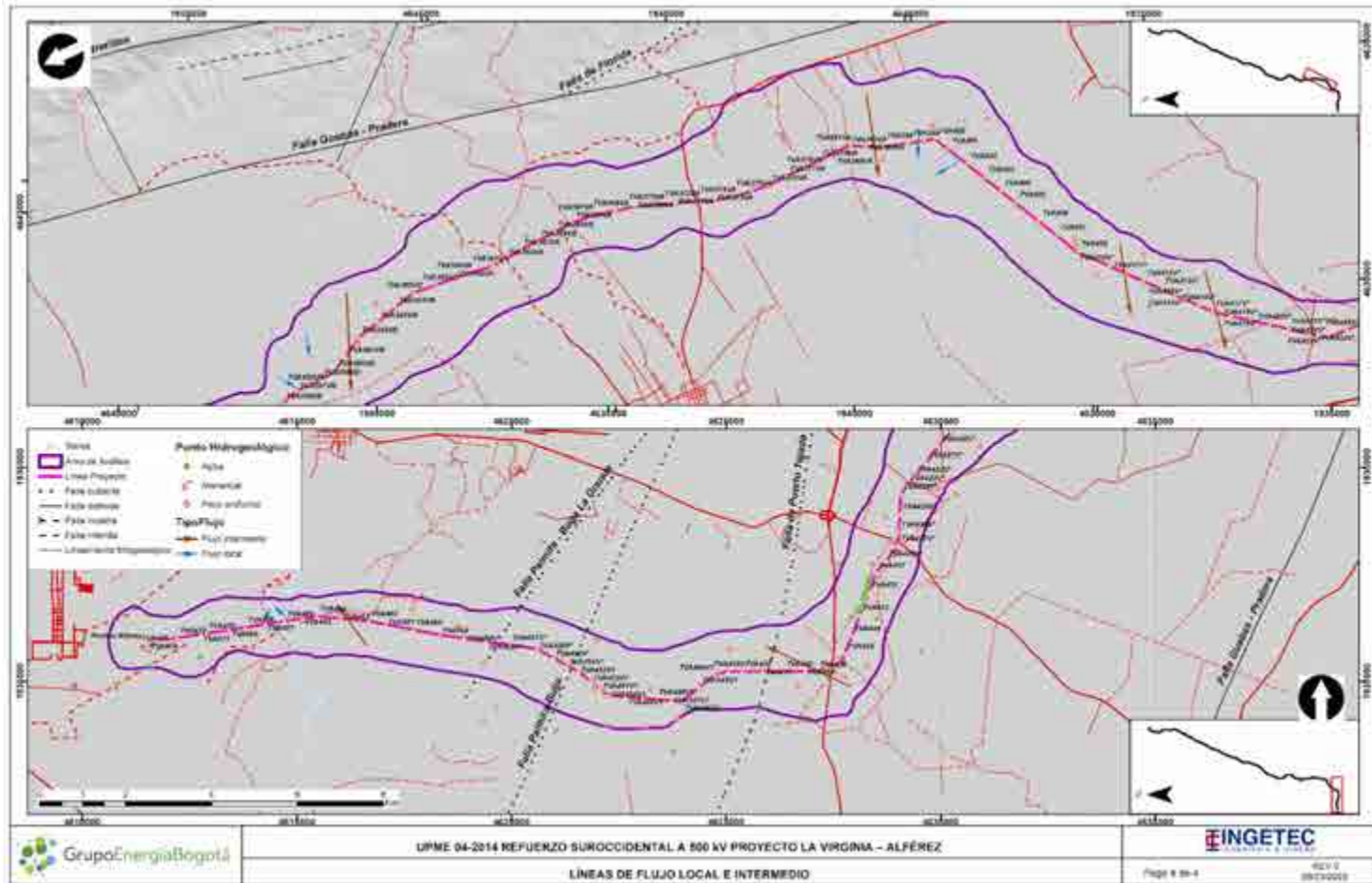


Figura 31. Direcciones de Flujo en el área de caracterización hidrogeológica.



#### 5.1.9.7 Dinámica hidrogeológica

El área de caracterización hidrogeológica del Proyecto Subestación La Virginia – Alférez a 500 kV y líneas de transmisión asociadas comprende un segmento de la cuenca del río Cauca, específicamente el valle en su parte sur y parte del flanco oriental de la cordillera central en la parte media y norte del trazado.

Los depósitos aluviales hidrogeológicamente constituyen las litologías con mayor potencial de almacenamiento de aguas subterráneas, el cual está relacionado a la porosidad primaria presente en estos materiales, en segundo lugar se encuentran las rocas sedimentarias y metamórficas las cuales debido al fracturamiento por procesos de meteorización mecánica y por fracturamiento aumentan las capacidad acuífera con el desarrollo de porosidad secundaria.

Considerando el valle del río Cauca, como una cuenca hidrogeológica cerrada, el agua lluvia constituye la principal fuente de recarga de los acuíferos identificados. Ésta al caer sobre el área de la cuenca se convierte en una recarga de tipo local, que se da desde las zonas de mayor altura a las zonas bajas. Una parte del agua infiltrada se mueve sub-superficialmente es decir a pocos metros de la superficie topográfica, como respuesta a lluvias fuertes. Es común en los acuíferos superficiales relacionados a depósitos cuaternarios de tipo aluvial y coluvio - aluvial, en los cuales se mueve rápido el agua debido a la porosidad y permeabilidad de esta unidad y su descarga se da principalmente hacia los sistemas de aguas superficiales como quebradas secundarias y finalmente al río Cauca.

El gradiente generalizado de flujo dentro de la zona de interés sigue la conformación topográfica y estructural del sistema, orientando el movimiento del agua subterránea desde las zonas altas hasta las zonas bajas. Los flujos subterráneos tienen carácter local y están típicamente orientados en dirección paralela a la superficie del terreno que es controlada estructuralmente (laderas estructurales) en sentido descendente, permitiendo establecer que las zonas de recarga se dan en las partes altas y las de descarga en las zonas bajas, siendo las líneas de flujo subterráneo dirigidas en dirección a las corrientes secundarias y de allí en dirección al río Cauca que es el nivel base de la zona de estudio.

En este contexto y considerando que el sello o capa impermeable del sistema hidrogeológico a nivel regional es el basamento ígneo-metamórfico de afinidad oceánica en la zona de estudio, no se presentan flujos de carácter regional, lo cual se relaciona con el bajo nivel de aporte de las subcuencas vecinas (fuera de las fronteras físicas definidas y relacionadas con la divisoria de aguas de la cordillera central), dada la configuración geológica-estructural donde se enmarca el estudio. Esto es indicativo también de que, la

recarga preferencial sobre los sistemas acuíferos se hace a través de procesos de infiltración, siendo éstos los que gobiernan las variaciones de niveles freáticos que se pueden dar en la zona de estudio.

#### 5.1.9.8 Conclusiones

- De acuerdo a la información secundaria obtenida de fuentes oficiales y privados en el área de estudio, se realizó la verificación y actualización del inventario de puntos de agua subterránea a lo largo del trazado de la línea de transmisión, donde se concluye que los depósitos de origen aluvial son objeto del mayor aprovechamiento del recurso agua a manera de pozos y aljibes. A la vez, la mayor presencia de manantiales se relaciona a las rocas sedimentarias de la formación Cinta de Piedra y formaciones ígneo-metamórficas Macizo Ofiolítico de Ginebra y Batolito de Buga. La síntesis del producto de las labores de caracterización e inventario de puntos de agua se presenta en Tabla 15 y Tabla 16.

Tabla 15. Resumen total puntos de agua subterránea

UNIDAD GEOLÓGICA	POZOS SUBTERRÁNEOS	ALJIBES	**	POZOS ABANDONADOS
<b>TOTALES</b>	51	68	76	13

Tabla 16. Resumen inventario de puntos de agua por unidad geológica.

UNIDAD GEOLÓGICA	POZOS SUBTERRÁNEOS	ALJIBES	NACIMIENTOS (Manantiales)	POZOS ABANDONADOS
DEPÓSITOS ALUVIALES	4	12	2	1
CONOS ALUVIALES	17	4	11	1
DEPÓSITOS DE TERRAZA	28	40	3	11
DEPÓSITOS DE DERRUBIO			1	
DEPÓSITOS DE CENIZA			1	
FORMACIÓN LA PAILA		6	6	
FORMACIÓN LA POBREZA	1	1		
FORMACIÓN CINTA DE PIEDRA	1	5	21	
MACIZO OFIOLÍTICO DE GINEBRA			23	
BATOLITO DE BUGA			8	
<b>TOTALES</b>	51	68	76	13

- Las principales zonas de recarga de a lo largo de la zona de caracterización hidrogeológica se localizan en:
  - (1) El sistema de fallas geológicas de las cordilleras Central y Occidental

- (2) Los conos aluviales de los ríos Cauca y sus tributarios
  - (3) Los cauces de los ríos tributarios y
  - (4) La infiltración directa de la lluvia sobre toda la zona restante.
- Su principal zona de descarga es el río Cauca en toda su longitud.
  - En general, el área de caracterización es considerada predominantemente como una zona de tránsito de aguas subterráneas a nivel regional.
  - Para el Proyecto Subestación La Virginia – Alférez a 500 kV y líneas de transmisión asociados, a nivel del componente hidrogeológico, no se evidencian afectaciones directas en el recurso de aguas subterráneas. Lo anterior debido a la naturaleza del proyecto y la profundidad de intervención (zonas de cimentación de torres), que está asociada directamente a los niveles de suelos, depósitos y rocas meteorizadas, relacionada directamente a la zona aireada o vadosa en rocas con capacidad de almacenamiento y tránsito de aguas subterráneas. De acuerdo al inventario de puntos de agua (aljibes, pozos, piezómetros y manantiales) se evidenció la inexistencia de infraestructura superficial dentro de la zona de protección hídrica (<100m de radio de las torres eléctricas), lo cual permite concluir, a partir del análisis del estado actual (línea base) de la dinámica hidrogeológica, que ésta no será modificada con el desarrollo del proyecto eléctrico.

#### 5.1.9.9 Referencias

Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry. Groundwater and pollution*, 536.

Arkles, J. S., Opotowsky, A. R., Ojeda, J., Rogers, F., Liu, T., Prassana, V., ... & Forfia, P. R. (2011). Shape of the right ventricular Doppler envelope predicts hemodynamics and right heart function in pulmonary hypertension. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 183(2), 268-276.

Castany, G., & Juliá, J. R. (1975). *Prospección y explotación de las aguas subterráneas* (No. 551.49 C3).

Consultoría Colombiana S.A. (2018). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto La Virginia - Alférez. Refuerzo Suroccidental a 500 kV. Capítulo 3 Caracterización del Área de influencia del Proyecto - Numeral 3.2.7. Hidrogeología.*

---

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2020). Geoportal avanzado - agua, captaciones y vertimientos. Tomado de: <https://geo.cvc.gov.co/mapas/agua/7/>

Custodio, E., Llamas, M. R., & Sahuquillo Herráiz, A. (1983). Estudio del aislamiento de residuos radioactivos en formaciones geológicas profundas: posibles actuaciones en España.

Custodio, E., & Llamas, M. R. (1996). Hidrología subterránea (corr.). Barcelona: Ed. Omega.

Goyenola, G. (2007). Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. Obtenido en <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>

IDEAM, 2014. Estudio Nacional de Agua. Bogotá, D. C.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. Bogotá D.C. 2018.

UNESCO, 1983. Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos.

0	Junio 2022			
<b>Versión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 <b>Grupo Energía Bogotá</b> <b>UPME 04-2014 REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 kV</b> <b>PROYECTO LA VIRGINIA – ALFÉREZ</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>				
<b>Capítulo 5.1 MEDIO ABIÓTICO (NUMERAL 5.1.10)</b> 				
<b>ESCALA</b> <b>SIN</b>	<b>FORMATO</b> <b>Carta</b>	CÓDIGO GEB: <b>EEB-U414-CT102150-L380-HSE-2006</b>		
		CÓDIGO CONTRATISTA: <b>04517.01-INF-LL-EAMB-CAP5.1.10-0011</b>		

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>4</b>
<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>9</b>
<b>2. GENERALIDADES</b>	<b>9</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>9</b>
<b>4. ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>9</b>
<b>5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>10</b>
5.1. MEDIO ABIÓTICO	10
5.1.10. Geotecnia	10
5.1.10.1. Localización de exploraciones geotécnicas	10
5.1.10.2. Metodología de caracterización y zonificación geotécnica	22
5.1.10.3. Caracterización geotécnica	23
5.1.10.3.1. Unidades geológicas Qt, Qca, Qal y Qd (Depósitos aluviales, conos aluviales y Depósitos de Terraza, Depósitos de derrubio)	23
5.1.10.3.2. Unidad geológica Qto (Depósitos de flujos de lodo y cenizas recientes)	30
5.1.10.3.3. Unidad geológica TPz (Formación Zarzal)	33
5.1.10.3.4. Unidad geológica Tmpo (Formación La Pobreza)	36
5.1.10.3.5. Unidad geológica Tmp (Formación La Paila)	38
5.1.10.3.6. Unidad geológica Tcpc (Formación Cinta de Piedra)	45
5.1.10.3.7. Unidad geológica Kcd-t (Batolito de Buga)	50
5.1.10.3.8. Unidad geológica Jkoga (Macizo Ofiolítico de Ginebra)	55
5.1.10.3.9. Condiciones especiales del subsuelo	61
5.1.10.3.10. Resistividad eléctrica y pH	63
5.1.10.4. Zonificación geotécnica	65
5.1.10.4.1. Parámetro Material (M)	66
5.1.10.4.2. Parámetro Relieve (R)	67
5.1.10.4.3. Parámetro Drenaje (D)	69
5.1.10.4.4. Parámetro Erosión (E)	70
5.1.10.4.5. Parámetro Clima (C)	71
5.1.10.4.6. Parámetro Procesos de remoción en masa (F)	71



---

5.1.10.4.7. Parámetro de vegetación (V)	72
5.1.10.4.8. Parámetro de amenaza sísmica (A)	74
5.1.10.4.9. Calificación de estabilidad (CE):	75
5.1.10.5. Análisis y recomendaciones geotécnicas	77
5.1.10.5.1. Tipo de cimentación	77
5.1.10.5.2. Capacidad Portante	78
5.1.10.5.3. Estabilidad de taludes temporales	78
5.1.10.6. Conclusiones	79
5.1.10.7. Referencias	79

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Localización de exploraciones geotécnicas Origen Único Nacional.
- Tabla 2. Localización de exploraciones geotécnicas ejecutadas por INGETEC Origen Único Nacional.
- Tabla 3. Localización de exploraciones geotécnicas referencia Origen Único Nacional.
- Tabla 4. Exploraciones de referencia.
- Tabla 5. Torres sin perforación
- Tabla 6. Torres asociadas a las zonas Qt, Qca, Qal y Qd y su respectivo comportamiento.
- Tabla 7. Parámetros geotécnicos de las unidades geológicas Qt, Qca y Qal.
- Tabla 8. Torres asociadas a la zona Qto y su respectivo comportamiento.
- Tabla 9. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Qto.
- Tabla 10. Torres asociadas a la zona TPz y su respectivo comportamiento.
- Tabla 11. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica TPz.
- Tabla 12. Perforaciones asociadas a la zona Tmpo y su respectivo comportamiento.
- Tabla 13. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Tmpo.
- Tabla 14. Torres asociadas a la zona TMp y su respectivo comportamiento.
- Tabla 15. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica TMp.
- Tabla 16. Torres asociadas a la zona Ttcp y su respectivo comportamiento.
- Tabla 17. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Ttcp.
- Tabla 18. Torres asociadas a la zona Kcd-t y su respectivo comportamiento.
- Tabla 19. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Kcd-t.
- Tabla 20. Torres asociadas a la zona Jkoga y su respectivo comportamiento.
- Tabla 21. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Jkoga.
- Tabla 22. Potencial de expansión por Unidad Geológica.

- 
- Tabla 23. Resultados de resistividad eléctrica por unidad geológica.
- Tabla 24. Valores de pH por unidad geológica.
- Tabla 25. Clasificación de suelos residuales.
- Tabla 26. Clasificación de suelos transportados.
- Tabla 27. Calificación parámetro material - suelos residuales.
- Tabla 28. Calificación parámetro material - suelos transportados.
- Tabla 29. Áreas por tipo de calificación - parámetro material
- Tabla 30. Clasificación de pendientes.
- Tabla 31. Clasificación de morfología del terreno.
- Tabla 32. Calificación parámetro relieve.
- Tabla 33. Áreas por tipo de calificación - parámetro relieve
- Tabla 34. Parámetro de drenaje.
- Tabla 35. Áreas por densidad de drenaje baja - parámetro drenaje
- Tabla 36. Áreas por densidad de drenaje media - parámetro drenaje
- Tabla 37. Áreas por densidad de drenaje alta - parámetro drenaje
- Tabla 38. Parámetro de erosión.
- Tabla 39. Área por tipo de calificación - parámetro erosión
- Tabla 40. Clasificación de las precipitaciones medias anuales.
- Tabla 41. Áreas por tipo de precipitación - parámetro clima
- Tabla 42. Calificación de la participación de procesos de remoción en masa.
- Tabla 43. Área por tipo de calificación - parámetro amenaza sísmica
- Tabla 44. Calificación de la vegetación.
- Tabla 45. Reclasificación de tipo de vegetación.
- Tabla 46. Reclasificación de pendientes.
- Tabla 47. Áreas por vegetación (Rastrojo alto) - parámetro vegetal
-

Tabla 48. Áreas por vegetación (Rastrojo bajo) - parámetro vegetal

Tabla 49. Calificación de la amenaza sísmica.

Tabla 50. Área por tipo de calificación - parámetro amenaza sísmica

Tabla 51. Categorías de estabilidad

Tabla 52. Resultados de inestabilidad

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para las unidades geológicas Qt, Qca y Qal. Comportamiento cohesivo.

Figura 2. Resultados de STP y Peso Unitario para las unidades geológicas Qt, Qca y Qal. Comportamiento cohesivo.

Figura 3. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para las unidades geológicas Qt, Qca y Qal. Comportamiento granular.

Figura 4. Resultados de STP y Peso Unitario para las unidades geológicas Qt, Qca y Qal. Comportamiento granular.

Figura 5. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Qto.

Figura 6. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Qto.

Figura 7. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica TPz.

Figura 8. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica TPz.

Figura 9. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Tmpo.

Figura 10. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Tmpo.

Figura 11. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica TMp. Comportamiento cohesivo.

Figura 12. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica TMp. Comportamiento cohesivo.

Figura 13. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica TMp. Comportamiento granular.

Figura 14. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica TMp. Comportamiento granular.

Figura 15. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Tocp. Comportamiento cohesivo.

Figura 16. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Tocp. Comportamiento cohesivo.

Figura 17. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Tcpc. Comportamiento granular.

Figura 18. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Tcpc. Comportamiento granular.

Figura 19. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Kcd-t. Comportamiento cohesivo.

Figura 20. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Kcd-t. Comportamiento cohesivo.

Figura 21. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Kcd-t. Comportamiento granular

Figura 22. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Kcd-t. Comportamiento granular.

Figura 23. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Jkoga. Comportamiento cohesivo.

Figura 24. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Jkoga. Comportamiento cohesivo.

Figura 25. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Jkoga. Comportamiento granular.

Figura 26. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Jkoga. Comportamiento granular.

Figura 27. Análisis de movilidad cíclica en la zona de estudio.



## **LISTA DE ANEXOS**

- Anexo D8.1. Registros de campo
- Anexo D8.2. Resultados de laboratorio
- Anexo D8.3. Análisis potencial de licuación
- Anexo D8.4. Análisis de capacidad portante
- Anexo D8.5. Mapa de zonificación geotécnica

## 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

### 5.1. MEDIO ABIÓTICO

#### 5.1.10. Geotecnia

Como parte del alcance del componente geotécnico de este estudio, se realiza la caracterización, la zonificación geotécnica, el análisis de condiciones especiales del suelo y las respectivas recomendaciones geotécnicas de la Línea de transmisión asociada al proyecto denominado UPME 04-2014 Refuerzo suroccidental a 500 kV, Proyecto La Virginia - Alférez.

Se contempla la construcción y operación de una línea de transmisión eléctrica a 500 kilovoltios (kV) entre las subestaciones existentes de La Virginia en Pereira y Alférez en Cali, esta línea de transmisión está conformada por 433 torres y dos pórticos (Pórtico Virginia y Pórtico Alferez). Este capítulo describe las actividades y metodología utilizada para realizar la caracterización geotécnica y los respectivos análisis y recomendaciones geotécnicas del proyecto.

La caracterización se realiza a partir de la información generada por CONCOL (Consultoría Colombiana) en el año 2019 y las perforaciones ejecutadas por INGETEC en el año 2022.

Cabe señalar que el área de influencia del componente abiótico es diferente al área de influencia del componente geotécnico, puesto que esta última corresponde al área de servidumbre del proyecto y con esta se realizó la caracterización y zonificación geotécnica.

En el Anexo D8.1 se presentan los registros de ejecución de las exploraciones geotécnicas y en el Anexo D8.2 los resultados de los ensayos de laboratorio.

##### 5.1.10.1. Localización de exploraciones geotécnicas

Para la caracterización geotécnica del suelo en la línea de transmisión se toma la información de la campaña de exploración realizada por la empresa CONCOL en el año 2019 la cual tiene en cuenta 319 perforaciones dentro de las cuales se encuentran

apiques y barrenos manuales que varían de 3,00 a 6,00 m de profundidad. Para las muestras extraídas de estas perforaciones se ejecutaron ensayos de penetración estándar SPT y se extrajeron muestras de suelo para la ejecución de ensayos de laboratorio. A continuación, se presentan las coordenadas de localización para las exploraciones ejecutadas.

Es importante tener en cuenta que las exploraciones se realizaron con el objetivo de caracterizar geotécnicamente la zona de estudio y generar zonas homogéneas con el mismo comportamiento geotécnico. Por lo tanto, las perforaciones no se encuentran relacionadas o ubicadas específicamente en cada sitio de torre del trazado presentado en este estudio. El ID corresponde al nombre de la perforación, el cual está asociado a los registros de perforación y ensayos de laboratorio.

Tabla 1. Localización de exploraciones geotécnicas Origen Único Nacional.

Exploración	Coordenadas		Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Nacional			Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte		Este	Norte
TVA002	4683682,41	2094597,84	TVA214	4653923,67	2015186,84
TVA012	4680484,20	2091161,58	TVA215	4653755,99	2014986,32
TVA013	4680266,70	2090774,39	TVA216	4653488,75	2014415,94
TVA027	4679759,21	2085220,34	TVA217	4653162,55	2013853,75
TVA028	4680111,30	2084989,63	TVA218	4652819,74	2013250,24
TVA029	4680789,37	2084571,47	TVA219N	4652810,26	2012589,00
TVA030	4681043,85	2084406,01	TVA220	4652813,75	2011833,85
TVA031	4681172,32	2084181,11	TVA221	4652816,65	2011210,95
TVA032	4681627,08	2083413,85	TVA222	4652834,18	2010832,00
TVA033	4681799,13	2083122,29	TVA223	4652827,50	2010259,80
TVA034	4681930,19	2082878,46	TVA224	4652826,43	2009756,98
TVA035	4681894,77	2082419,60	TVA225	4652780,53	2009213,84
TVA036	4681859,90	2081986,18	TVA226	4652756,29	2008693,29
TVA037	4681809,31	2081211,51	TVA227	4652598,49	2008201,80
TVA038	4681811,78	2080868,98	TVA228	4652382,87	2007474,41
TVA039	4681822,15	2080584,83	TVA229	4652283,27	2007034,82
TVA040	4681837,97	2080169,67	TVA230	4652140,51	2006440,13
TVA041	4681871,62	2079257,25	TVA231	4652053,11	2006022,52
TVA042	4681800,18	2078620,74	TVA232	4651731,38	2005351,08
TVA043	4681720,80	2077780,03	TVA233N	4651623,57	2005116,67

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Nacional	
	Este	Norte
TVA044	4681684,30	2077458,69
TVA045	4681590,37	2076640,94
TVA046	4681559,20	2076346,46
TVA047	4681667,22	2075566,05
TVA048	4681741,77	2075011,69
TVA049	4681897,35	2074237,30
TVA050	4682050,97	2073472,86
TVA051	4682166,32	2072573,84
TVA052	4682033,48	2072336,51
TVA053	4681670,46	2071675,41
TVA054	4681437,19	2071280,07
TVA055N	4681329,79	2070939,54
TVA056	4681183,75	2070513,52
TVA057	4680797,81	2069977,08
TVA058	4680961,66	2068987,80
TVA059	4680685,75	2068650,93
TVA060	4680346,41	2068244,51
TVA061	4679941,06	2067740,33
TVA062	4679707,03	2067436,92
TVA063	4679341,58	2066977,06
TVA064	4679086,59	2066459,87
TVA065	4678832,43	2065955,08
TVA066N	4678725,57	2065475,58
TVA067	4678613,28	2065023,32
TVA068VN	4678442,51	2064661,12
TVA069V	4678291,51	2064329,27
TVA070	4678238,52	2063991,16
TVA071V	4677645,31	2063218,11
TVA072V	4676956,22	2062594,37
TVA073V	4676504,10	2062206,20
TVA074VV	4676146,72	2061495,58
TVA075V	4676023,95	2061254,89

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA234	4651374,11	2004634,28
TVA235	4651120,65	2004088,49
TVA236	4650974,45	2003783,86
TVA237	4650831,51	2003341,77
TVA238	4650666,65	2002894,02
TVA239N	4650415,38	2002112,63
TVA240N	4650210,19	2001465,39
TVA241N	4649874,00	2000477,82
TVA242	4649806,42	2000273,15
TVA243N	4649382,78	1999633,72
TVA244	4648940,05	1999003,99
TVA245	4648762,86	1998733,11
TVA246	4648565,64	1998453,23
TVA247N	4648445,35	1998266,89
TVA248	4648162,56	1997847,47
TVA249NV	4647963,93	1997577,77
TVA250N	4647653,67	1997124,37
TVA251	4647358,95	1996666,35
TVA252	4647015,51	1996166,60
TVA253N	4646827,09	1995896,41
TVA254	4646444,67	1995291,56
TVA255	4646138,74	1994810,57
TVA256	4646058,67	1994651,31
TVA257	4645610,43	1993895,53
TVA258	4645415,25	1993543,59
TVA259N	4645320,15	1993381,27
TVA260N	4645237,92	1992629,63
TVA261	4645172,96	1992236,13
TVA262	4645120,71	1991856,65
TVA263NV	4645056,51	1991374,17
TVA264	4644876,81	1991146,67
TVA265NV	4644544,54	1990741,08

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Nacional	
	Este	Norte
TVA076V	4675717,02	2060584,67
TVA077V	4675634,58	2060295,58
TVA078V	4675441,73	2059556,75
TVA079V	4675264,45	2058851,92
TVA080V	4675047,46	2058070,14
TVA082 - TVA110	4675006,86	2057917,07
TVA111	4674671,94	2057519,57
TVA112	4674199,33	2056958,88
TVA113	4673687,67	2056347,58
TVA114	4673094,51	2055639,65
TVA115	4672728,31	2055058,50
TVA116	4672598,02	2054882,55
TVA117	4672365,20	2054506,65
TVA118	4672161,93	2054216,60
TVA119	4671840,25	2053718,02
TVA120	4671518,10	2053248,43
TVA121	4671403,31	2052814,30
TVA122	4671300,40	2052384,42
TVA123	4671210,30	2052095,79
TVA124	4671117,71	2051742,33
TVA125	4670996,99	2051242,28
TVA126	4670803,66	2050553,20
TVA127	4670737,47	2050276,54
TVA128N	4670569,55	2049970,18
TVA129	4670324,60	2049477,37
TVA130N	4670197,71	2049239,67
TVA131N	4670016,30	2048917,87
TVA132	4669796,19	2048472,76
TVA133	4669612,89	2048126,62
TVA134	4669494,43	2047914,33
TVA135	4669321,56	2047591,84

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA266	4644142,56	1990242,02
TVA267	4644015,10	1990072,85
TVA268	4643696,76	1989691,83
TVA269	4643347,20	1989257,80
TVA270	4643068,46	1988916,03
TVA271	4643019,34	1988744,79
TVA272N	4642859,01	1988177,68
TVA273	4642760,33	1987891,54
TVA274	4642306,37	1987594,47
TVA275	4642107,10	1987457,89
TVA276N	4641520,23	1987056,85
TVA277	4641237,78	1986878,43
TVA278	4640860,38	1986611,50
TVA280	4640622,58	1986194,52
TVA281	4640510,85	1985636,96
TVA282	4640419,38	1985487,40
TVA283V	4640154,83	1985056,75
TVA284N	4640051,74	1984959,09
TVA285	4639587,33	1984527,25
TVA286	4639348,14	1984300,42
TVA287N	4639276,28	1984081,22
TVA289	4638903,30	1982993,77
TVA290	4638635,81	1982195,41
TVA291N	4638659,05	1981904,15
TVA292	4638730,70	1981248,70
TVA293	4638786,51	1980809,69
TVA299	4639554,01	1977534,29
TVA300	4640145,79	1976829,77
TVA301	4640385,30	1976546,01
TVA302	4640742,58	1976124,69
TVA303N	4641032,79	1975782,53

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Nacional	
	Este	Norte
TVA136	4669063,33	2047084,92
TVA137	4668889,02	2046763,42
TVA138N	4668630,91	2046262,91
TVA139	4668402,04	2045821,48
TVA140	4668268,68	2045550,71
TVA141	4668118,03	2045258,78
TVA142	4667749,61	2044556,56
TVA143	4667529,57	2044160,56
TVA144N	4667247,60	2043800,65
TVA145	4667019,86	2043508,02
TVA146	4666706,23	2043092,15
TVA147	4666417,28	2042716,89
TVA148	4666170,05	2042410,29
TVA149	4665900,05	2042075,56
TVA150	4665564,28	2041623,59
TVA151	4665358,76	2041361,97
TVA152	4665176,50	2041029,43
TVA153	4665030,72	2040763,90
TVA154	4664923,16	2040533,09
TVA155	4664785,32	2040280,81
TVA156N	4664769,66	2040003,38
TVA157	4664711,50	2039544,86
TVA158	4664682,50	2039263,38
TVA159	4664620,88	2038544,65
TVA160	4664590,62	2038229,20
TVA161	4664514,86	2037585,43
TVA162	4664420,31	2037357,42
TVA163	4664201,66	2036865,48
TVA164	4664038,95	2036535,73
TVA165	4663829,88	2036053,25
TVA166	4663724,53	2035818,99
TVA167	4663457,03	2035225,76

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA304	4641226,93	1975553,28
TVA305N	4641678,12	1975332,26
TVA306	4641892,12	1975213,06
TVA307N	4641949,48	1974671,68
TVA308N	4641965,45	1974330,10
TVA309N	4642000,39	1973917,63
TVA310N	4642002,63	1973439,54
TVA311	4642008,30	1973108,07
TVA312	4641979,49	1972226,50
TVA313	4641966,72	1971869,53
TVA314	4641898,37	1971661,29
TVA315	4641684,62	1970975,38
TVA316	4641932,41	1970606,17
TVA317	4642048,73	1970433,33
TVA318	4642555,56	1969732,18
TVA319N	4642722,57	1969495,29
TVA320	4642799,92	1969364,54
TVA321N	4642896,72	1969019,02
TVA322N	4642995,21	1968680,13
TVA323N	4643067,33	1967691,52
TVA324N	4643102,69	1967263,55
TVA325N	4643107,14	1967112,26
TVA328N	4642994,08	1965113,27
TVA329	4642903,44	1964547,76
TVA330	4642825,88	1964129,50
TVA334	4642964,37	1962877,71
TVA335	4643036,84	1962529,52
TVA336	4643158,92	1962187,90
TVA337N	4643286,91	1961821,14
TVA338NN	4643531,48	1961126,51
TVA339	4643692,20	1960642,00
TVA345	4645025,78	1957983,77



Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Nacional	
	Este	Norte
TVA168	4663263,95	2034827,20
TVA169	4662989,59	2034210,11
TVA170	4662931,06	2034100,79
TVA171	4662647,47	2033623,70
TVA172	4662309,06	2033020,24
TVA173	4662134,95	2032758,03
TVA174	4661842,76	2032242,35
TVA175	4661484,50	2031650,36
TVA176	4661207,95	2031184,96
TVA177	4661027,63	2030896,00
TVA178	4660697,65	2030125,75
TVA179	4660520,23	2029757,43
TVA180	4660298,88	2029263,48
TVA181	4660118,84	2028853,34
TVA182	4659897,06	2028364,38
TVA183	4659700,55	2027918,12
TVA184	4659456,31	2027365,84
TVA185	4659298,62	2027015,13
TVA186	4659143,69	2026661,89
TVA187	4659029,25	2026375,20
TVA188	4658738,48	2025748,62
TVA189	4658667,87	2025588,02
TVA190	4658354,96	2024869,24
TVA191	4658175,61	2024465,84
TVA192	4657861,03	2023774,74
TVA193	4657704,49	2023402,12
TVA194	4657492,51	2022922,50
TVA196N	4657176,18	2022211,58
TVA198N	4657088,41	2021646,05
TVA199N	4657017,53	2021139,98
TVA200N	4656930,39	2020620,03
TVA201N	4656863,98	2020117,92

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA346N	4645381,60	1957833,01
TVA347N	4646040,51	1957558,14
TVA348N	4646435,75	1957392,97
TVA349	4646571,19	1957336,06
TVA350	4646683,23	1957198,45
TVA351	4646933,80	1956838,15
TVA352	4647178,41	1956488,82
TVA370	4647724,63	1948476,63
TVA371	4647488,16	1948291,86
TVA372	4646689,84	1947752,23
TVA373	4646281,59	1947573,80
TVA374N	4646178,77	1947453,42
TVA375	4646030,90	1947296,56
TVA377	4645181,80	1946384,39
TVA378N	4644999,74	1946177,85
TVA380	4644422,06	1945558,01
TVA381N	4644010,03	1945384,57
TVA385	4641806,62	1944485,77
TVA386	4641526,42	1944398,08
TVA387	4641189,74	1944281,71
TVA388	4640889,02	1944178,16
E1	4611470,04	1930676,20
E2	4611773,39	1930856,77
E3	4612808,39	1930626,68
E4	4617095,14	1932334,02
E5	4620118,18	1931326,36
E7	4628836,89	1933289,39
E11	4615984,56	1933565,88
E12	4617773,44	1935665,17
E14	4621482,61	1946481,45
E18	4621017,12	1940917,34
E22	4622351,88	1928753,61

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Nacional	
	Este	Norte
TVA202N	4656824,57	2019816,54
TVA203	4656754,98	2019382,39
TVA204	4656499,93	2018941,00
TVA205	4656342,22	2018670,07
TVA206	4656029,89	2018156,64
TVA207	4655779,99	2017724,19
TVA208	4655694,08	2017577,46
TVA209	4655463,90	2017160,43
TVA210	4655331,89	2016926,13
TVA211	4655099,20	2016663,69
TVA212	4654826,56	2016328,47
TVA213	4654513,94	2015939,75

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
E24	4614442,02	1931339,48
E25	4611461,41	1930967,92
P TVA288 y TVA294-TVA298	4639956,50	1978884,27
A TVA003	4683223,95	2094615,92
A TVA004	4682819,05	2094363,07
A TVA005	4682550,94	2094206,67
A TVA006	4682028,79	2094937,50
A TVA007	4683006,24	2093384,84
A TVA326-TVA327	4643056,78	1965418,15
A TVA340-TVA343	4644976,13	1958692,86
A TVA382	4643782,01	1945692,44

Fuente: GEB. (2019).

Adicionalmente, por parte de INGETEC se ejecutaron 138 barreros manuales, los cuales varían desde 0,50 m de profundidad hasta 6,0 m, lo anterior con el fin de realizar la caracterización del suelo en el área de estudio. En la Tabla 2 se presentan las coordenadas de las perforaciones ejecutadas y en el Anexo D8.1 se presentan los registros de perforación y resultados de laboratorio.

Tabla 2. Localización de exploraciones geotécnicas ejecutadas por INGETEC Origen Único Nacional.

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA009V*	4680849,47	2092763,73
TVA010V*	4680776,70	2092179,50
TVA011V*	4680749,86	2091627,99
TVA014	4680185,60	2090389,96
TVA017	4679927,75	2088870,51
TVA018	4679867,08	2088429,76

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA381VA	4637838,17	1942119,55
TVA383VA	4637634,54	1941751,69
TVA398	4637464,06	1941189,46
TVA399	4637361,22	1940850,25
TVA401	4636939,91	1940407,50
TVA402	4636422,36	1940161,82

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA019	4679810,42	2088018,12
TVA020	4679773,99	2087753,37
TVA021	4679539,40	2087446,56
TVA022	4679325,09	2087166,24
TVA023V	4679325,30	2086863,25
TVA024	4679325,55	2086510,73
TVA025V	4679247,19	2085971,97
TVA026V	4679232,03	2085610,05
TVA270V*	4641308,42	1987567,49
TVA315VB	4641680,86	1970972,34
TVA316VB	4641569,31	1970734,43
TVA317VB	4641450,39	1970407,84
TVA318VB	4641263,97	1970112,67
TVA322VB	4640052,53	1969535,54
TVA324VB	4639346,79	1969073,44
TVA327VB1	4639095,47	1968048,63
TVA328VC1	4639085,71	1967584,89
TVA329VC1	4639077,01	1967171,41
TVA330VC1	4638969,08	1966828,20
TVA332VC2	4638701,41	1965977,01
TVA333VC2	4638615,30	1965655,42
TVA334VC1	4638530,13	1965337,36
TVA335VC2	4638421,70	1964986,03
TVA336VC1	4638291,64	1964664,67
TVA337VC1	4637868,96	1964380,38
TVA338VC1	4637699,84	1963953,42
TVA339VC1	4637533,68	1963533,94
TVA340VC	4637408,95	1963219,06
TVA341VC	4637166,14	1962919,65

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA403	4635964,13	1939944,30
TVA404	4635512,11	1939729,72
TVA405	4635122,16	1939544,61
TVA406	4634499,64	1939249,10
TVA407	4634011,46	1939017,36
TVA408	4633452,27	1938751,91
TVA409V*	4633183,12	1938525,83
TVA410V*	4632837,72	1938235,73
TVA411V*	4632509,73	1937960,24
TVA412V*	4632167,57	1937672,84
TVA413V*	4631809,20	1937371,82
TVA419V*	4630256,67	1935845,08
TVA420V*	4629962,66	1935482,06
TVA421V*	4629667,98	1935118,23
TVA423V*	4629234,71	1934583,25
TVA424V*	4629078,34	1934390,18
TVA425V*	4629053,91	1933917,61
TVA426V*	4629032,32	1933499,93
TVA427V*	4629015,32	1933171,28
TVA428V*	4628728,65	1932819,13
TVA431	4628498,65	1932536,60
TVA432	4628325,40	1932086,97
TVA433	4628119,62	1931552,92
TVA434	4627932,21	1931066,56
TVA435	4627771,58	1930649,65
TVA436	4627670,34	1930386,90
TVA437	4627335,43	1930332,47
TVA438	4627134,82	1930231,13
TVA439	4626843,51	1930231,06

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA342VC	4637071,43	1962599,17
TVA343VC	4637180,93	1962324,54
TVA344VC	4637507,46	1962191,58
TVA345VC	4637867,17	1962045,10
TVA346VC1	4638151,89	1961728,86
TVA347VC1	4638455,19	1961295,53
TVA348VC1	4638645,17	1960854,81
TVA348VD	4638427,42	1960509,82
TVA349VC1	4638320,01	1960192,50
TVA350VC1	4638259,49	1959765,09
TVA351VC1	4638191,05	1959281,68
TVA352VC	4638209,04	1958801,26
TVA353VC	4638227,56	1958306,74
TVA354VC	4638244,46	1957855,67
TVA355VC	4638262,96	1957361,87
TVA356VB	4638375,17	1956965,24
TVA358VA	4639306,72	1952548,16
TVA359VA	4639253,43	1952072,64
TVA359VB	4638485,17	1955929,17
TVA360VA	4639214,60	1951728,80
TVA360VB	4638522,02	1955532,95
TVA361VB	4638698,84	1955187,18
TVA362VA	4639128,57	1950846,39
TVA362VB	4638987,44	1954699,11
TVA363VA	4639173,43	1950394,65
TVA363VB	4639098,79	1954145,06
TVA364VA	4639187,12	1949961,51

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA444V1	4624744,39	1930153,30
TVA445V1	4624384,81	1929854,88
TVA446V1	4623964,18	1929518,42
TVA447V1	4623726,47	1929540,59
TVA448V1	4623380,44	1929572,88
TVA448VA	4623063,23	1929600,49
TVA449V1	4622652,35	1929635,20
TVA450V1	4622253,91	1929671,76
TVA451V1	4622068,15	1929816,51
TVA452V1	4621844,84	1929996,74
TVA453V1	4621551,00	1930230,14
TVA454V*	4621292,94	1930372,20
TVA455V*	4620971,79	1930548,99
TVA456V*	4620590,37	1930758,96
TVA457V*	4619963,10	1930849,71
TVA458V*	4619405,36	1930930,42
TVA459	4618318,88	1931087,63
TVA459V*	4618894,31	1931004,37
TVA460	4617711,13	1931205,27
TVA461	4617069,21	1931329,53
TVA462	4616677,24	1931405,40
TVA463	4616022,95	1931469,51
TVA464	4615472,55	1931523,44
TVA465	4615126,34	1931468,94
TVA466	4614711,83	1931403,67
TVA467	4614259,27	1931332,41
TVA468	4613795,47	1931259,38

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA364VB	4639232,69	1953618,09
TVA365VA	4639201,58	1949503,93
TVA365VB	4639367,86	1953086,10
TVA378VA	4638008,90	1943248,65
TVA379VA	4638010,91	1942854,17

Exploración	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
TVA469	4613413,87	1931199,30
TVA470	4612893,57	1931117,37
TVA471	4612765,54	1931097,21
TVA472	4612227,88	1931003,99
TVA474	4611538,94	1930787,68
TVA475	4611335,15	1930850,31

Como complemento a la caracterización geotécnica hacia el final de la línea de transmisión, se utilizaron los resultados de la exploración geotécnica ejecutada por CONCOL como parte de los trabajos para el “Proyecto UPME-05-2009-Subestación Quimbo 230 kV y Líneas de Transmisión Asociadas” donde uno de los objetos era el diseño de la Línea de Transmisión Doble Circuito 230 kV Tesalia – Alférez y que se encuentra incluida en el documento “2-EEB-TESTES-CONCOL-2018-0 \_ Informe Estudio de Suelos y Geología de Detalle”. En el Anexo D8.1 se presentan los registros de perforación y en el Anexo D8.2 los resultados de laboratorio, los cuales aplican para el Tramo La Virginia - Alférez.

Tabla 3. Localización de exploraciones geotécnicas referencia Origen Único Nacional.

ID PERFORACIÓN	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
T359	4628055,28	1927498,20
T360	4627724,01	1927543,61
T362	4627038,98	1927762,86
T365	4625983,11	1928100,8
T366	4625595,22	1928224,94
T367	4625201,22	1928351,05
T368	4624899,17	1928447,72
T369	4624599,95	1928518,83
T374	4622454,07	1929028,73
T375	4622042,17	1929126,61

ID PERFORACIÓN	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
T386	4617549,81	1930064,10
T387	4617106,77	1930034,38
T388	4616665,06	1930004,75
T389	4616231,87	1929975,68
T390	4615767,68	1929944,54
T391	4615374,71	1929861,48
T392	4614948,13	1929771,32
T393	4614517,20	1929581,94
T394	4614272,04	1929541,51
T395	4613849,25	1929539,05

ID PERFORACIÓN	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
T376	4621678,80	1929212,96
T377	4621242,98	1929316,52
T378	4620793,95	1929423,22
T379	4620312,35	1929537,66
T380	4619945,36	1929624,87
T382	4619092,63	1929827,5
T383	4618712,19	1929917,9
T384	4618349,38	1930004,12
T385	4617976,47	1930092,72

ID PERFORACIÓN	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
T396	4613573,44	1929483,34
T397	4613193,81	1929406,63
T398	4612752,67	1929317,52
T399	4612277,79	1929221,57
T400	4611816,36	1929128,34
T401	4611722,75	1929171,01
T402	4611633,75	1929211,56
T408	4611414,94	1930955,60

Fuente: GEB. (2018).

Adicionalmente, se complementa esta información con datos secundarios de proyectos viales como “Nueva Malla Vial del Cauca Accesos Cali - Palmira Concesiones 5G” donde se encuentran una perforación ejecutada por la empresa Ingeniería y Construcción en el año 2018 y un apique cercano a la zona de estudio ejecutado por la empresa GEOFÍSICA S.A.S en el año 2018.

Tabla 4. Exploraciones de referencia.

ID PERFORACIÓN	Coordenadas	
	Magna Sirgas Origen Único Nacional	
	Este	Norte
C2-1	4609295,83	1929179,90
Apique 28	4609295,87	1929180,29

Fuente: Ingeniería y Construcción. (2018).

Dentro del esquema de perforación se tenía contemplado realizar una perforación por torre, no obstante este plan de exploraciones no pudo ser completado al no obtener permisos de ingreso por parte de los propietarios a las zonas de sitio de perforación. Sin embargo se cuenta con suficiente información de la totalidad de exploraciones ejecutadas para realizar la caracterización geotécnica completa del área de intervención. A continuación se muestran las torres que no cuentan con una perforación; estas corresponden al 18% del total de torres.



Tabla 5. Torres sin perforación

Número Torre	ID	Número Torre	ID
1	TVA001V*	284	TVA320VB1
3	TVA002A-V*	285	TVA321VB
4	TVA003V*	287	TVA323VB
5	TVA004V*	289	TVA325VB
6	TVA005V*	290	TVA326VB1
7	TVA006V*	295	TVA331VC2
8	TVA007V*	301	TVA337VC
9	TVA008V*	310	TVA346VC
10	TVA008V-A	311	TVA347VC
17	TVA015	312	TVA348VC
18	TVA016	322	TVA357VB1
53	TVA051	323	TVA358VB
223	TVA253V*	334	TVA361VA
224	TVA254V*	339	TVA366VA
225	TVA255V*	340	TVA367VA
226	TVA256V1	341	TVA368VA1
227	TVA257V**	342	TVA369VA1
228	TVA258V**	343	TVA371VA1
229	TVA259V*	344	TVA372VA
230	TVA260V*	345	TVA373VA
231	TVA261V*	346	TVA374VA
232	TVA262V*	347	TVA375VA
233	TVA263V*	348	TVA376VA
234	TVA264V*	349	TVA377VA
235	TVA265V*	350	TVA378VA
236	TVA266V*	353	TVA381VA
237	TVA267V*	358	TVA400
238	TVA268V*	372	TVA414V*
239	TVA269V**	373	TVA415V*
241	TVA271V*	374	TVA416V*
242	TVA272V*	375	TVA417V*
247	TVA283V	376	TVA418V*
252	TVA288	380	TVA422V*

Número Torre	ID
258	TVA294
259	TVA295
260	TVA296
261	TVA297
262	TVA298
283	TVA319VB

Número Torre	ID
396	TVA440
397	TVA441
398	TVA442
399	TVA443V
431	TVA473V

#### 5.1.10.2. Metodología de caracterización y zonificación geotécnica

La caracterización geotécnica permite definir modelos estratigráficos y establecer parámetros de diseño para ser empleados en los análisis geotécnicos. Los insumos para establecer dicha caracterización corresponden a la zonificación por unidades geológicas, los resultados de las investigaciones geotécnicas, información de referencia que exista en la zona de interés, ensayos de campo y laboratorio, correlaciones establecidas en la literatura técnica y parámetros geotécnicos típicos recomendados en la bibliografía de referencia para los tipos de material que se encuentran en la zona del proyecto.

A partir de las unidades geológicas, la localización de las perforaciones, los resultados de ensayos de campo y laboratorio, se realizó la zonificación y caracterización geotécnica del área de estudio. Se agruparon las perforaciones de acuerdo con cada unidad geológica, dentro de las cuales se determinó el comportamiento del material (Cohesivo o Granular), a partir del mismo se definieron subzonas dentro ciertas unidades geológicas.

Para determinar el comportamiento del suelo se tomó la metodología presentada por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NSR-10) Título H, el cual realiza las siguientes consideraciones:

- A partir de los resultados de granulometría realizados en los materiales, se determinan como suelos No Cohesivos o Granulares los materiales clasificados como GW, GP, GW-GM, GW-GC, GP-GC, SW, SP, SW-SM, SP-SM, SW-SC y SP-SC. Adicionalmente, todos los materiales clasificados como GM, GC, GM-GC, SM, SC, SM-SC, en los cuales el porcentaje de finos sea menor o igual al 30% y que tengan límite líquido LL menor o igual al 30% e índice plástico menor o igual al 10%.
- Se consideran como suelos cohesivos todos aquellos que no cumplan con las condiciones de suelos no cohesivos o granulares.

Se realizó un análisis de los resultados de campo y laboratorio para determinar la estratigrafía promedio de cada zona y subzona identificada en la zona de estudio. Por último, a partir de este análisis se asignaron parámetros de diseño para los suelos identificados dentro de cada zona y subzona, los cuales se nombran a continuación:

- Peso unitario ( $\gamma$ ),
- Humedad natural ( $\omega$ ),
- Índices de plasticidad (IP)
- Cohesión ( $c'$ ),
- Ángulo de fricción ( $\phi'$ ),
- Resistencia al corte no drenada ( $S_u$ ),
- Módulo de deformación Elástica ( $E_s$ ).

### 5.1.10.3. Caracterización geotécnica

La localización de las torres y las unidades geológicas asociadas en la zona de estudio se presentan en el Anexo D1.1. Análisis Geológico. En total se encuentran 11 unidades geológicas, (Qto, TPz, TMP, Ttcp, Tmpo, Kcd-t, Jkoga, Qal, Qca, Qt y Qd). A continuación se presenta la caracterización geotécnica de cada unidad geotécnica identificada.

#### 5.1.10.3.1. Unidades geológicas Qt, Qca, Qal y Qd (Depósitos aluviales, conos aluviales y Depósitos de Terraza, Depósitos de derrubio)

En la Tabla 6 se presentan las torres asociadas a esta unidad geológica y su respectivo comportamiento. De acuerdo con la descripción geológica de esta unidad, son depósitos heterogéneos en composición y textura, compuestos principalmente de cantos, guijarros y gravas con cantidades menores de arenas, limos y arcillas.

Tabla 6. Torres asociadas a las zonas Qt, Qca, Qal y Qd y su respectivo comportamiento.

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material	Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
Depósitos Qt, Qac, Qal y Qd	TVA152	COHESIVO	Depósitos Qt, Qac, Qal y Qd	TVA379VA	COHESIVO
	TVA153	COHESIVO		TVA380VA	COHESIVO
	TVA154	COHESIVO		TVA381VA	COHESIVO
	TVA155	COHESIVO		TVA382VA	COHESIVO
Depósitos Qt, Qac, Qal y Qd	TVA156N	COHESIVO	Depósitos Qt, Qac, Qal y Qd	TVA383VA	COHESIVO
	TVA211	COHESIVO		TVA398	COHESIVO
	TVA214	COHESIVO		TVA399	COHESIVO

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
	TVA215	COHESIVO
	TVA216	COHESIVO
	TVA217V*	COHESIVO
	TVA218	COHESIVO
	TVA223	COHESIVO
	TVA224	COHESIVO
	TVA225	COHESIVO
	TVA226	COHESIVO
	TVA268V*	COHESIVO
	TVA319VB	COHESIVO
	TVA320VB1	COHESIVO
	TVA321VB	COHESIVO
	TVA322VB	COHESIVO
	TVA323VB	COHESIVO
	TVA324VB	COHESIVO
	TVA325VB	COHESIVO
	TVA326VB1	COHESIVO
	TVA327VB1	COHESIVO
	TVA328VC1	COHESIVO
	TVA329VC1	COHESIVO
	TVA330VC2	COHESIVO
	TVA331VC2	COHESIVO
	TVA332VC1	GRANULAR
	TVA333VC1	GRANULAR
	TVA334VC1	GRANULAR
	TVA335VC2	GRANULAR
	TVA336VC1	GRANULAR
	TVA337VC1	GRANULAR
	TVA338VC1	GRANULAR
	TVA339VC1	COHESIVO
	TVA340VC	GRANULAR
	TVA341VC	COHESIVO
	TVA342VC	COHESIVO
	TVA343VC	COHESIVO
	TVA344VC	GRANULAR
	TVA345VC	GRANULAR
Depósitos Qt, Qac, Qal y Qd	TVA346VC	GRANULAR
	TVA347VC	GRANULAR
	TVA348VC2	GRANULAR

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
	TVA400	COHESIVO
	TVA401	COHESIVO
	TVA402	COHESIVO
	TVA403	GRANULAR
	TVA404	GRANULAR
	TVA405	GRANULAR
	TVA406	GRANULAR
	TVA407	GRANULAR
	TVA408	GRANULAR
	TVA409V*	GRANULAR
	TVA410V*	GRANULAR
	TVA411V*	GRANULAR
	TVA412V*	GRANULAR
	TVA413V*	GRANULAR
	TVA414V*	GRANULAR
	TVA415V*	GRANULAR
	TVA416V*	GRANULAR
	TVA417V*	GRANULAR
	TVA418V*	GRANULAR
	TVA419V*	GRANULAR
	TVA420V*	GRANULAR
	TVA421V*	GRANULAR
	TVA422V*	GRANULAR
	TVA423V*	GRANULAR
	TVA424V*	GRANULAR
	TVA425V*	GRANULAR
	TVA426V*	COHESIVO
	TVA427V*	COHESIVO
	TVA428V*	COHESIVO
	TVA431	GRANULAR
	TVA432	COHESIVO
	TVA433	GRANULAR
	TVA434	GRANULAR
	TVA435	GRANULAR
	TVA436	GRANULAR
	TVA437	GRANULAR
Depósitos Qt, Qac, Qal y Qd	TVA438	GRANULAR
	TVA439	GRANULAR
	TVA440	GRANULAR

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
	TVA348VD	GRANULAR
	TVA349VC1	GRANULAR
	TVA350VC1	GRANULAR
	TVA351VC1	COHESIVO
	TVA352VC	GRANULAR
	TVA353VC	GRANULAR
	TVA354VC	GRANULAR
	TVA355VC	GRANULAR
	TVA356VB	GRANULAR
	TVA357VB1	GRANULAR
	TVA358VB	COHESIVO
	TVA359VB	COHESIVO
	TVA360VB	COHESIVO
	TVA361VB	GRANULAR
	TVA362VB	GRANULAR
	TVA363VB	GRANULAR
	TVA364VB	COHESIVO
	TVA365VB	GRANULAR
	TVA358VA	GRANULAR
	TVA359VA	COHESIVO
	TVA360VA	GRANULAR
	TVA361VA	COHESIVO
	TVA362VA	GRANULAR
	TVA363VA	GRANULAR
	TVA364VA	GRANULAR
	TVA365VA	GRANULAR
	TVA366VA	GRANULAR
	TVA367VA	GRANULAR
	TVA368VA1	GRANULAR
	TVA369VA1	GRANULAR
	TVA371VA1	GRANULAR
	TVA372VA	GRANULAR
	TVA373VA	COHESIVO
	TVA374VA	COHESIVO
	TVA375VA	COHESIVO
	TVA376VA	COHESIVO
Depósitos Qt, Qac, Qal y Qd	TVA377VA	COHESIVO
	TVA378VA	COHESIVO

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
	TVA441	GRANULAR
	TVA442	GRANULAR
	TVA443V	GRANULAR
	TVA444V1	GRANULAR
	TVA445V1	GRANULAR
	TVA446V1	GRANULAR
	TVA447V1	GRANULAR
	TVA448V1	GRANULAR
	TVA448VA	GRANULAR
	TVA449V1	GRANULAR
	TVA450V1	GRANULAR
	TVA451V1	GRANULAR
	TVA452V1	GRANULAR
	TVA453V1	GRANULAR
	TVA454V*	GRANULAR
	TVA455V*	GRANULAR
	TVA456V*	GRANULAR
	TVA457V*	GRANULAR
	TVA458V*	GRANULAR
	TVA459V*	GRANULAR
	TVA459	GRANULAR
	TVA460	GRANULAR
	TVA461	GRANULAR
	TVA462	COHESIVO
	TVA463	GRANULAR
	TVA464	COHESIVO
	TVA465	GRANULAR
	TVA466V	COHESIVO
	TVA467	COHESIVO
	TVA468	GRANULAR
	TVA469	COHESIVO
	TVA470	GRANULAR
	TVA471	GRANULAR
	TVA472	COHESIVO
	TVA473V	COHESIVO
	TVA474	COHESIVO
Depósitos Qt, Qac, Qal y Qd	TVA475	COHESIVO

El 59% de las torres que se encuentran en esta unidad geológica están conformadas por materiales de comportamiento granular, el 41% restante se caracteriza por tener un comportamiento cohesivo. Por lo tanto, a continuación se realiza la caracterización de cada comportamiento.

- Comportamiento cohesivo

La mayor cantidad de finos en esta zona varía de 40 a 100% y la cantidad de arenas de 10 a 40%. La humedad natural varía de 10 a 60% con un valor promedio de 32% y el índice de plasticidad varía de 0 a 40% con un valor promedio de 19%, tal como se presenta en la Figura 1.

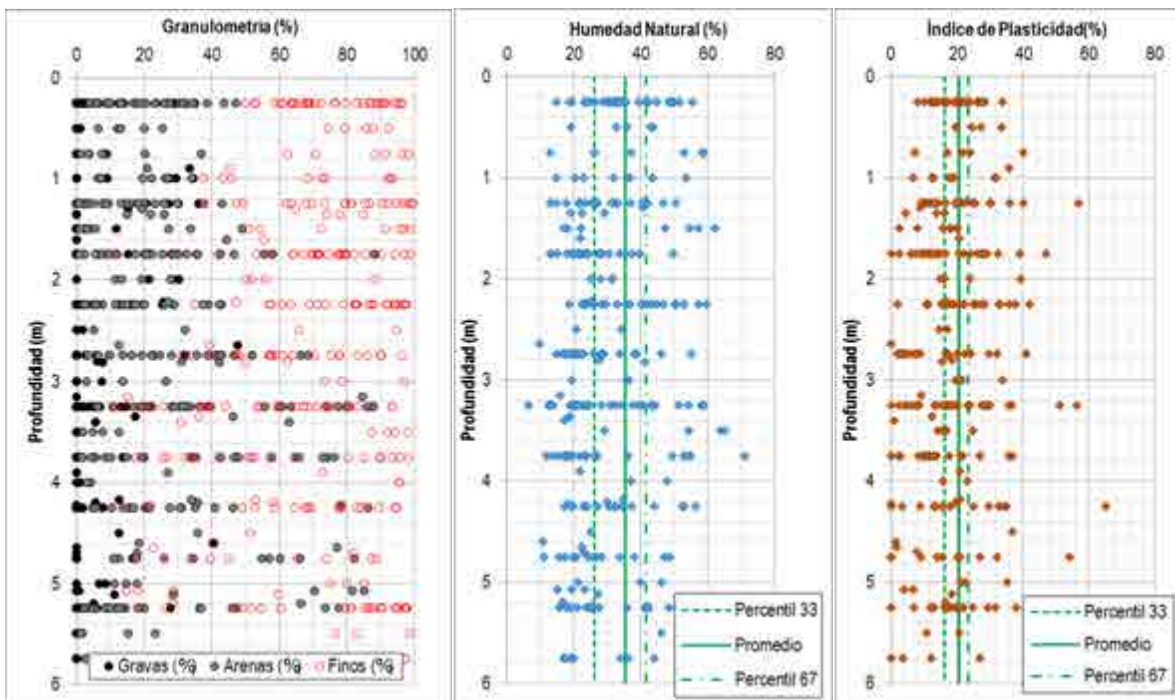


Figura 1. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para las unidades geológicas Qt, Qca y Qal. Comportamiento cohesivo.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 0 a 100. El peso unitario varía de 12,00 a 22,00 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 16,77 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 2.



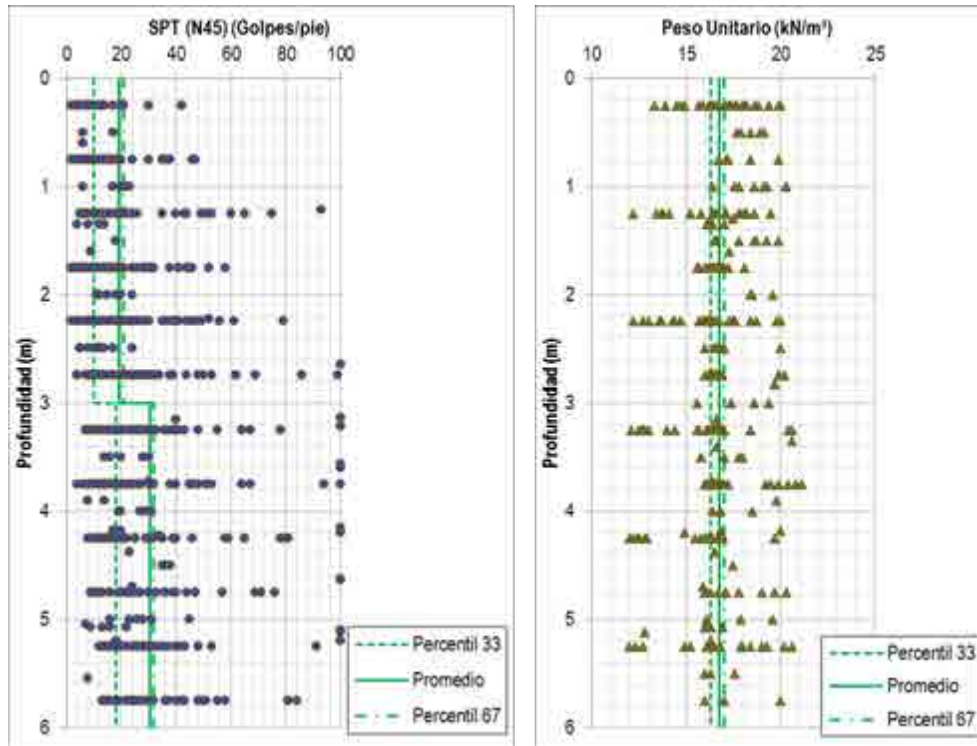


Figura 2. Resultados de STP y Peso Unitario para las unidades geológicas Qt, Qca y Qal. Comportamiento cohesivo.

- Comportamiento granular

La mayor cantidad de finos en esta zona varía de 10 a 65% y la cantidad de arenas de 30 a 80%. La humedad natural varía de 9 a 40% con un valor promedio de 22% y el índice de plasticidad varía de 0 a 30% con un valor promedio de 14%, tal como se presenta en la Figura 3.

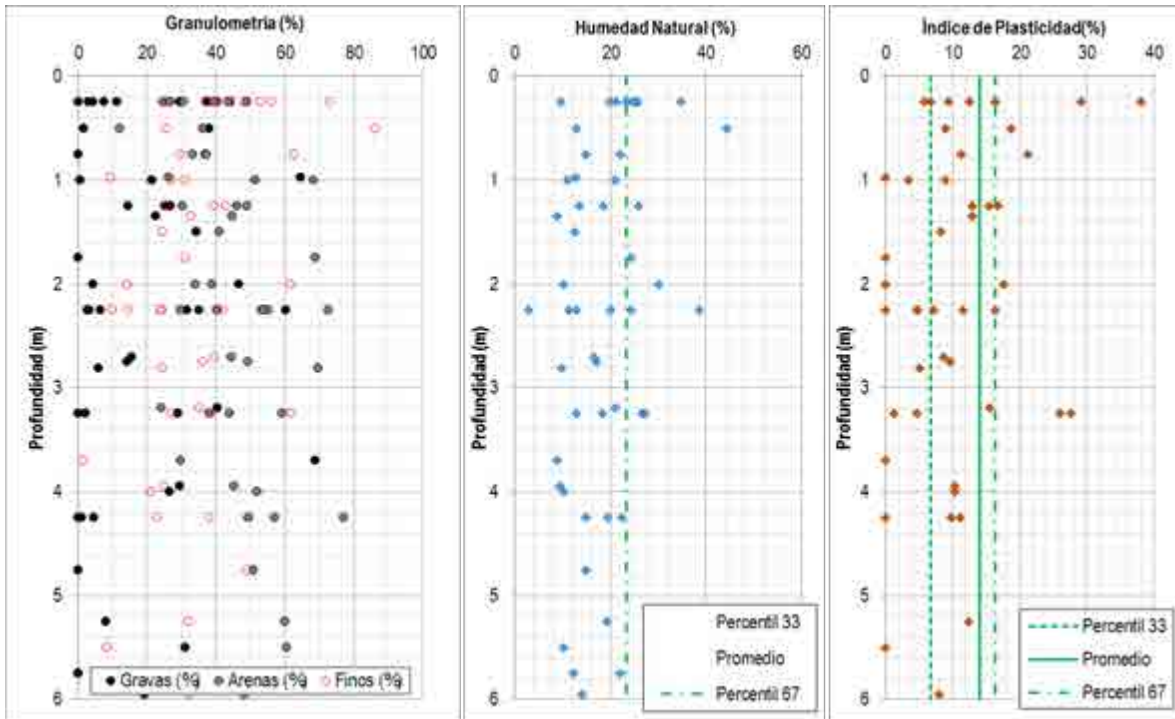


Figura 3. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para las unidades geológicas Qt, Qca y Qal. Comportamiento granular.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 2 a 100. El peso unitario varía de 15,00 a 23,00 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 19,15 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 4.

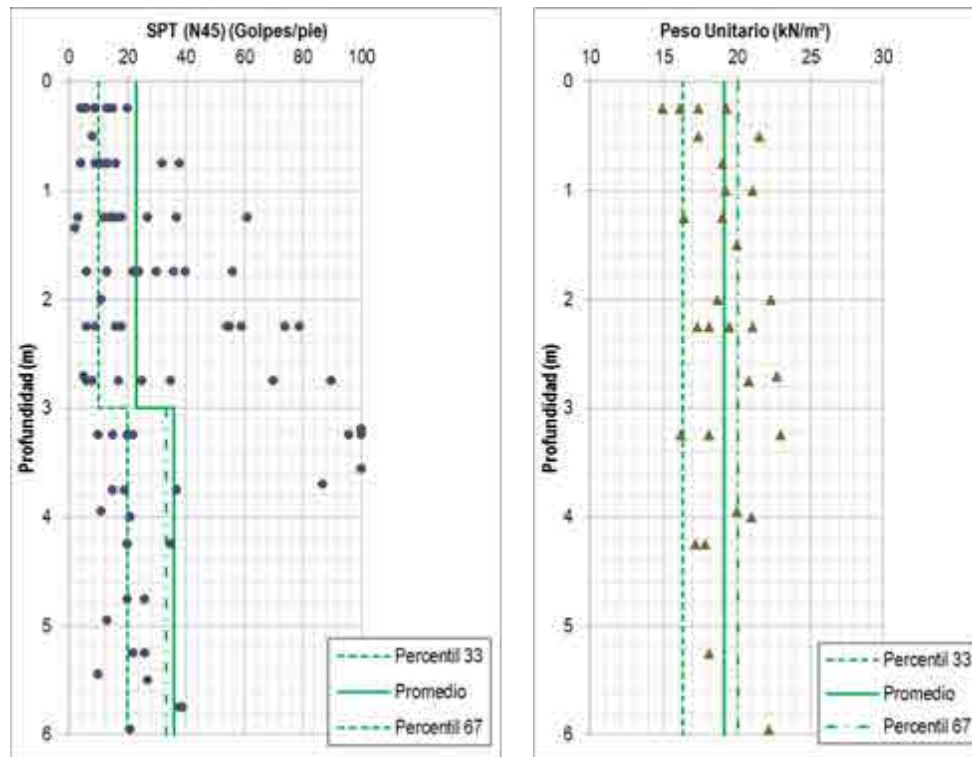


Figura 4. Resultados de STP y Peso Unitario para las unidades geológicas Qt, Qca y Qal. Comportamiento granular.

Los parámetros geotécnicos de la unidad geológica se tomaron a partir de la información presentada en el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferéz” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019 y la actualización realizada a los diseños en el año 2022, donde se toman los valores promedio de cada parámetro, estos parámetros se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros geotécnicos de las unidades geológicas Qt, Qca y Qal.

COMPORTAMIENTO	De (m)	A (m)	Ncampo (Golpes/pie)	Y (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	IP (%)	Su (kPa)	c' (kPa)	Φ' (°)
COHESIVO	0,00	6,00	23	16,77	32	19	61	31	28
GRANULAR	0,00	6,00	23	19,15	22	14	0	0	31

Donde,

N<sub>60</sub>: Valor resultado ensayo SPT.

Y: Peso unitario del suelo

Wn: Humedad natural  
 IP: Índice de plasticidad  
 Su: Resistencia al corte no drenada del suelo  
 c': Cohesión del suelo  
 $\phi$ : Ángulo de fricción del suelo  
 Es: Módulo de elasticidad del suelo

#### 5.1.10.3.2. Unidad geológica Qto (Depósitos de flujos de lodo y cenizas recientes)

En la Tabla 8 se presentan las torres asociadas a esta unidad geológica y su respectivo comportamiento. De acuerdo con la descripción geológica de esta unidad, se encuentra compuesta por rocas piroclásticas, ceniza, lapilli y fragmentos de rocas volcánicas, con presencia ocasional de bloques de litologías ígneas intrusivas y metamórficas.

Tabla 8. Torres asociadas a la zona Qto y su respectivo comportamiento.

Unidad Geológica	Torre	Comportamiento del Material
Qto Depósitos de flujos de lodo y cenizas recientes	TVA001V*	COHESIVO
	TVA002	COHESIVO
	TVA002A-V*	COHESIVO
	TVA003V*	COHESIVO
	TVA004V*	COHESIVO
	TVA005V*	COHESIVO
	TVA007V*	COHESIVO
	TVA008V*	COHESIVO
	TVA008V-A	COHESIVO
	TVA013	COHESIVO

Desde el punto de vista geotécnico, esta unidad está conformada por materiales de comportamiento cohesivo, donde la cantidad de finos en esta zona varía de 36 a 90% y la cantidad de arenas de 10 a 64%. La humedad natural varía de 12 a 80% con un promedio de 44% y el índice de plasticidad varía de 6 a 46%, tal como se presenta en la Figura 5.

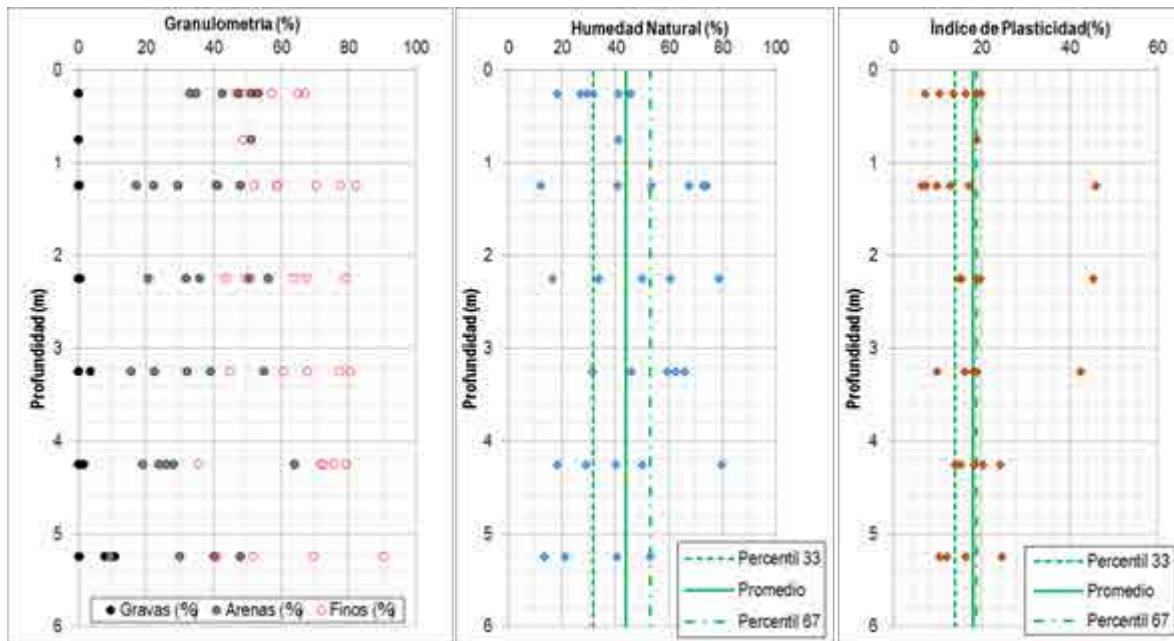


Figura 5. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Qto.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 4 a 100 hasta los 3,00 m de profundidad y de 9 a 40 entre los 3,00 y 6,00 m de profundidad. El peso unitario varía de 12,10 a 17,20 kN/m<sup>3</sup> con un promedio de 13,22 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 6.

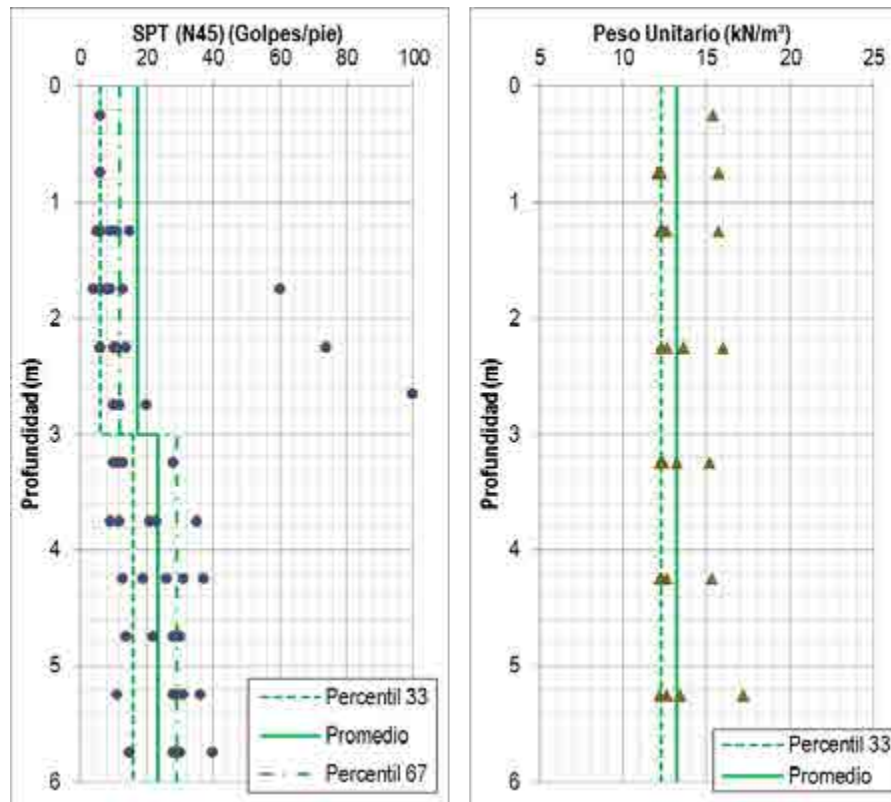


Figura 6. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Qto.

Los parámetros geotécnicos de la unidad geológica se tomaron a partir de la información presentada en el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferéz” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019 y la actualización realizada a los diseños en el año 2022, donde se toman los valores promedio de cada parámetro, estos parámetros se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Qto.

COMPORTAMIENTO	De (m)	A (m)	Ncampo (Golpes/pie)	Y (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	IP (%)	Su (kPa)	c' (kPa)	Φ' (°)
COHESIVO	0,00	6,00	19	12,30	32	14	58	31	27



### 5.1.10.3.3. Unidad geológica TPz (Formación Zarzal)

En la Tabla 10 se presentan las torres asociadas a esta unidad geológica y su respectivo comportamiento. De acuerdo con la descripción geológica de esta unidad, la Formación presenta hacia la base intercalaciones de areniscas y arcillas diatomáceas, además de areniscas conglomeráticas. La parte intermedia está compuesta por conglomerados mal seleccionados intercalados con diatomitas y tobas arenosas. Hacia el tope, hay presencia de diatomitas intercaladas con tobas y areniscas con niveles conglomeráticos.

Tabla 10. Torres asociadas a la zona TPz y su respectivo comportamiento.

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material	Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
TPz Formación Zarzal	TVA006V*	COHESIVO	TPz Formación Zarzal	TVA019	COHESIVO
	TVA009V*	COHESIVO		TVA020	COHESIVO
	TVA010V*	COHESIVO		TVA021	COHESIVO
	TVA011V*	COHESIVO		TVA022	COHESIVO
	TVA012	COHESIVO		TVA023V	COHESIVO
	TVA014	COHESIVO		TVA024	COHESIVO
	TVA015	GRANULAR		TVA025V	COHESIVO
	TVA016	GRANULAR		TVA026V	COHESIVO
	TVA017	COHESIVO		TVA027	GRANULAR
TVA018	COHESIVO	TVA028	COHESIVO		

El 85% de las torres que se encuentran en esta unidad geológica están conformadas por materiales de comportamiento cohesivo, el 15% restante se caracteriza por tener un comportamiento granular. Por lo tanto, a continuación se realiza la caracterización de cada comportamiento.

- Comportamiento cohesivo

La mayor cantidad de finos se encuentran entre el 50 y el 82% y el porcentaje de arenas varía de 16 y 50%. La humedad natural varía de 11 a 62% con un valor promedio de 33% y el índice de plasticidad varía de 6 a 23% con un valor promedio de 15%, tal como se presenta en la Figura 7.

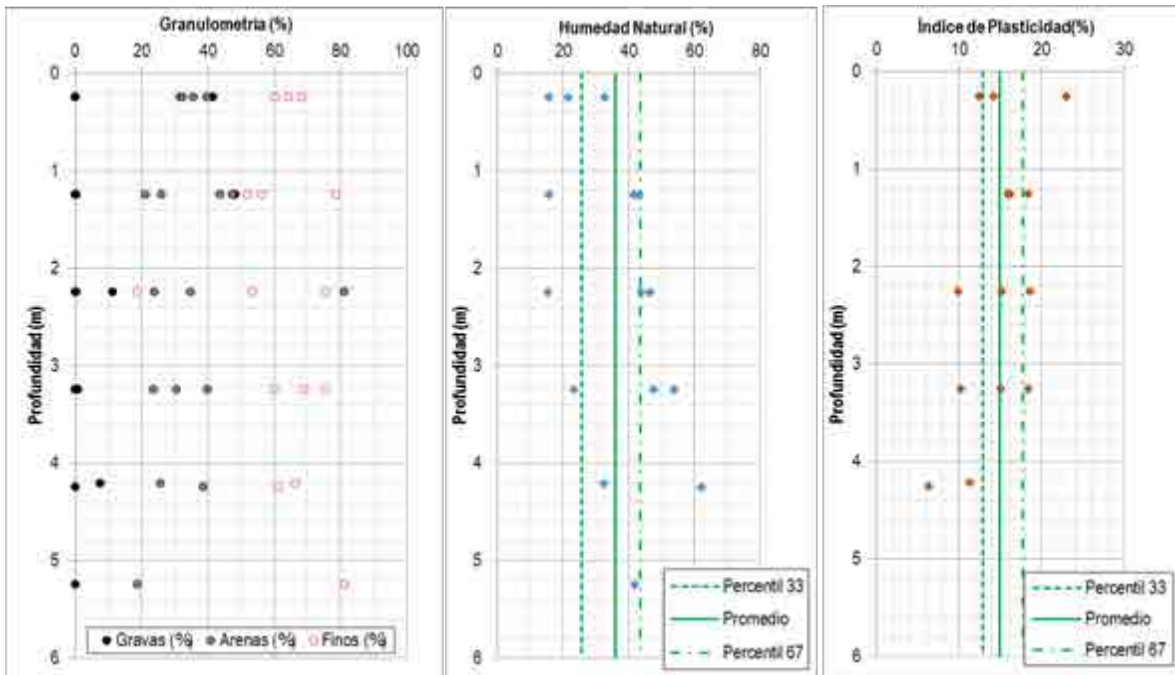


Figura 7. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica TPz.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 8 a 48 hasta los 3,00 m de profundidad y de 11 a 100 entre los 3,00 y 6,00 m de profundidad. El peso unitario varía de 12,10 a 17,70 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 13,55 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 8.

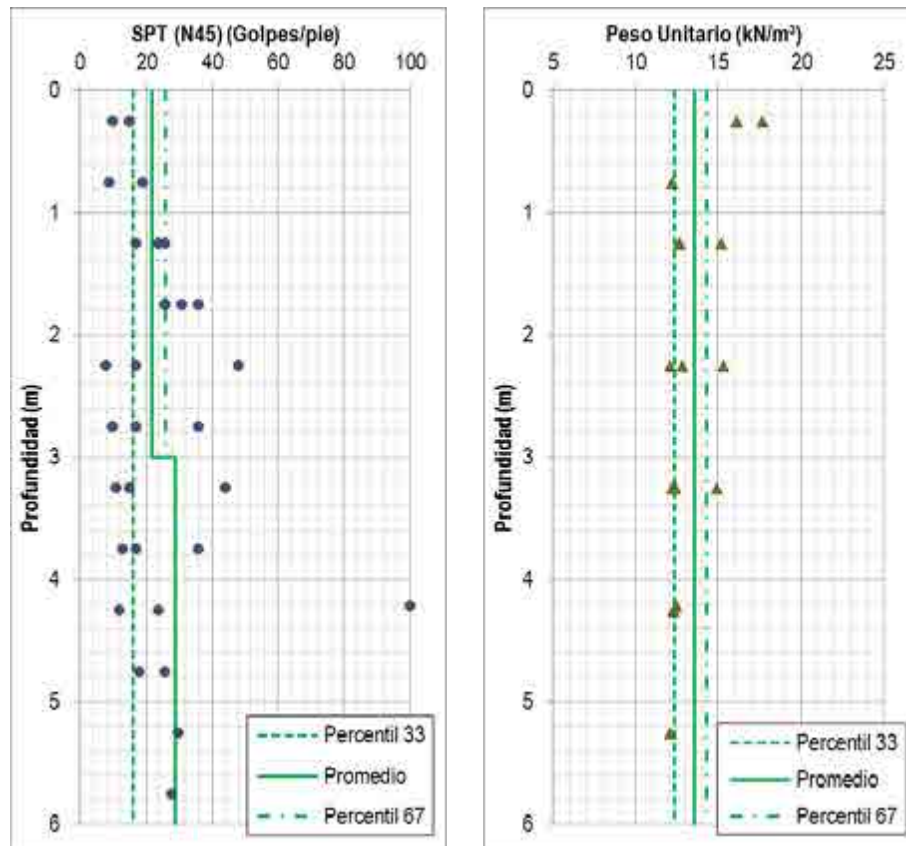


Figura 8. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica TPz.

- Comportamiento granular

Para las torres relacionadas con este comportamiento se toma la información de la perforación TVA027, la cual presenta hasta una profundidad de 1,50 m materiales finos en un 26%, arenas en un 29% y gravas del 45%. Se presenta un peso unitario promedio en estos materiales de 13,60 kN/m<sup>3</sup>.

Los parámetros geotécnicos de la unidad geológica se tomaron a partir de la información presentada en el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferez” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019 y la actualización realizada a los diseños en el año 2022, donde se toman los valores promedio de cada parámetro, estos parámetros se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica TPz.

COMPORTAMIENTO	De (m)	A (m)	Ncampo (Golpes/pie)	Y (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	IP (%)	Su (kPa)	c' (kPa)	Φ' (°)
COHESIVO	0,00	6,00	30	12,30	32	14	85	34	30
GRANULAR	0,00	1,25	16	13,60	11	15	-	0	28

#### 5.1.10.3.4. Unidad geológica Tmpo (Formación La Pobreza)

En la Tabla 12 se presentan las perforaciones asociadas a esta unidad geológica y su respectivo comportamiento. De acuerdo con la descripción geológica de esta unidad, se presentan areniscas limosas color café, ligeramente meteorizadas y moderadamente fracturadas.

Tabla 12. Perforaciones asociadas a la zona Tmpo y su respectivo comportamiento.

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material	Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
Tmpo Formación La Pobreza	TVA137	COHESIVO	Tmpo Formación La Pobreza	TVA145	COHESIVO
	TVA138N	COHESIVO		TVA146	COHESIVO
	TVA139	COHESIVO		TVA147	COHESIVO
	TVA140	COHESIVO		TVA148	COHESIVO
	TVA141	COHESIVO		TVA149	COHESIVO
	TVA142	COHESIVO		TVA150	COHESIVO
	TVA143	COHESIVO		TVA151	COHESIVO
	TVA144N	COHESIVO			

Esta unidad está conformada por materiales de comportamiento cohesivo, la cantidad de finos en esta zona varía de 60 a 100% por encima de los 3,00 m de profundidad y es mayor a 90% finalizando la perforación, la cantidad de arenas varía de 0 a 50% en los primeros 3,00 m de profundidad. La humedad natural varía de 10 a 55% con un valor promedio de 26% y el índice de plasticidad varía de 7 a 62% con un valor promedio de 25%, tal como se presenta en la Figura 9.

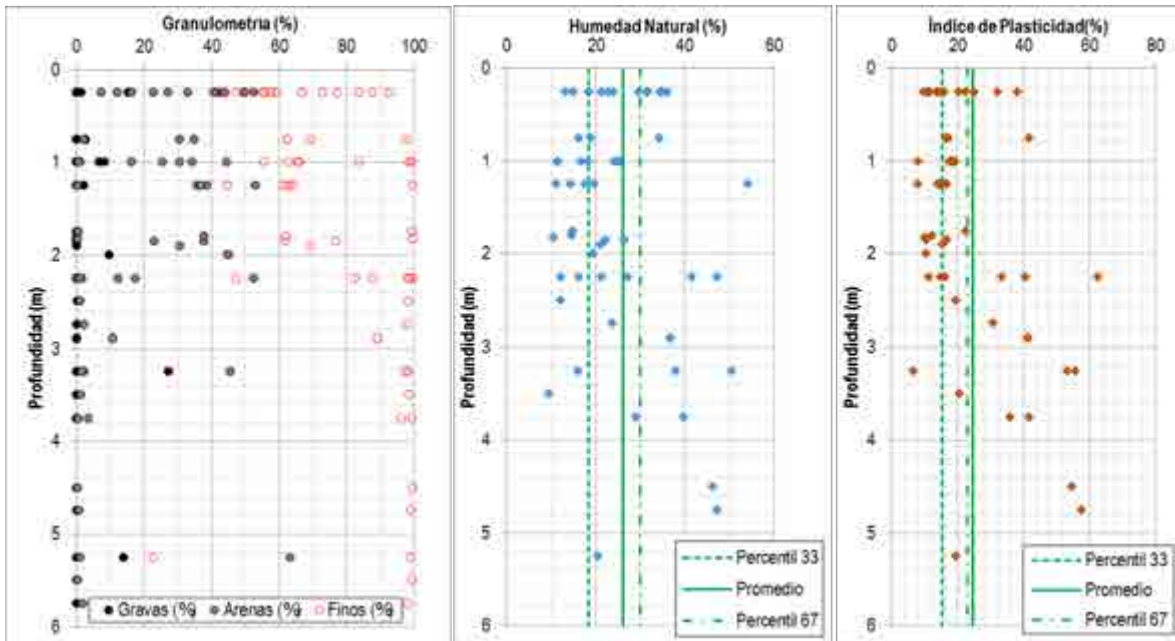


Figura 9. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Tmpo.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 6 a 100 hasta los 3,00 m de profundidad y de 19 a 100 entre los 3,00 y 6,00 m de profundidad. El peso unitario varía de 16,00 a 20,00 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 18,76 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 10.

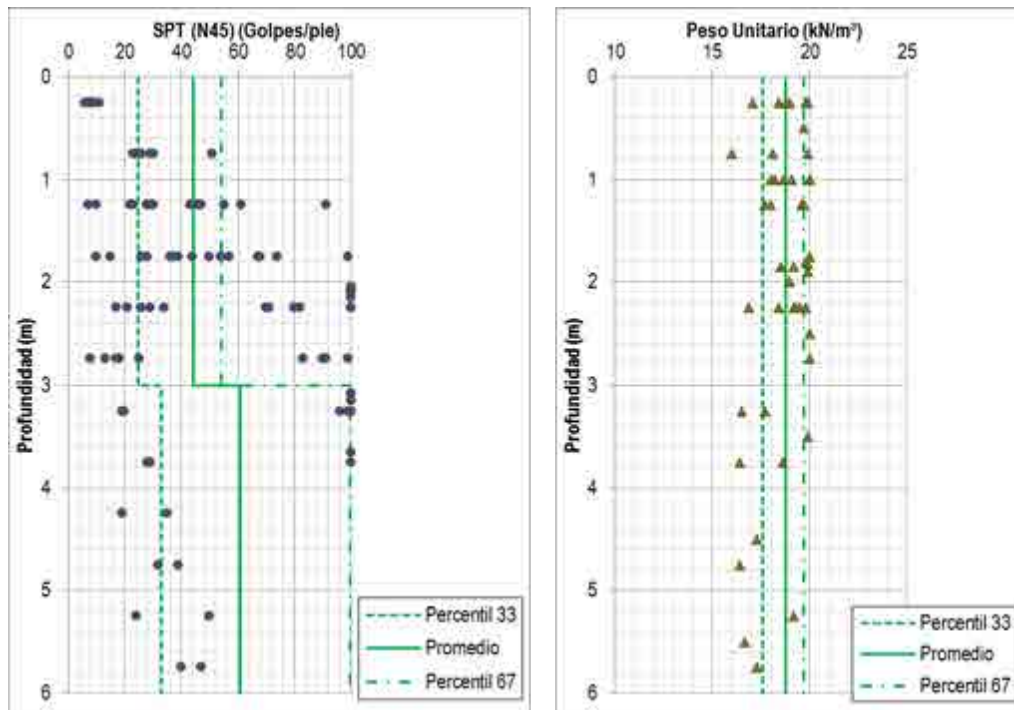


Figura 10. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Tmpo.

Los parámetros geotécnicos de la unidad geológica se tomaron a partir de la información presentada en el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferéz” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019 y la actualización realizada a los diseños en el año 2022, donde se toman los valores promedio de cada parámetro, estos parámetros se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Tmpo.

COMPORTAMIENTO	De (m)	A (m)	Ncampo (Golpes/pie)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	IP (%)	Su (kPa)	c' (kPa)	$\Phi'$ (°)
COHESIVO	0,00	6,00	39	12,30	32	14	91	35	32

#### 5.1.10.3.5. Unidad geológica Tmp (Formación La Paila)

En la Tabla 14 se presentan las torres asociadas a esta unidad geológica y su respectivo comportamiento. De acuerdo con la descripción geológica de esta unidad, la Formación se compone de conglomerados polimícticos y areniscas de grano grueso a



conglomeráticas, en capas de espesor muy grueso y grueso, con estratificación plana no paralela, estratificación cruzada y canales de relleno.

Tabla 14. Torres asociadas a la zona Tmp y su respectivo comportamiento.

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material	Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
TmP Formación La Paila	TVA029	COHESIVO	TmP Formación La Paila	TVA177	GRANULAR
	TVA030	COHESIVO		TVA178	COHESIVO
	TVA031	COHESIVO		TVA179	COHESIVO
	TVA114	COHESIVO		TVA180	COHESIVO
	TVA115	COHESIVO		TVA181	COHESIVO
	TVA116	COHESIVO		TVA182	COHESIVO
	TVA117	COHESIVO		TVA183	COHESIVO
	TVA118	COHESIVO		TVA184V*	COHESIVO
	TVA119	COHESIVO		TVA185	COHESIVO
	TVA120	COHESIVO		TVA186	COHESIVO
	TVA121	COHESIVO		TVA187	COHESIVO
	TVA122	COHESIVO		TVA188	GRANULAR
	TVA123	COHESIVO		TVA189	GRANULAR
	TVA124	COHESIVO		TVA190	COHESIVO
	TVA125	GRANULAR		TVA191	COHESIVO
	TVA126	COHESIVO		TVA192	COHESIVO
	TVA127	COHESIVO		TVA193	COHESIVO
	TVA128N	COHESIVO		TVA194	GRANULAR
	TVA129	COHESIVO		TVA196N	COHESIVO
	TVA130N	COHESIVO		TVA198N	COHESIVO
	TVA131N	COHESIVO		TVA199N	GRANULAR
	TVA132	COHESIVO		TVA200N	COHESIVO
	TVA133	COHESIVO		TVA201N	COHESIVO
	TVA134	COHESIVO		TVA202N	COHESIVO
	TVA135	COHESIVO		TVA203	COHESIVO
	TVA136	COHESIVO		TVA204	COHESIVO
TVA157	GRANULAR	TVA205		COHESIVO	
TVA158	GRANULAR	TVA206		COHESIVO	
TVA159	GRANULAR	TVA207	GRANULAR		
TVA160	GRANULAR	TVA208	COHESIVO		

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
TmP Formación La Paila	TVA161	GRANULAR
	TVA162	COHESIVO
	TVA163	COHESIVO
	TVA164	COHESIVO
	TVA165	COHESIVO
	TVA166	COHESIVO
	TVA167	COHESIVO
	TVA168V*	COHESIVO
	TVA169	GRANULAR
	TVA170	COHESIVO
	TVA171	COHESIVO
	TVA172	GRANULAR
	TVA173	COHESIVO
	TVA174	COHESIVO
	TVA175	COHESIVO
TVA176	COHESIVO	

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
TmP Formación La Paila	TVA209	COHESIVO
	TVA210	COHESIVO
	TVA212	COHESIVO
	TVA213	COHESIVO
	TVA219N	COHESIVO
	TVA220	COHESIVO
	TVA221	COHESIVO
	TVA222	COHESIVO
	TVA227	COHESIVO
	TVA228	COHESIVO
	TVA229	COHESIVO
	TVA231	COHESIVO
	TVA232	COHESIVO
	TVA233N	COHESIVO
	TVA234	COHESIVO

El 85% de las torres que se encuentran en esta unidad geológica están conformadas por materiales de comportamiento cohesivo, el 15% restante se caracteriza por tener un comportamiento granular. Por lo tanto, a continuación se realiza la caracterización de cada comportamiento.

- Comportamiento cohesivo

La cantidad de finos en esta zona varía de 40 a 100% y la cantidad de arenas de 0 a 40%. La humedad natural varía de 12 a 80% con un valor promedio de 7 a 85% con un valor promedio de 22% y el índice de plasticidad varía de 0 a 56% con un valor promedio de 20%, tal como se presenta en la Figura 11.

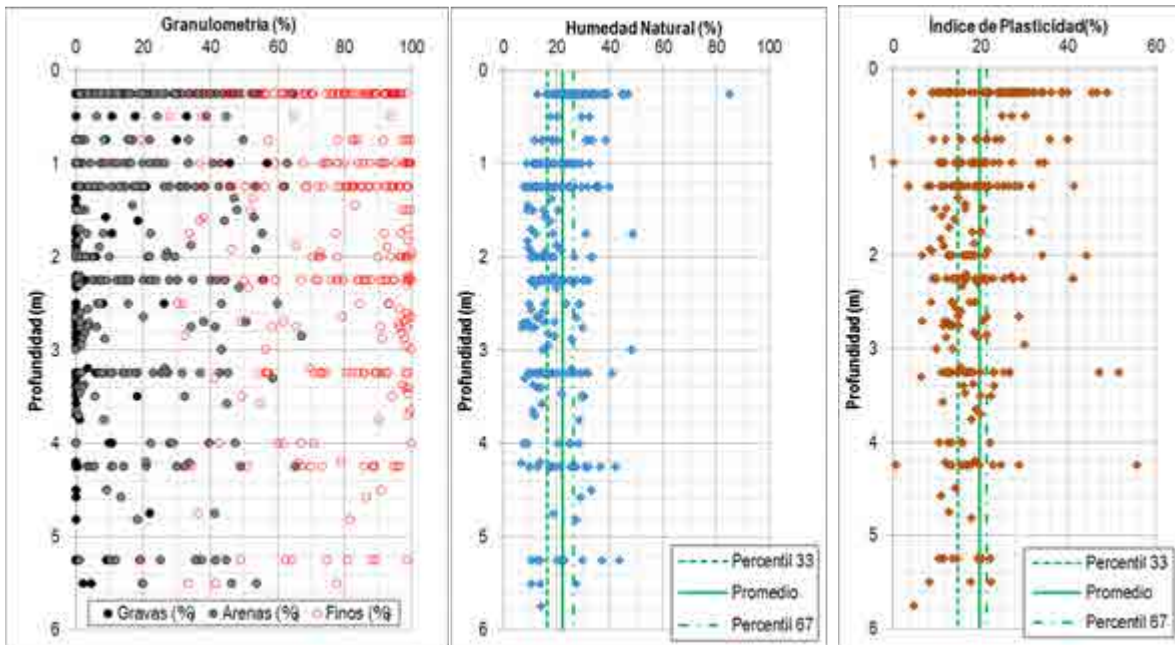


Figura 11. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Tmp. Comportamiento cohesivo.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 2 a 100 hasta los 3,00 m de profundidad y de 14 a 100 entre los 3,00 y 6,00 m de profundidad. El peso unitario varía de 12,00 a 21,80 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 17,91 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 12.

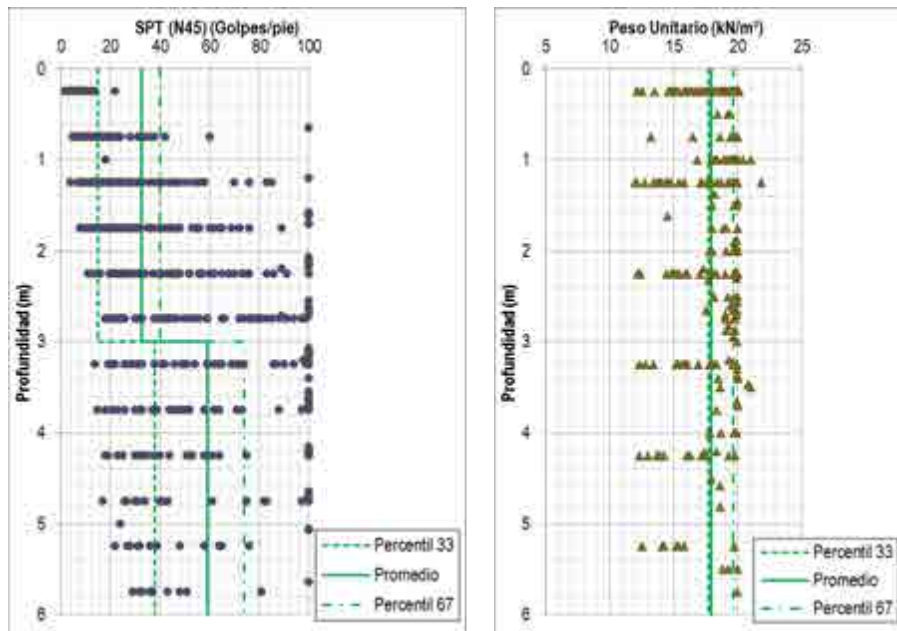


Figura 12. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica TMP.  
 Comportamiento cohesivo.

- Comportamiento granular

La mayor cantidad de finos en esta zona varía de 7 a 40%, la cantidad de arenas de 30 a 60% y el porcentaje de gravas tiene valores de hasta 65%. La humedad natural varía de 4 a 44% con un valor promedio de 14% y el índice de plasticidad varía de 0 a 36% con un valor promedio de 13%, tal como se presenta en la Figura 13.

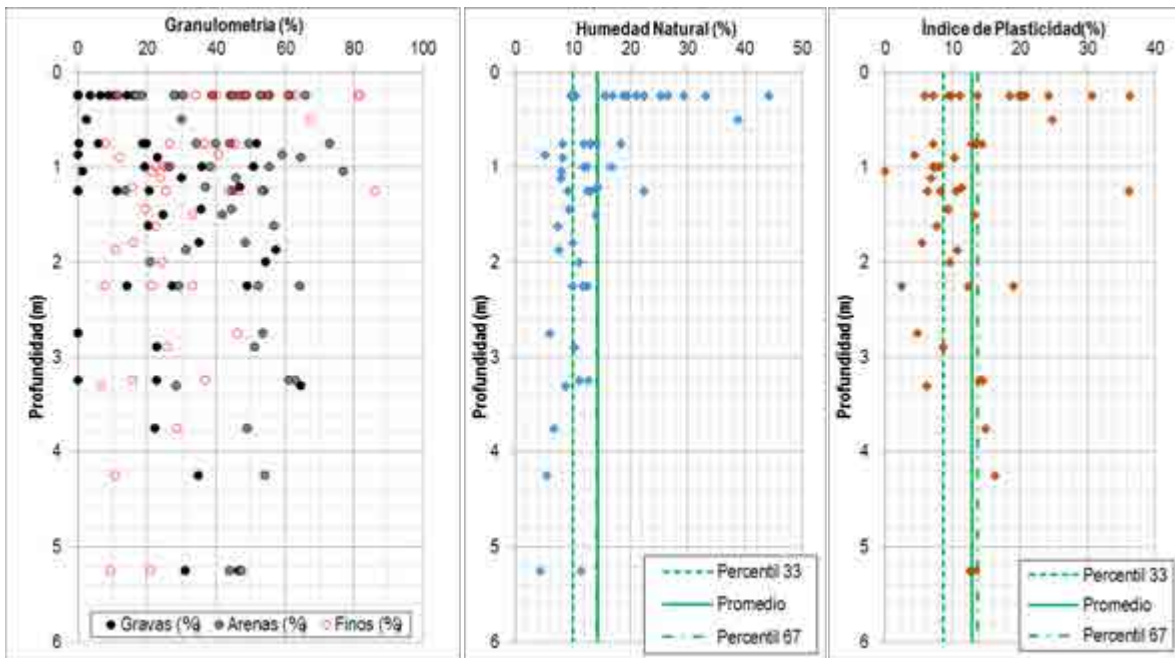


Figura 13. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Tmp. Comportamiento granular.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 4 a 100 hasta los 3,00 m de profundidad y de 17 a 100 entre los 3,00 y 6,00 m de profundidad. El peso unitario varía de 12,00 a 21,80 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 17,91 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 14.

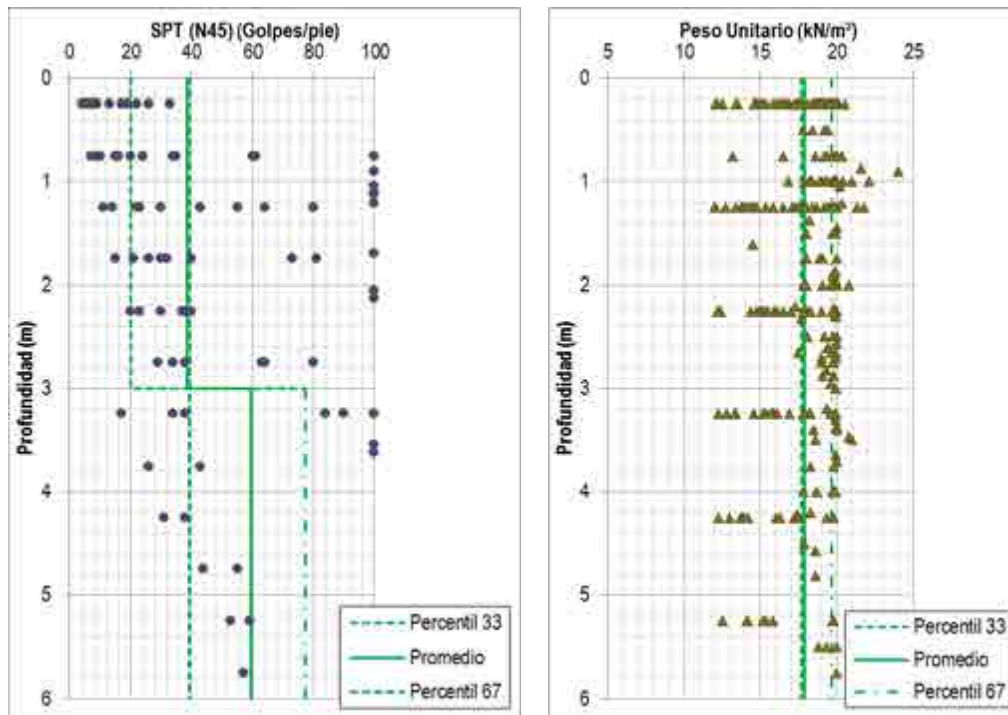


Figura 14. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica TMP. Comportamiento granular.

Los parámetros geotécnicos de la unidad geológica se tomaron a partir de la información presentada en el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferéz” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019 y la actualización realizada a los diseños en el año 2022, donde se toman los valores promedio de cada parámetro, estos parámetros se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Tmp.

COMPORTAMIENTO	De (m)	A (m)	Ncampo (Golpes/pie)	Y (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	IP (%)	Su (kPa)	c' (kPa)	Φ' (°)
COHESIVO	0,00	6,00	38	17,70	17	15	102	35	32
GRANULAR	0,00	6,00	42	18,41	10	9	-	0	36



### 5.1.10.3.6. Unidad geológica Tocp (Formación Cinta de Piedra)

En la Tabla 16 se presentan las torres asociadas a esta unidad geológica y su respectivo comportamiento. De acuerdo con la descripción geológica de esta unidad, se presentan afloramientos de areniscas de grano fino hasta grueso de color café, rojizas, grises, presentan matriz silíceo y limosa, deleznable con estratificación plana paralela, como en capas delgadas a gruesas, intercaladas con conglomerados clasto soportados y matriz siportados, con fragmentos tamaño guijos y guijarros angulares a sub-angulares.

Tabla 16. Torres asociadas a la zona Tocc y su respectivo comportamiento.

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material	Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
Tocp Formación Cinta de Piedra	TVA032V*	COHESIVO	Tocp Formación Cinta de Piedra	TVA058	GRANULAR
	TVA033	COHESIVO		TVA059	COHESIVO
	TVA034V	COHESIVO		TVA060	COHESIVO
	TVA035V	COHESIVO		TVA061	GRANULAR
	TVA036	COHESIVO		TVA062	COHESIVO
	TVA037	COHESIVO		TVA063	COHESIVO
	TVA038	COHESIVO		TVA064	COHESIVO
	TVA039	COHESIVO		TVA065	COHESIVO
	TVA040	COHESIVO		TVA066N	COHESIVO
	TVA041	COHESIVO		TVA067	COHESIVO
	TVA042	COHESIVO		TVA068VN	COHESIVO
	TVA043	COHESIVO		TVA069V	COHESIVO
	TVA044	COHESIVO		TVA070	GRANULAR
	TVA045	GRANULAR		TVA071V	COHESIVO
	TVA046	COHESIVO		TVA072V	GRANULAR
	TVA047	COHESIVO		TVA073V	COHESIVO
	TVA048	COHESIVO		TVA075V	COHESIVO
	TVA049	COHESIVO		TVA076V	COHESIVO
	TVA050	COHESIVO		TVA077V	GRANULAR
	TVA051	COHESIVO		TVA078V	COHESIVO
TVA052	COHESIVO	TVA079V	COHESIVO		
TVA053	GRANULAR	TVA080V	COHESIVO		
TVA054	COHESIVO	TVA110	GRANULAR		
Tocp	TVA055V*	COHESIVO	Tocp	TVA111	COHESIVO

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
Formación Cinta de Piedra	TVA056	COHESIVO
	TVA057	COHESIVO

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
Formación Cinta de Piedra	TVA112	COHESIVO
	TVA113	GRANULAR

El 83% de las torres que se encuentran en esta unidad geológica están conformadas por materiales de comportamiento cohesivo, el 17% restante se caracteriza por tener un comportamiento granular. Por lo tanto, a continuación se realiza la caracterización de cada comportamiento.

- Comportamiento cohesivo

La mayor cantidad de finos en esta zona varía de 50 a 100% y la cantidad de arenas de 0 a 40%. La humedad natural varía de 7 a 74% con un valor promedio de 22,5% y el índice de plasticidad varía de 2 a 43,5% con un valor promedio de 16%, tal como se presenta en la Figura 15.

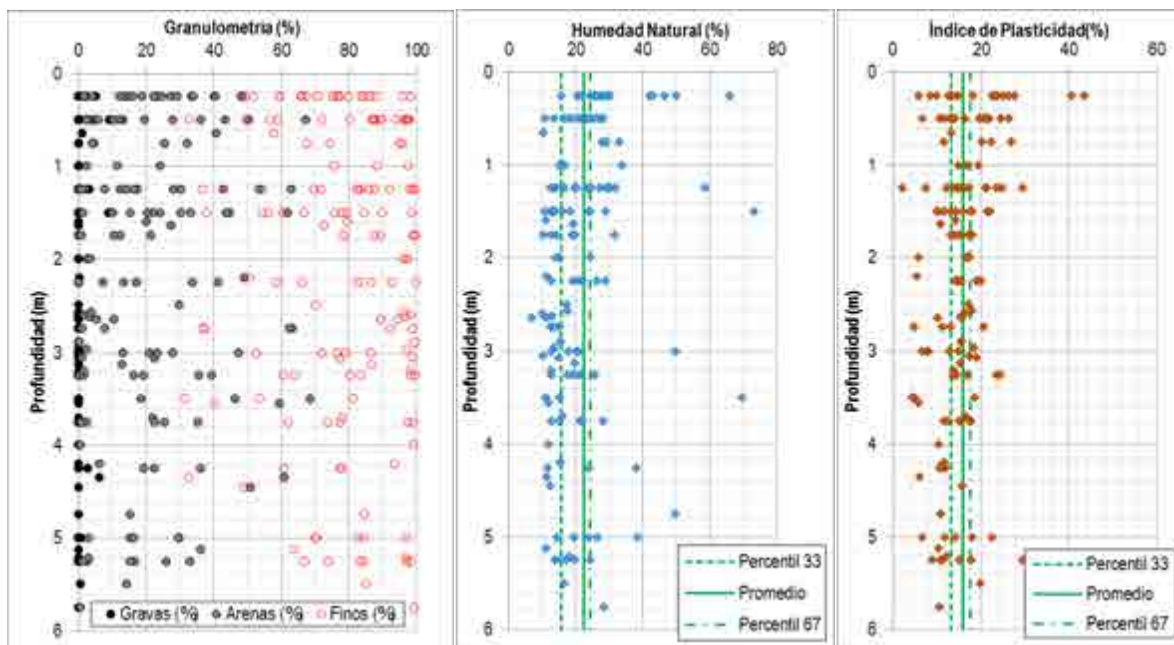


Figura 15. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Tocc. Comportamiento cohesivo.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 2 a 100 hasta los 3,00 m de profundidad y de 5 a 100 entre los 3,00 y 6,00 m de profundidad. El peso unitario varía de 12,50 a 21,70 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 18,80 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 16.

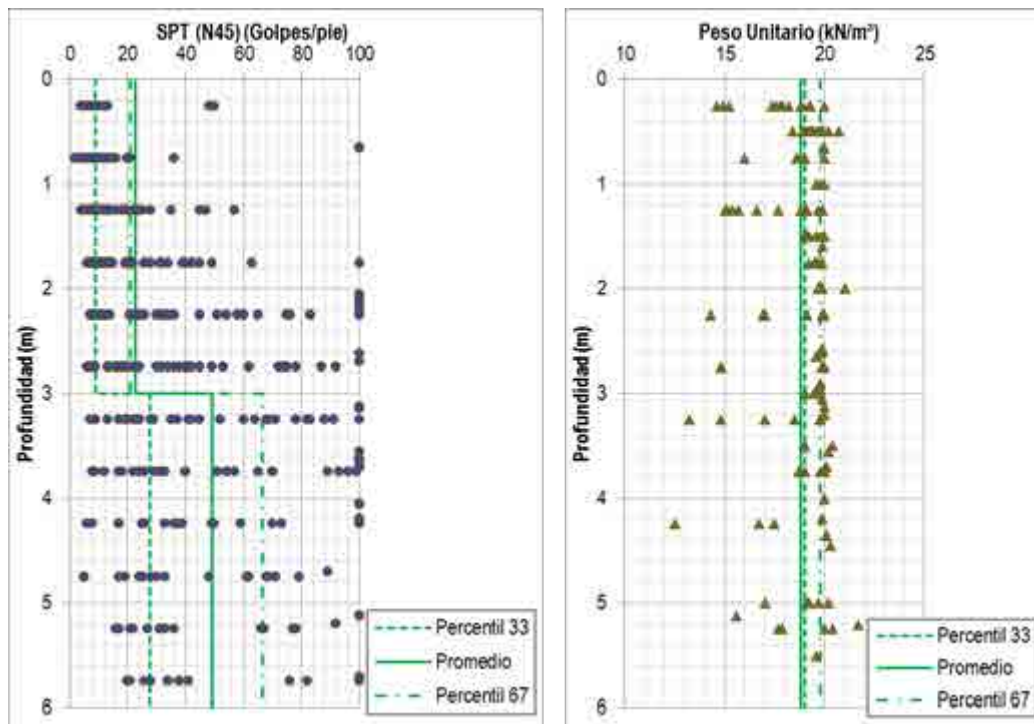


Figura 16. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Tocep. Comportamiento cohesivo.

- Comportamiento granular

La mayor cantidad de finos en esta zona varía de 20 a 50% y la cantidad de arenas de 40 a 80%. La humedad natural varía de 7 a 30% con un valor promedio de 16% y el índice de plasticidad varía de 0 a 19% con un valor promedio de 7%, tal como se presenta en la Figura 17.

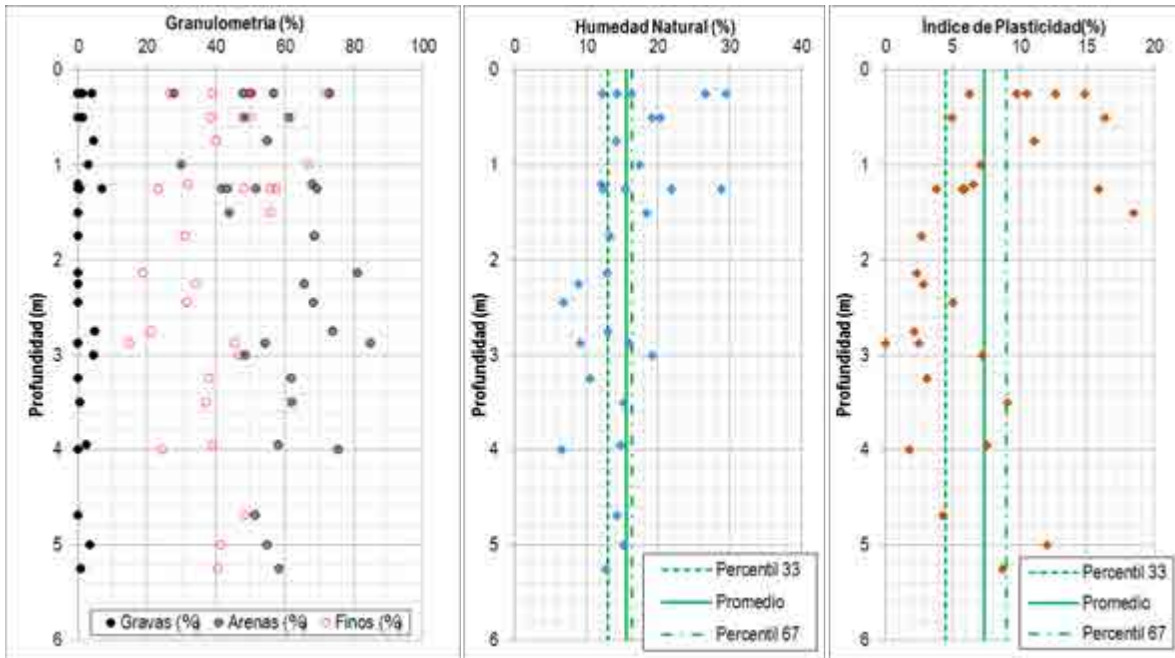


Figura 17. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Tocu. Comportamiento granular.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 2 a 100 hasta los 3,00 m de profundidad y de 5 a 100 entre los 3,00 y 6,00 m de profundidad. El peso unitario varía de 18,70 a 21,60 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 19,64 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 18.

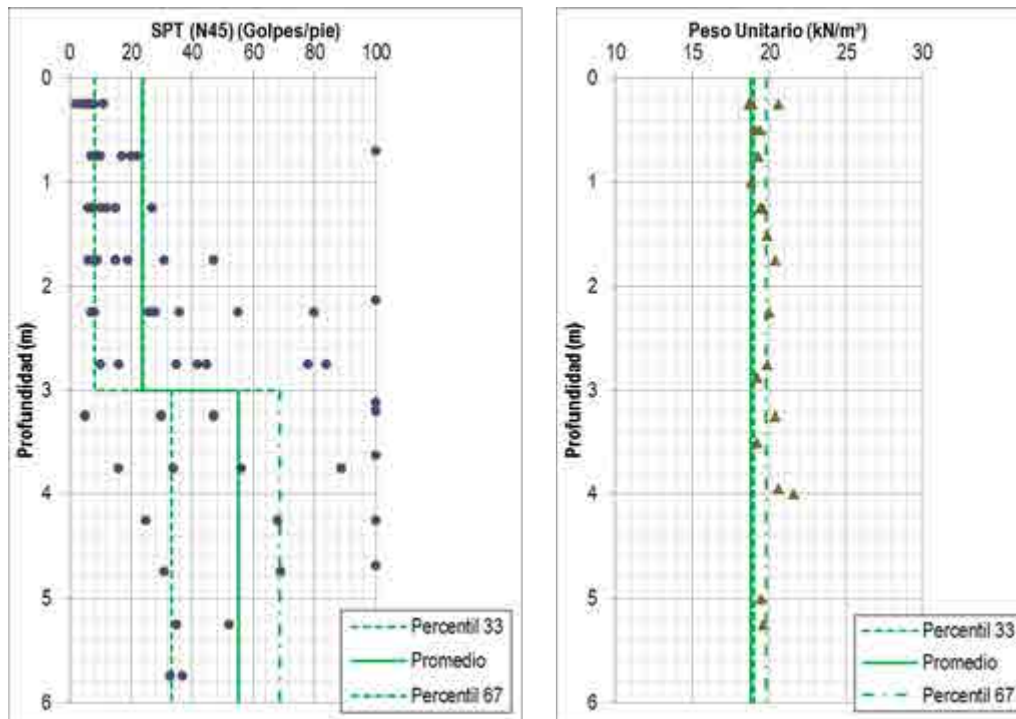


Figura 18. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Tcop. Comportamiento granular.

Los parámetros geotécnicos de la unidad geológica se tomaron a partir de la información presentada en el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferéz” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019 y la actualización realizada a los diseños en el año 2022, donde se toman los valores promedio de cada parámetro, estos parámetros se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Tcop.

COMPORTAMIENTO	De (m)	A (m)	Ncampo (Golpes/pie)	Y (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	IP (%)	Su (kPa)	c' (kPa)	Φ' (°)
COHESIVO	0,00	6,00	33	19,00	15	13	95	35	30
GRANULAR	0,00	6,00	33	19,29	13	4	-	0	33

### 5.1.10.3.7. Unidad geológica Kcd-t (Batolito de Buga)

En la Tabla 18 se presentan las torres asociadas a esta unidad geológica y su respectivo comportamiento. De acuerdo con la descripción geológica de esta unidad, las rocas que conforman este batolito corresponden a diorita en su parte oriental hasta cuarzo diorita leucocrática en su parte occidental, o granitoide calco-alcalino de textura hipidiomórfica, cuya composición varía entre cuarzodiorita hornbléndica a tonalita, con apariciones de dioritas hornbléndicas hacia sus bordes.

Tabla 18. Torres asociadas a la zona Kcd-t y su respectivo comportamiento.

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material	Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
Kcd-t Batolito de Buga	TVA230	GRANULAR	Kcd-t Batolito de Buga	TVA242	COHESIVO
	TVA235	GRANULAR		TVA243N	GRANULAR
	TVA236	GRANULAR		TVA244	GRANULAR
	TVA237	COHESIVO		TVA245	GRANULAR
	TVA238	COHESIVO		TVA246	GRANULAR
	TVA239N	COHESIVO		TVA247N	GRANULAR
	TVA240N	GRANULAR		TVA248	GRANULAR
	TVA241N	GRANULAR		TVA249NV	GRANULAR

El 75% de las torres que se encuentran en esta unidad geológica están conformadas por materiales de comportamiento granular, el 25% restante se caracteriza por tener un comportamiento cohesivo. Por lo tanto, a continuación se realiza la caracterización de cada comportamiento.

#### - Comportamiento cohesivo

La mayor cantidad de finos en esta zona varía de 40 a 80% y la cantidad de arenas de 20 a 60%. La humedad natural varía de 12,5 a 31% con un valor promedio de 20,2% y el índice de plasticidad varía de 2 a 28% con un valor promedio de 13,6%, tal como se presenta en la Figura 19.



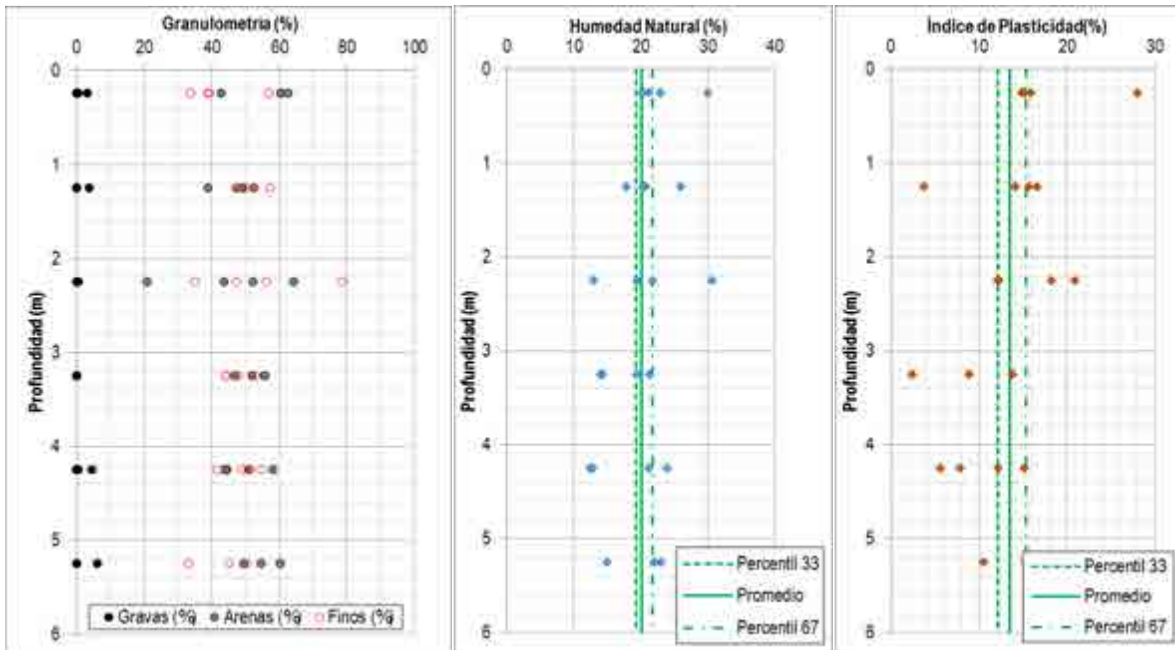


Figura 19. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Kcd-t. Comportamiento cohesivo.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 7 a 35 hasta los 3,00 m de profundidad y de 10 a 100 entre los 3,00 y 6,00 m de profundidad. El peso unitario varía de 12,70 a 17,00 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 14,66 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 20.

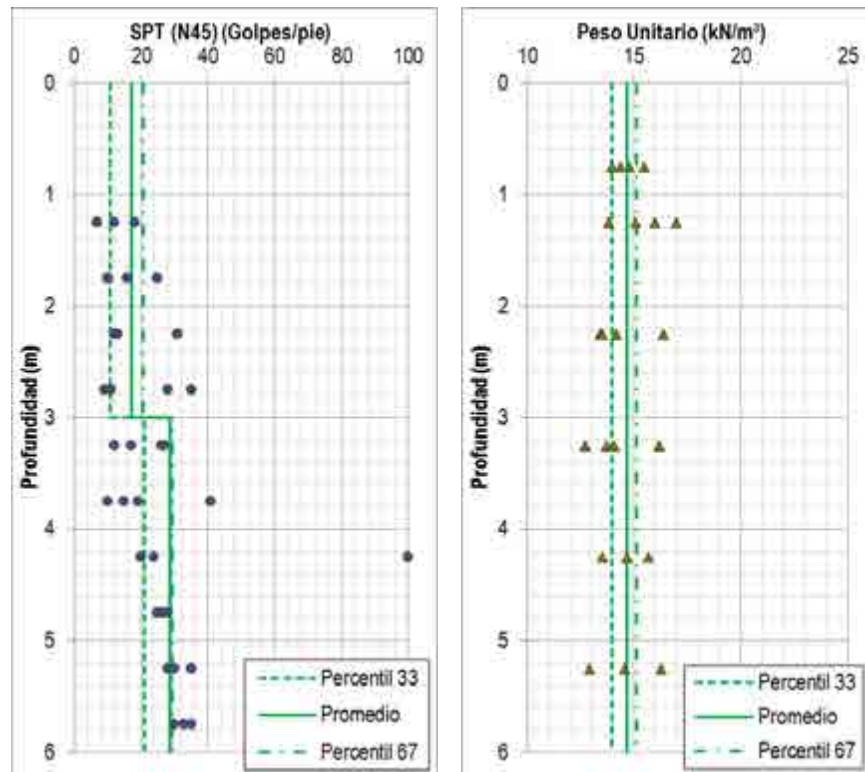


Figura 20. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Kcd-t.  
 Comportamiento cohesivo.

- Comportamiento granular

La mayor cantidad de finos en esta zona varía de 10 a 40% y la cantidad de arenas de 50 a 90%. La humedad natural varía de 4 a 31% con un valor promedio de 11% y el índice de plasticidad varía de 0 a 34% con un valor promedio de 8%, tal como se presenta en la Figura 21.

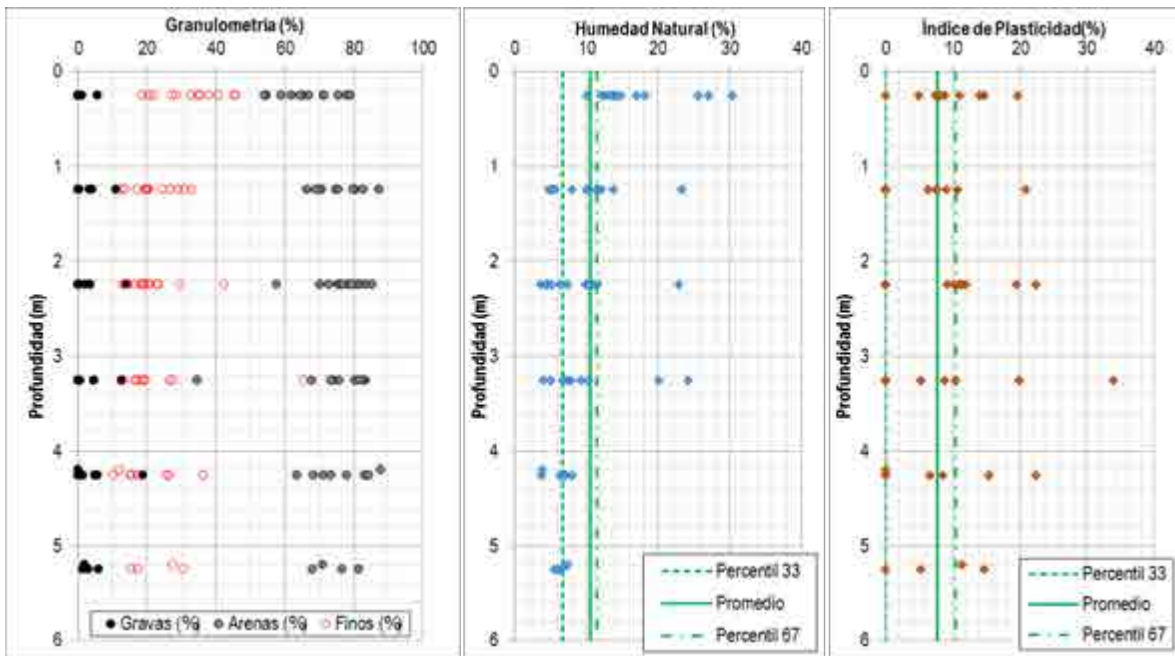


Figura 21. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Kcd-t. Comportamiento granular

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 6 a 100 hasta los 3,00 m de profundidad y de 8 a 100 entre los 3,00 y 6,00 m de profundidad. El peso unitario varía de 13,40 a 19,10 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 16,54 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 22.

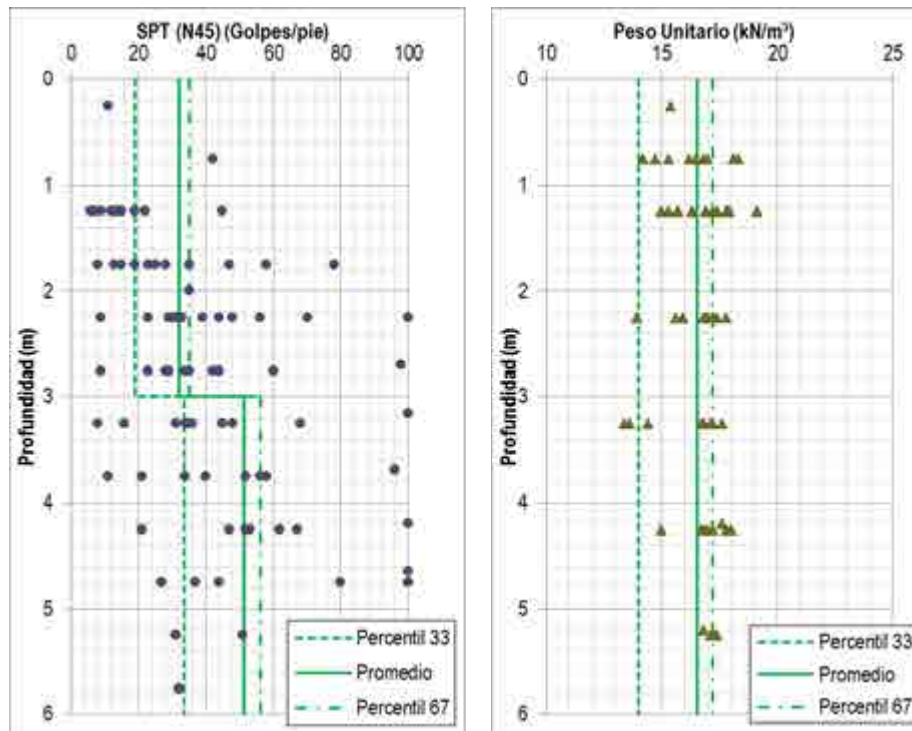


Figura 22. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Kcd-t. Comportamiento granular.

Los parámetros geotécnicos de la unidad geológica se tomaron a partir de la información presentada en el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferez” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019 y la actualización realizada a los diseños en el año 2022, donde se toman los valores promedio de cada parámetro, estos parámetros se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Kcd-t.

COMPORTAMIENTO	De (m)	A (m)	Ncampo (Golpes/pie)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Wn (%)	IP (%)	Su (kPa)	c' (kPa)	$\Phi'$ (°)
COHESIVO	0,00	6,00	25	14,00	19	12	71	35	28
GRANULAR	0,00	6,00	41	16,30	7	0	-	0	34

### 5.1.10.3.8. Unidad geológica Jkoga (Macizo Ofiolítico de Ginebra)

En la Tabla 20 se presentan las torres asociadas a esta unidad geológica y su respectivo comportamiento. De acuerdo con la descripción geológica de esta unidad, hacia la base se presentan rocas ultrabásicas, que corresponden a piroxenitas y peridotitas con texturas afaníticas y meso-granulares, equigranulares, compuestas por olivinos, ortopiroxenos, clinopiroxenos y minerales opacos en diferentes proporciones, que generan una variación en la clasificación de las rocas entre harzburgitas, iherzolitas, wherlitas, piroxenitas websteritas y ortopiroxenitas.

Tabla 20. Torres asociadas a la zona Jkoga y su respectivo comportamiento.

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material	Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
Jkoga (Macizo Ofiolítico de Ginebra)	TVA250N	GRANULAR	Jkoga (Macizo Ofiolítico de Ginebra)	TVA288	COHESIVO
	TVA251	GRANULAR		TVA289	GRANULAR
	TVA252V*	COHESIVO		TVA290	COHESIVO
	TVA253V*	COHESIVO		TVA291N	COHESIVO
	TVA254V*	COHESIVO		TVA292	GRANULAR
	TVA255V*	COHESIVO		TVA293	COHESIVO
	TVA256V1	COHESIVO		TVA294	COHESIVO
	TVA257V**	COHESIVO		TVA295	COHESIVO
	TVA258V**	COHESIVO		TVA296	COHESIVO
	TVA259V*	COHESIVO		TVA297	COHESIVO
	TVA260V*	COHESIVO		TVA298	COHESIVO
	TVA261V*	COHESIVO		TVA299	COHESIVO
	TVA262V*	COHESIVO		TVA300	COHESIVO
	TVA263V*	COHESIVO		TVA301	COHESIVO
	TVA264V*	GRANULAR		TVA302	COHESIVO
	TVA265V*	COHESIVO		TVA303N	COHESIVO
	TVA266V*	GRANULAR		TVA304	COHESIVO
	TVA267V*	COHESIVO		TVA305N	COHESIVO
	TVA269V**	COHESIVO		TVA306	COHESIVO
	TVA270V*	COHESIVO		TVA307N	GRANULAR
TVA271V*	COHESIVO	TVA308N	COHESIVO		
TVA272V*	GRANULAR	TVA309N	COHESIVO		
TVA278	COHESIVO	TVA310N	GRANULAR		

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
Jkoga (Macizo Ofiolítico de Ginebra)	TVA280	COHESIVO
	TVA281	GRANULAR
	TVA282	GRANULAR
	TVA283V	COHESIVO
	TVA284N	COHESIVO
	TVA285	COHESIVO
	TVA286	GRANULAR
	TVA287N	COHESIVO

Unidad Geológica	Torre	Tipo de Material
Jkoga (Macizo Ofiolítico de Ginebra)	TVA311	GRANULAR
	TVA312	GRANULAR
	TVA313	COHESIVO
	TVA314	COHESIVO
	TVA315VB	COHESIVO
	TVA316VB	COHESIVO
	TVA317VB	COHESIVO
	TVA318VB	COHESIVO

El 77% de las torres que se encuentran en esta unidad geológica están conformadas por materiales de comportamiento granular, el 23% restante se caracteriza por tener un comportamiento cohesivo. Por lo tanto, a continuación se realiza la caracterización de cada comportamiento.

- Comportamiento cohesivo

La mayor cantidad de finos en esta zona varía de 40 a 100% y la cantidad de arenas de 10 a 40%. La humedad natural varía de 5 a 126% con un valor promedio de 35% y el índice de plasticidad varía de 0 a 62% con un valor promedio de 18%, tal como se presenta en la Figura 23.



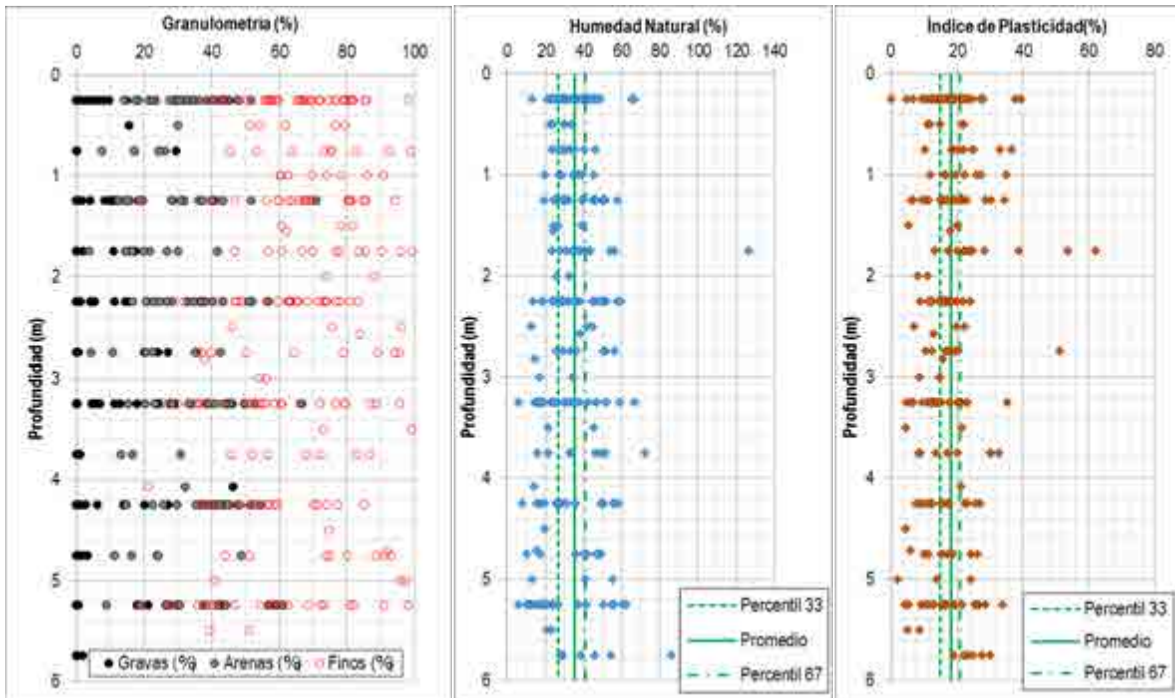


Figura 23. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Jkoga. Comportamiento cohesivo.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 2 a 100. El peso unitario varía de 11,00 a 28,80 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 15,80 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 24.

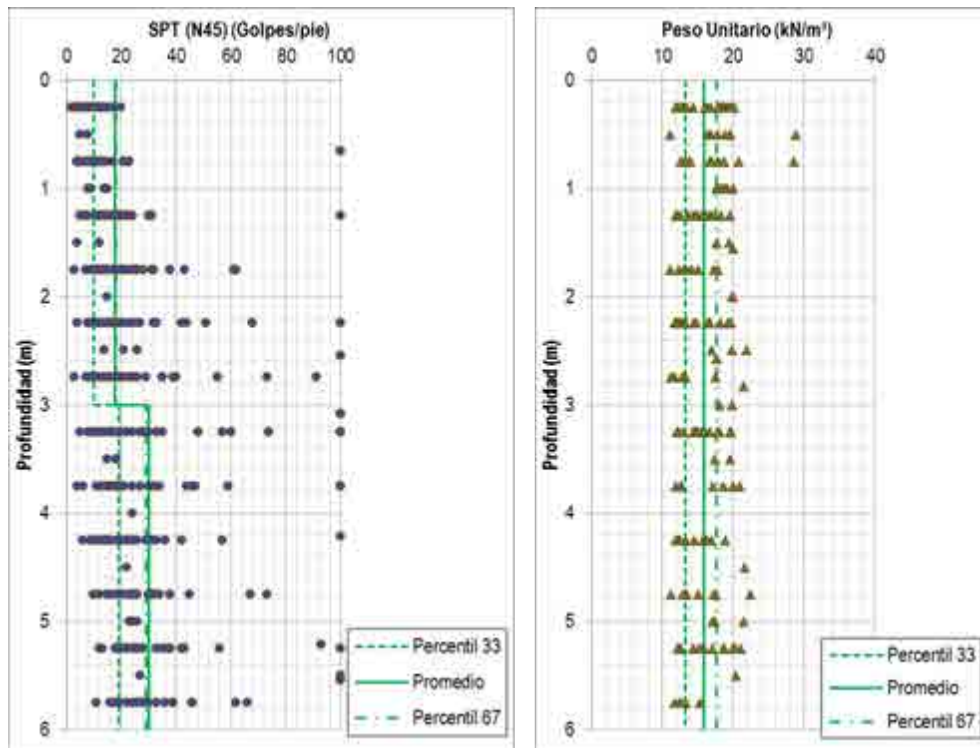


Figura 24. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Jkoga. Comportamiento cohesivo.

- Comportamiento granular

La mayor cantidad de finos en esta zona varía de 10 a 65% y la cantidad de arenas de 50 a 90%. La humedad natural varía de 4 a 31% con un valor promedio de 11% y el índice de plasticidad varía de 0 a 34% con un valor promedio de 8%, tal como se presenta en la Figura 25.

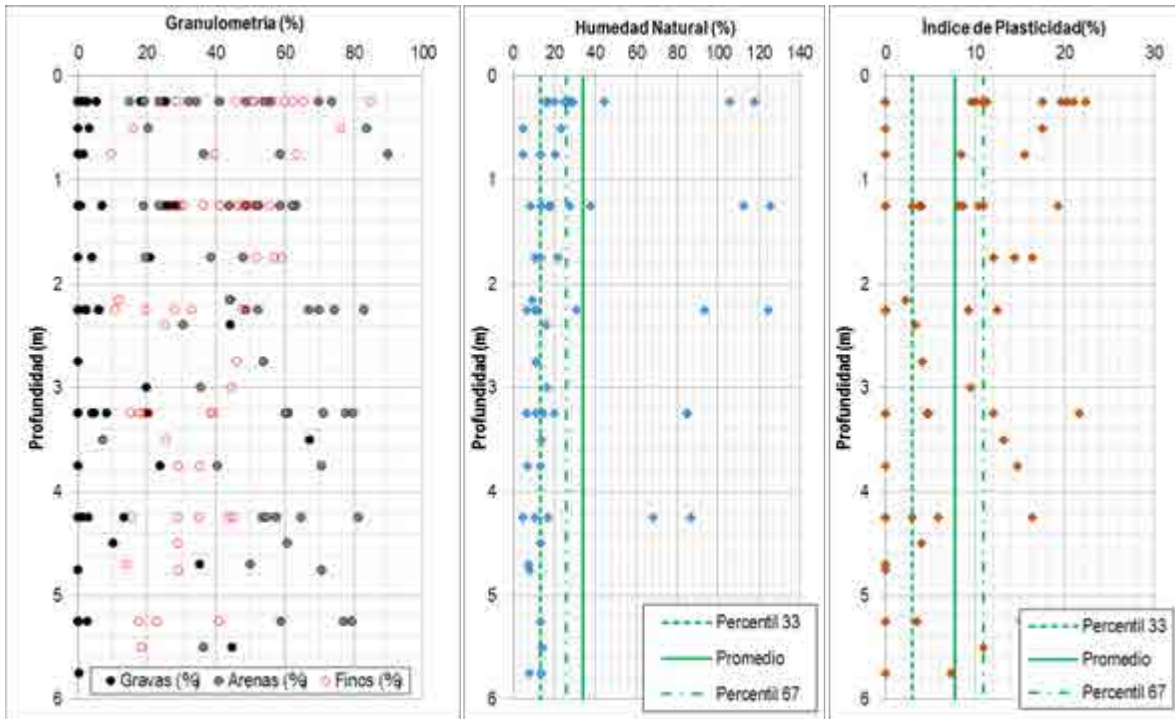


Figura 25. Resultados de granulometría, humedad natural e índice de plasticidad para la Unidad geológica Jkoga. Comportamiento granular.

El número de golpes por pie determinado por el ensayo de SPT realizado durante la ejecución de la perforación, varía de 2 a 100. El peso unitario varía de 11,80 a 21,80 kN/m<sup>3</sup> con un valor promedio de 16,10 kN/m<sup>3</sup>, tal como se presenta en la Figura 26.

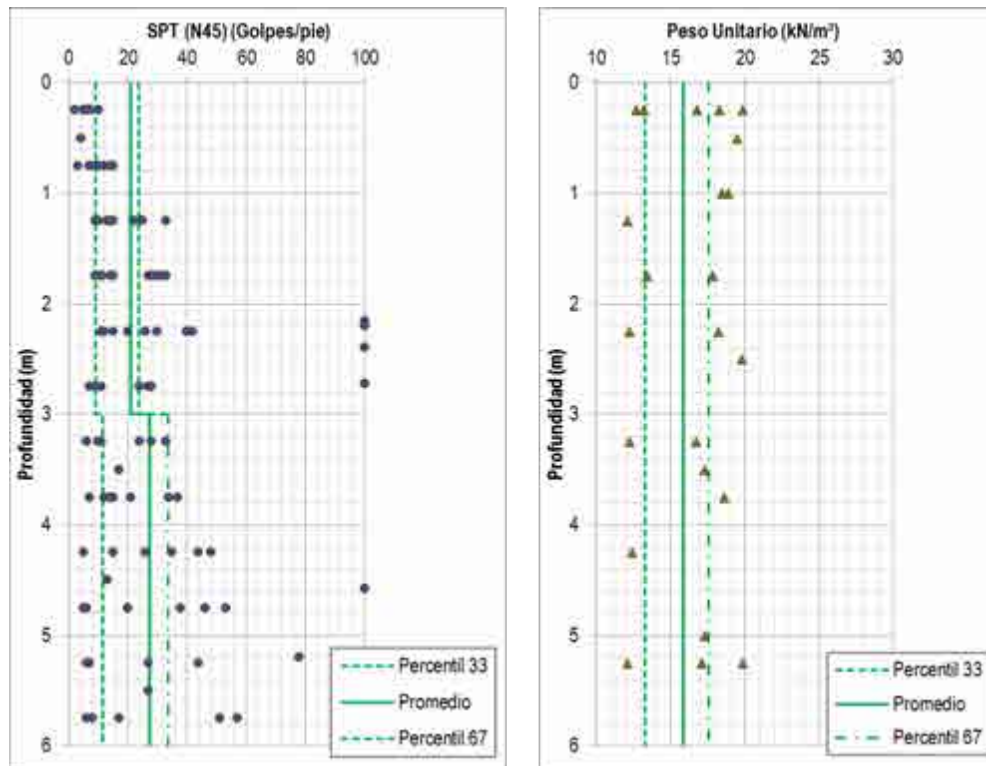


Figura 26. Resultados de STP y Peso Unitario para la Unidad geológica Jkoga. Comportamiento granular.

Los parámetros geotécnicos de la unidad geológica se tomaron a partir de la información presentada en el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferez” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019 y la actualización realizada a los diseños en el año 2022, donde se toman los valores promedio de cada parámetro, estos parámetros se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Parámetros geotécnicos de la Unidad geológica Jkoga.

COMPORTAMIENTO	De (m)	A (m)	Ncampo (Golpes/pie)	Y (kN/m3)	Wn (%)	IP (%)	Su (kPa)	c' (kPa)	Φ' (°)
COHESIVO	0,00	6,00	24	13,30	27	15	66	34	28
GRANULAR	0,00	6,00	23	13,40	13	3	-	0	31

### 5.1.10.3.9. Condiciones especiales del subsuelo

A continuación se realiza el análisis del potencial o susceptibilidad de ocurrencia de diferentes fenómenos sobre los suelos presentes en la zona de estudio, donde para cada zona geotécnica se evalúa el potencial de expansión para suelos cohesivos, movilidad cíclica y licuación.

- Potencial de expansión

Los suelos cohesivos (generalmente las arcillas) tienen la capacidad de contraerse cuando pierden humedad y de expandirse cuando la ganan de nuevo según las condiciones ambientales, este comportamiento puede generar daños en las estructuras tales como: fisuramientos, agrietamientos y posibles movimientos en la cimentación. Para la zona de estudio se evalúa el potencial de expansión bajo los criterios del Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NSR-10) y la teoría de Reese and O'Neil (1988), los cuales se basan principalmente en los resultados de límites líquidos e índices de plasticidad del suelo. En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos de potencial de expansión para las diferentes unidades geológicas, donde se puede observar que los suelos en todas las unidades geológicas tienen un potencial de expansión principalmente bajo. Sin embargo, en las zonas donde se presenta un potencial de expansividad alto a muy alto se deben realizar ensayos específicos de expansión controlada para diferentes presiones de confinamiento, con el fin de verificar el nivel de expansividad del suelo.

Tabla 22. Potencial de expansión por Unidad Geológica.

Unidad geológica	Potencial de expansión			
	BAJO (%)	MEDIO (%)	ALTO (%)	MUY ALTO (%)
Qto	73%	16%	6%	5%
TPz	88%	12%	0%	0%
TMp (Cohesivo)	73%	16%	7%	3%
Tocp (Cohesivo)	79%	16%	4%	1%
Tmpo	57%	15%	14%	14%
Kcd-t	78%	22%	0%	0%
Jkoga (Cohesivo)	77%	14%	6%	3%
Qt, Qca, Qal (Cohesivo)	52%	6%	22%	19%

- Movilidad cíclica

La movilidad cíclica es un fenómeno que hace referencia a la deformación progresiva de suelos saturados bajo cargas cíclicas a una humedad constante. Para determinar si los suelos presentes en la zona de estudio tienen una susceptibilidad a este fenómeno, se tiene en cuenta el criterio de Bray y Sancio (2006), donde se relaciona el índice de plasticidad de los materiales y la relación entre la humedad y el límite líquido del suelo. Tal como se puede observar en la Figura 27, el 96% de las muestras analizadas presentan suelos que no son susceptibles a presentar problemas de movilidad cíclica.

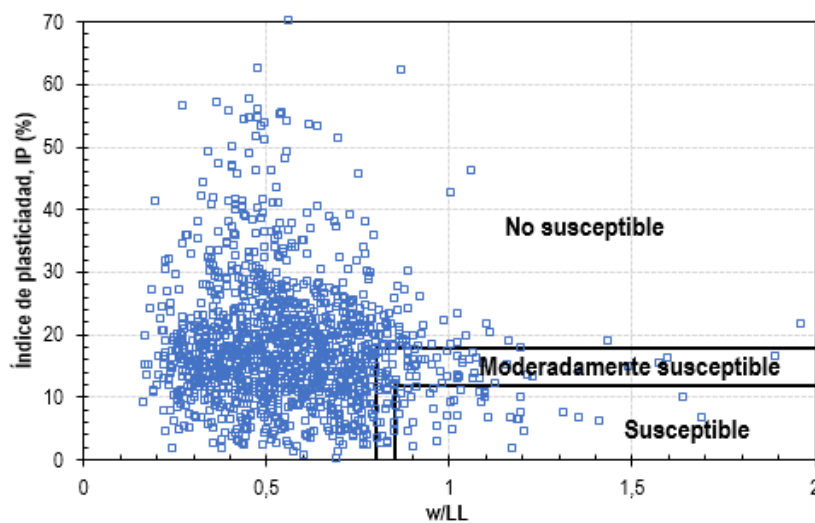


Figura 27. Análisis de movilidad cíclica en la zona de estudio.

- Licuación

La licuación se presenta en estratos de suelo que contienen materiales granulares con facilidad de transformarse del estado sólido al licuado, debido al incremento de las presiones de poro y la reducción de presiones efectivas. Durante la licuación el estrato de suelo se ablanda, suaviza y se reblandece aumentando su deformabilidad. De acuerdo con Kramer y Stewart (2004), los suelos saturados provenientes de la sedimentación de ríos y lagos o depósitos formados por la acción del viento, pueden ser susceptibles de licuación. Adicionalmente, suelos con una densidad muy baja (suelos) tienden a aumentar el potencial de licuación de los mismos.



De acuerdo con el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alférez” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019, donde la metodología utilizada en los análisis del potencial de licuación es la planteada por Idriss et al. (2001). Para esta metodología se determina el factor de seguridad con la relación entre CRR (Cyclic Rate Resistance) y CSR (Cyclic Stress Ratio), la cual debe ser superior a la unidad para considerarse admisible. En el Anexo D8.3 se presentan los análisis de potencial de licuación realizados en cada sitio de torre.

A partir del análisis realizado el estudio de suelos realizado por la empresa CONCOL indica lo siguiente:

“Se recomienda que en los sitios de torre TVA389 al TVA452 (trazado actual TVA377VA al TVA452V1) las cimentaciones utilizadas sean llevadas a una profundidad mayor del nivel del potencial de licuación definido. En estos casos, se pueden utilizar cimentaciones tipo zapata convencional con nivel de desplante mayor a 3,50 m o zapatas sobre micropilotes con encamisado. El encamisado se debe realizar con tubería metálica por debajo del nivel de la zapata del micropilote y debe estar empotrado en el estrato competente de acuerdo con las profundidades establecidas en el diseño estructural. La zapata de los micropilotes debe tener una profundidad de desplante mínima de 2,00 m, con el fin de minimizar el espesor de material que es susceptible a la licuación. Entre las torres TVA453 y TVA460 (trazado actual entre las torres TVA453V1 y TVA460) se presenta susceptibilidad a licuación en promedio hasta 1,00 m de profundidad. Sin embargo, se considera que no se requieren cimentaciones especiales ya que para todas estas torres se recomienda cimentación tipo zapata en suelo cuyo nivel de desplante se encuentra entre 3,00 y 5,30 m, y para alternativa de cimentación tipo micropilote en suelo se recomienda que el nivel de desplante de la zapata se encuentre a 1,00 m, con un mejoramiento de los materiales sobre y hasta 2,00m alrededor de la zapata de los micropilotes sin camisa, con el fin que las torres no se vean afectadas por pérdida de confinamiento, en el caso de presentarse el fenómeno de licuación. El mejoramiento se hará con material del sitio, compactado al 90% del ensayo proctor modificado.

Finalmente, para los demás sitios de torre de la línea de transmisión La Virginia - Alférez, no se identificaron sitios que cumplan las condiciones necesarias para que se pueda generar licuación del suelo.”

#### 5.1.10.3.10. Resistividad eléctrica y pH

El análisis de resistividad eléctrica y de pH se realiza principalmente para determinar el potencial de corrosión del suelo sobre estructuras de acero. En general, los lugares con

resistividad baja ( $<50 \Omega^*m$ ) y valores de pH menores a 5,0 tienden a incrementar la corrosión.

Se calcularon los resultados promedio de resistividad para cada grupo de perforaciones dentro de cada unidad geológica que se encuentren a una profundidad promedio de 4,00 m. Tal como se presenta en la Tabla 23, las unidades geológicas Qto, Tcpc (Granular), Kcd-t, Jkoga y Qt, Qca, Qt (Granular) presentan valores de resistividad superiores a  $50 \Omega^*m$ , mientras que las unidades geológicas TPz, Tmp, Tcpc (Cohesivo), Tmpo y Qt, Qca, Qt (Cohesivo) muestran resistividades entre 9 y  $43 \Omega^*m$ .

Tabla 23. Resultados de resistividad eléctrica por unidad geológica.

Unidad geológica	Resistividad Promedio Separación 4 m ( $\Omega^*m$ )
Qto	55,72
TPz	31,42
Tmp (Cohesivo)	13,97
Tmp (Granular)	32,26
Tcpc (Cohesivo)	43,67
Tcpc (Granular)	79,59
Tmpo	9,39
Kcd-t (Cohesivo)	213,17
Kcd-t (Granular)	281,69
Jkoga (Cohesivo)	109,40
Jkoga (Granular)	136,80
Qt, Qca, Qt (Cohesivo)	31,60
Qt, Qca, Qt (Granular)	62,7

Se tomaron los valores promedio de pH para cada unidad geológica, tal como se presenta en la Tabla 24. Se puede observar que las unidades geológicas presentan valores de pH mayores a 5,0.

Tabla 24. Valores de pH por unidad geológica.

Unidad geológica	pH Promedio
Qto	6,7
TPz	6,8
TMp (Cohesivo)	6,8
TMp (Granular)	6,8
Tocp (Cohesivo)	7,1
Tocp (Granular)	7,1
Tmpo	7,0
Kcd-t (Cohesivo)	6,9
Kcd-t (Granular)	6,7
Jkoga (Cohesivo)	6,5
Jkoga (Granular)	6,7
Qt, Qca, Qt (Cohesivo)	6,9
Qt, Qca, Qt (Granular)	7,0

#### 5.1.10.4. Zonificación geotécnica

A partir de los análisis relacionados con la caracterización de las variables edafológicas, geológicas, geotécnicas y climatológicas se implementa una zonificación geotécnica que permite agrupar y/o diferenciar zonas de comportamiento homogéneo desde el punto de vista geotécnico. Se acoge la metodología semicuantitativa presentada por Ramírez y González (1989), la cual define zonas de inestabilidad geotécnica a partir de las condiciones litológicas, topográficas y climáticas, y asigna una categoría de estabilidad. La metodología evalúa ocho parámetros y por último se integran todas estas variables con la ayuda del sistema de información geográfica ArcGis.

Los parámetros involucrados en la zonificación geotécnica se presentan a continuación:

- Tipo de material - Geología (M)
- Relieve – Pendiente del terreno (R)
- Drenaje (D)
- Geomorfología y procesos morfodinámicos- Erosión (E)

- Clima – Precipitación (C)
- Vegetación – Cobertura vegetal (V)
- Sismicidad (S)
- Evidencia de procesos antiguos de inestabilidad (F)

A continuación, se describen cada uno de los parámetros contemplados en la metodología de Ramírez y González (1989), describiendo particularmente aquellos relevantes para las condiciones del proyecto.

#### 5.1.10.4.1. Parámetro Material (M)

Los materiales se clasifican inicialmente en tres grupos principales; roca, material intermedio o suelo. A lo largo del proyecto, se encuentran suelos residuales de las formaciones Zarzal (TPz), La Paila (TmP), Cinta de Piedra (Tocp), La Pobreza (TmPo) y Batolito de Buga (Kcd-t) y depósitos de lodo ubicados en la zona nor-este del proyecto. Hacia el costado suroriental se encuentran depósitos aluviales, coluviales y de terraza. En la Tabla 25 y en la Tabla 26 se presentan las calificaciones aplicables para los suelos residuales y los suelos transportados respectivamente.

Tabla 25. Clasificación de suelos residuales.

Roca Parental	Tipo de Suelo	Residual			
		Suelo		Saprolito	
		Granular	Fino	Granular	Fino
Ígneo		2	3	3	4
Metamórfico		1	2	2	3
Sedimentario		1	2	2	3
Cenizas volcánicas		2	3	3	4

Fuente: Ramírez y González, 1989

Tabla 26. Clasificación de suelos transportados.

Transportado							
Transportados por gravedad		Transportados por agente naturales					
		Agua		Viento		Hielo	
Granular	Fino	Granular	Fino	Granular	Fino	Granular	Fino
3	4	2	3	2	3	2	3

Fuente: Ramírez y González, 1989

A continuación se muestra la clasificación y peso asignado para los suelos residuales, teniendo en cuenta su origen y tipo de comportamiento. Estos materiales son altamente meteorizados y provienen de diferentes formaciones encontradas en la zona de estudio.

Tabla 27. Calificación parámetro material - suelos residuales.

Suelos		Unidad geológica	Tipo de Suelo	Peso
Residuales	Origen volcánico	Kcd-t, Jkoga, Tmpo, TPz	Cohesivo	3
			Granular	2
Residuales	Rocas sedimentarias	Tocp, TMP	Cohesivo	2
			Granular	1

Los suelos transportados son aquellos que se caracterizan por ser depósitos, para esta zona los suelos encontrados son depósitos de Derrubio, depósitos Aluviales, conos aluviales, depósitos de Terraza y Flujos de lodo y cenizas, los cuales se calificaron con un peso de 3 para comportamiento cohesivo y 2 comportamiento para granular.

Tabla 28. Calificación parámetro material - suelos transportados.

Suelos		Unidad geológica	Tipo de Suelo	Peso
Transportados	Transportados por hielo y agua	Qto, Qt, Qca, Qal, Qd	Cohesivo	3
			Granular	2

Tabla 29. Áreas por tipo de calificación - parámetro material.

Parámetro Material (M)		
Peso	Área Ha	Área %
1	76,6	6,1
2	738,9	59,1
3	435,3	34,8

#### 5.1.10.4.2. Parámetro Relieve (R)

Este parámetro se evalúa a través de la adición de dos parámetros, la pendiente del terreno (A) y la forma del terreno (B). La suma de estos dos parámetros no debe superar el valor de 44, los valores asignados por la metodología se presentan en la Tabla 30 y la Tabla 31.

Tabla 30. Clasificación de pendientes.

Sub - zonas	Rango de Pendiente	A
1. Interfluvio	0 - 1°	30
2. Ladera con infiltración	2° - 4°	19
3. Ladera con reptación	10° - 30°	8
4. Escarpe o ladera rectilínea	> 30°	19
5. Ladera intermedia de transporte	20° - 30°	6
6. Ladera coluvial	5° - 20°	6
7. Aluviones	0 - 4°	21
8. Ladera de Cauce	> 40°	6

Fuente: Ramírez y González. (1989).

Tabla 31. Clasificación de morfología del terreno.

Perfil	B
Convexo	9
Rectilíneo	12
Cóncavo	14

Fuente: Ramírez y González. (1989).

Teniendo en cuenta las características morfológicas del proyecto caracterizadas principalmente por bajas pendientes, y las clasificaciones previstas en la metodología, se reclasificaron los rangos de pendientes del terreno de la siguiente manera: de 0 a 4°, 4 a 20°, 20 a 30° y mayores de 30°. Los valores asignados para estas pendientes corresponden a 21 (aluviones), 6 (ladera coluvial), 6 (ladera intermedia de transporte) y 19 (escarpes o laderas rectilíneas), respectivamente.

Los depósitos suelen tener pendientes bajas, por lo tanto se considera un perfil rectilíneo y para las zonas con pendientes mayores a 20° se considera que es un perfil cóncavo. A continuación se muestran los resultados de la suma de los parámetros A y B.

Tabla 32. Calificación parámetro relieve.

Unidad geológica	Pendiente	A+B
Qto	-	15
Qt, Qca, Qal, Qd	-	33
Kcd-t, Jkoga, Tmpo, TPz, Tocp, TMp	0-4 (0-7%)	33
	4-20 (7-36%)	18



Unidad geológica	Pendiente	A+B
Kcd-t, Jkoga, Tmpo, TPz, Ttcp, TMP	20-30 (36-58%)	20
	>30 (>58%)	33

Tabla 33. Áreas por tipo de calificación - parámetro relieve.

Peso	Área Ha	Área %
15	23,9	1,9
18	523,9	41,9
20	165,8	13,3
33	537,2	42,9

#### 5.1.10.4.3. Parámetro Drenaje (D)

Para este parámetro se hace la evaluación teniendo en cuenta las densidades de drenajes combinadas con las pendientes promedio de los cauces, como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Parámetro de drenaje.

Pendiente promedio de Cauces	Densidad del drenaje		
	Baja	Media	Alta
Baja (0 - 5°)	35	30	23
Media (5° - 15°)	25	19	13
Alta (> 15°)	16	10	6

Fuente: Ramírez y González. (1989).

A continuación se muestran las áreas en hectáreas y porcentajes correspondientes a cada pendiente promedio de cauce.

Tabla 35. Áreas por densidad de drenaje baja - parámetro drenaje.

Pendiente promedio de Cauces	Densidad del drenaje baja	Área ha	Área %
Baja (0 - 5°)	35	355,6	28,4
Media (5° - 15°)	25	465,3	37,2
Alta (> 15°)	16	348,6	27,9

Tabla 36. Áreas por densidad de drenaje media - parámetro drenaje.

Pendiente promedio de Cauces	Densidad del drenaje media	Área ha	Área %
Baja (0 - 5°)	30	10,1	0,8
Media (5° - 15°)	19	23,9	1,9
Alta (> 15°)	10	5,0	0,4

Tabla 37. Áreas por densidad de drenaje alta - parámetro drenaje.

Pendiente promedio de Cauces	Densidad del drenaje alta	Área ha	Área %
Baja (0 - 5°)	23	2,5	0,2
Media (5° - 15°)	13	17,1	1,4
Alta (> 15°)	6	22,8	1,8

#### 5.1.10.4.4. Parámetro Erosión (E)

En la metodología usada se plantea que en caso de no presentarse erosión en la zona de estudio, la máxima puntuación corresponde a 35. En la Tabla 38 se presentan las calificaciones asociadas al tipo de erosión y porcentaje de erosión encontrado en la zona.

Tabla 38. Parámetro de erosión.

Tipo Erosión	% Área afectada	Leve 0 - 10%	Moderada 10 - 30%	Severa 30 - 30%	Muy severa > 60%
Laminar		30	21	14	5
Diferencial		22	15	10	4
Concentrada		15	11	7	3
Por socavación		11	8	5	2

\*Nota: Cuando no hay erosión el puntaje será 35

Fuente: Ramírez y González. (1989).

Como se identifica en el capítulo 5.1.5.4. Procesos morfodinámicos, los procesos evaluados dentro del área de servidumbre principalmente corresponden a erosión laminar y su porcentaje de área afectada es menor a 1,18%, por evaluación de la metodología se determina un parámetro de 30 para toda la zona, por lo tanto el área que cubre esta calificación es del 100%.

Tabla 39. Área por tipo de calificación - parámetro erosión

Peso	Área Ha	Área %
30	1250,8	100

#### 5.1.10.4.5. Parámetro Clima (C)

Para determinar el nivel de precipitación de la zona de estudio se tomó la distribución espacial de precipitación anual desarrollada dentro de la caracterización climatológica en el numeral 5.1.6 del presente documento. Con base en las precipitaciones anuales del proyecto, las cuales varían entre 1000 y 3000 mm/año, y considerando los rangos de precipitación nacional, las precipitaciones del proyecto son clasificadas como media precipitaciones entre 1000 y 2000 mm/año y alta entre 2000 y 3000 mm/año, por tanto se asigna un valor de 19 y 8 para el proyecto. En la Tabla 40 se presentan las valoraciones de este parámetro propuestas en la metodología.

Tabla 40. Clasificación de las precipitaciones medias anuales.

PMA	Baja	Media	Alta
C	40	19	8

Fuente: Ramírez y González. (1989).

A continuación se muestra las áreas asociadas a la precipitación media anual media y alta

Tabla 41. Áreas por tipo de precipitación - parámetro clima

Precipitación	Peso	Área Ha	Área %
Media	19	1139,0	91,1
Alta	8	111,8	8,9

#### 5.1.10.4.6. Parámetro Procesos de remoción en masa (F)

En la Tabla 42 se presenta la valoración de los procesos de remoción en masa en función del área afectada en el proyecto.

Tabla 42. Calificación de la participación de procesos de remoción en masa.

% Área directamente asociada con evidencias de fenómenos de inestabilidad	0 - 10%	10 - 30%	30 - 60%	>60%
F	40	28	18	7

Fuente: Ramírez y González. (1989).

Dentro del área de servidumbre evaluada se identifica que el porcentaje de área afectada por procesos de remoción en masa (Flujo, Flujo de detritos, Deslizamiento Reptación, Terracetas y Deslizamiento Rotacional) indicados en el numeral 5.1.5.4.2 Procesos morfodinámicos es de 2,59 ha, lo que equivale al 0,24% del área por lo tanto es menor al 10%, con lo cual se determina un parámetro de 40.

Tabla 43. Área por tipo de calificación - parámetro amenaza sísmica

Peso	Área Ha	Área %
40	1250,8	100

#### 5.1.10.4.7. Parámetro de vegetación (V)

En la Tabla 44 se presentan los criterios de pendiente y tipo de vegetación planteados en la metodología para evaluar el parámetro V. Para este se establece como máxima puntuación el valor de 32.

Tabla 44. Calificación de la vegetación.

Pendiente	% Área cubierta	0 - 20°			20° - 45°			< 45°		
		0 - 30%	30 - 50%	> 50%	0 - 30%	30 - 50%	> 50%	0 - 30%	30 - 50%	> 50%
Bosque nativo, secundario o rastrojo alto		12	22	32	10	17	25	8	13	19
Rastrojo bajo, cultivo permanente o semipermanente		10	18	27	7	12	17	3	5	7
Pastos o vegetación herbácea		10	17	25	6	10	14	2	4	6
Cultivos limpios o desmonte		8	14	20	3	6	8	1	2	3

Fuente: Ramírez y González. (1989).

Se llevó a cabo una reclasificación de los tipos de vegetación planteados en la metodología, (Ver Tabla 45) de manera que aquellos con Tejido urbano continuo, Tejido urbano discontinuo, Zonas industriales o comerciales, Red vial, ferroviaria y terrenos

asociados, Instalaciones recreativas, Zonas pantanosas, Vegetación acuática sobre cuerpos de agua fueron clasificados como zonas sin vegetación pero que han sido cubiertas para el desarrollo de actividades o que corresponden a cuerpos de agua. Para estas unidades se asignó una valoración de 32. De otro lado, las zonas asociadas a Zonas verdes urbanas, Pastos limpios, Pastos arbolados, Pastos enmalezados, Vegetación secundaria o en transición fueron clasificados como pastos o vegetación herbácea, las zonas de Bosque de galería y/o ripario fueron asociadas a Bosque nativo, las zonas de Otros cultivos transitorios y Tierras desnudas y degradadas, fueron asociadas a Cultivos limpios o desmonte, y finalmente, las zonas de Cereales, Tubérculos y Cultivos confinados fueron asociadas a Rastrojos Bajos. Así mismo se realiza la reclasificación de pendientes de acuerdo con los lineamientos de la metodología (Ver Tabla 46).

Tabla 45. Reclasificación de tipo de vegetación.

Descripción	Tipo de vegetación
Tejido Urbano discontinuo	Bosque nativo o rastrojo alto
Zonas industriales o comerciales	
Zonas pantanosas	
Ríos (50 m)	
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	
Canales	
Cuerpos de agua artificiales	
Red vial y territorios asociados	
Cultivos permanentes herbáceos	Rastrojo bajo
Cultivos permanentes arbustivos	
Cultivos permanentes arbóreos	
Pastos limpios	
Pastos enmalezados	
Mosaico de cultivos	
Mosaico de pastos y cultivos	
Bosque de galería y/o ripario	
Zonas arenosas naturales	
Tierras desnudas y degradadas	

Tabla 46. Reclasificación de pendientes.

Pendiente	Rastrojo bajo
0-20 (0-36%)	27
20-45 (36-100%)	17
>45 (>100%)	7

En las siguientes tablas se presentan las calificaciones dadas para cada uno de los tipos de coberturas vegetales.

Tabla 47. Áreas por vegetación (Rastrojo alto) - parámetro vegetal

Pendiente	Bosque nativo o rastrojo alto	Área ha	Área %
0 - 36%	32	337,8	27,0

Tabla 48. Áreas por vegetación (Rastrojo bajo) - parámetro vegetal

Pendiente	Rastrojo bajo	Área ha	Área %
0 - 36%	27	766,1	61,2
36% - 100%	17	145,9	11,7
> 100%	7	0,9	0,1

#### 5.1.10.4.8. Parámetro de amenaza sísmica (A)

En la Tabla 49 se presenta la evaluación de la amenaza sísmica con base en la aceleración pico a nivel de roca ( $A_a$ ) establecida en la Norma sismoresistente (NSR-10) y el tipo de material.

Tabla 49. Calificación de la amenaza sísmica.

Tipo de Material	Riesgo sísmico	Valores de $A_a^*$				
		0	0,1	0,2	0,25	0,3
S1		24	17	8	5	2
S2		12	8	4	3	1
S3		4	3	1	1	0

Fuente: Ramírez y González. (1989).



Los perfiles de suelo se describen a continuación:

- S1: a) Roca de cualquier característica, ya sea cristalina o lutítica que tienen velocidad de onda de cortante  $> 750$  m/s. b) Perfiles conformados por suelos duros con un espesor menor de 60 m compuestos por depósitos.
- S2: Perfil que entre la roca y la superficie hay más de 60 m de depósitos de arcillas duras o suelos no cohesivos.
- S3: Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 10 m de depósitos de arcilla cuya dureza varía entre mediana a blanda, con o sin intercalaciones de arenas u otros suelos cohesivos.

Para el corredor del proyecto se tiene un valor de  $A_a$  uniforme de 0,25 g y se atraviesan materiales tipo S1 asociados a la presencia de suelos de las diferentes formaciones presentes a lo largo del trazado y de depósitos. La calificación correspondiente es de 5.

Tabla 50. Área por tipo de calificación - parámetro amenaza sísmica

Peso	Área Ha	Área %
5	1250,8	100

#### 5.1.10.4.9. Calificación de estabilidad (CE):

A partir de la suma de las valoraciones de los parámetros descritos se obtiene una calificación de la estabilidad de las laderas, cuya categorización de estabilidad se presenta en la Tabla 51, a la cual se le asocia la zonificación de estabilidad geotécnica respectiva.

Tabla 51. Categorías de estabilidad

Categoría de Estabilidad	Calificación de estabilidad CE	Descripción	Zonificación Geotécnica
Zonas estables o independientes	200 - 300	Zonas que se consideran estables a partir del análisis comparativo con otras pendientes. Incluye pendientes que no presentan inestabilidad y zonas de planicies.	Muy Baja
Zonas estables poco dependientes	185 - 200	Pendientes que no presentan evidencias de deslizamiento pero pueden desarrollar procesos morfodinámicos dependiendo del manejo de la ladera.	Baja
Zonas estables moderadamente	150 - 185	Pendientes que puntualmente presentan evidencia de deslizamientos antiguos cuya	Media

Categoría de Estabilidad	Calificación de estabilidad CE	Descripción	Zonificación Geotécnica
dependientes		reactivación depende del manejo de la ladera.	
Zonas estables muy dependientes	120 - 150	Pendientes con evidencias locales de deslizamientos antiguos y recientes.	
Zona inestables recuperables	85 - 120	Pendientes con evidencia de deslizamientos y procesos de inestabilidad anteriores, pero que no han sufrido cambios en el registro histórico. Las formas de erosión son evidentes.	
Zona de inestabilidad alta	55 - 85	Pendientes que presentan deslizamientos frecuentes o reactivación de deslizamientos antiguos. Los procesos de inestabilidad no son regulares y se asocian a eventos espaciados varios años.	Alta
Zona de prohibición	40 - 55	Pendientes con deslizamientos activos, recientes y bien definidos. Los procesos de inestabilidad son continuos o asociados a periodos de lluvia.	Muy Alta

Fuente: Modificado de Ramírez y González. (1989).

Tabla 52. Resultados de inestabilidad

Categoría de inestabilidad	Superficie (ha)	Proporción (%)
Muy baja	0,00	0
Baja	350,15	28
Media	900,66	72
Alta	0,00	0
Muy alta	0,00	0
<b>Total</b>	<b>1250,81</b>	<b>100</b>

En el Anexo D8.5 Plano 0451701-PG-L-GTMA-00-001 se presentan los procesos geomorfológicos y la zonificación geotécnica del corredor establecida implementando la metodología de Ramírez y González (1989), donde se identifican zonas de baja y media estabilidad geotécnica

De acuerdo con el análisis realizado, se determina que el 72% del área de influencia se encuentra en una zona de inestabilidad media relacionada con movimientos en masa. Esta categoría se refiere a zonas con laderas sin evidencia de inestabilidad actual y áreas de laderas con inestabilidad generada por procesos erosivos de baja intensidad predominando procesos de reptación, donde el parámetro que tiene la mayor participación en la calificación se relaciona con la pendiente natural del terreno. En el numeral 5.1.4.4.1 se relacionan los procesos morfodinámicos (erosión antrópica y erosión laminar), los cuales tienen una participación menor y representan el 1,18% del área de caracterización.

La lluvia y la intervención antrópica, son agentes externos que ayudan a activar posibles inestabilidades en la zona de estudio. Por lo anterior, se recomienda hacer un seguimiento periódico del estado de los procesos morfodinámicos identificados dentro del área de caracterización y determinar si se evidencia algún tipo nuevo de inestabilidad dentro de la zona de inestabilidad media. Se recomienda realizar esta verificación por medio de una visita a la zona del proyecto en épocas de lluvia.

#### 5.1.10.5. Análisis y recomendaciones geotécnicas

A continuación se presentan las recomendaciones geotécnicas, teniendo en cuenta los análisis de capacidad portante y de estabilidad de taludes temporales a partir de la información analizada anteriormente.

##### 5.1.10.5.1. Tipo de cimentación

De acuerdo con el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferez” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019, se seleccionaron los tipos de cimentación para las diferentes torres localizadas en la zona del proyecto, las cuales están definidas como:

- Zapatas en Suelo
- Parrillas metálicas pesadas
- Parrillas metálicas livianas
- Micropilotes en Suelo
- Pila con campana

#### 5.1.10.5.2. Capacidad Portante

De acuerdo con el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferez” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019, se determinó que los suelos presentes en la zona de estudio presentan capacidades portantes mayores a 100 kPa. En el Anexo D8.4 se presenta el resumen de capacidad portante de cada zona de torre.

#### 5.1.10.5.3. Estabilidad de taludes temporales

De acuerdo con el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferez” realizado por la empresa CONCOL en el año 2019, se realiza la siguiente consideración con respecto a la estabilidad de taludes:

“El alineamiento se encuentra estructuralmente al oriente de la Fosa Tectónica del Cauca, cuyas rocas han sido metamorfizadas, plegadas y falladas durante varias orogenias; los sistemas de fallas presentes en la zona del proyecto, de más antiguo a más moderno son: N10°-30°E, E-W y NW-SE. La afectación de los terrenos por la actividad tectónica a la que han sido expuestos, se manifiesta por la presencia de deslizamientos y asentamiento, como se observa en los vanos entre los sitios de Torre TVA071V a TVA077V (Formación Cinta de Piedra), en donde se presentan procesos morfodinámicos que pueden ser generados por la Falla de Quebrada Nueva y el Sinclinal de Miravalles y, en el área entre los vanos de los sitios de Torre TVA375 a TVA381N (Formación Amaime), cuyos materiales presentan fenómenos de remoción en masa y susceptibilidad a dichos procesos, atribuibles a la Falla de Potrerillos. No obstante, se seleccionaron los sitios que presentaron las mejores características físicas, en contexto, para el emplazamiento de las estructuras del proyecto, así como la optimización del plantillado. Dado lo anterior, se considera que ninguna de las fallas presentes en la zona del proyecto va a generar inconvenientes de estabilidad en los lugares en donde se ubicaron los sitios de torre.”

Es importante tener en cuenta que de acuerdo con el trazado actual, las torres de la TVA375 a TVA381N del estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferez”, realizado por CONCOL en el año 2019 fueron trasladadas, para lo cual se debe realizar una verificación del comportamiento en los sitios de torres que fueron modificados.

Adicionalmente, el estudio “Informe de estudio de suelos y Geología de detalle. Tramo La Virginia - Alferez”, realizado por CONCOL en el año 2019, se realiza la siguiente recomendación:

- “Para el caso de las pilas en suelo, su excavación deberá realizarse manual o mecánicamente; en el caso de realizarse manualmente, deberán incorporarse anillos perimetrales que garanticen la estabilidad de las excavaciones durante el proceso de construcción.”

#### 5.1.10.6. Conclusiones

- La línea de energía consta de 433 torres de energía, de las cuales se contó con información geotécnica de 319 torres o un 77% del total de las torres para la elaboración de este estudio.
- Se realizó la zonificación geotécnica a partir de las unidades geológicas presentes en la zona de estudio. A partir de esta información se realizó la caracterización geotécnica de cada zona, donde las unidades geológicas Qto, TPz y Tmpo están conformadas principalmente por suelos de comportamiento cohesivo, mientras que las unidades geológicas Tmp y Tocz presentan un comportamiento cohesivo en el 85% de las perforaciones que conforman cada unidad y el 15% restante presentan un comportamiento granular.
- Los factores que determinan la definición del tipo de cimentación es la resistividad térmica y el nivel de agua presente en la zona de estudio, para este último se tiene presente que debido a las condiciones climáticas de la zona, se puede presentar una fluctuación del nivel freático en distintas épocas del año. Por lo tanto se recomienda el uso de zapatas aisladas en todas las zonas y subzonas presentes en la zona de estudio.
- Se presenta la zonificación geotécnica del corredor establecida implementando la metodología de Ramírez y González (1989), donde se identifican zonas de baja y media inestabilidad geotécnica a lo largo del corredor.

#### 5.1.10.7. Referencias


Consultoría Colombiana S.A. (2019). Complemento de Diseños Detallados para las Líneas de Transmisión para el Proyecto Refuerzo Suroccidental a 500 kV. Tramo La Virginia-Alferez. Informe de Estudio de Suelos y Geología de Detalle. Bogotá: Documento EEB-U414-CT101223-L380-DIS-4000.

Terzaghi K, P. R. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. New York: 3rd Edition, Wiley.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá: .

State of Florida - Department of Transportation (2012). *Soils and Foundations Handbook*. Gainesville, Florida: State of Materials Office.



1	Noviembre 2022			
0	Julio 2022			
<b>Versión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 <b>Grupo Energía Bogotá</b> <b>UPME 04-2014 REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 kV</b> <b>PROYECTO LA VIRGINIA – ALFÉREZ</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>				
<b>Capítulo 5.1 MEDIO ABIÓTICO (NUMERAL 5.1.11)</b> 				
<b>ESCALA SIN</b>	<b>FORMATO Carta</b>	CÓDIGO GEB: <b>EEB-U414-CT102150-L380-HSE-2006</b>		
		CÓDIGO CONTRATISTA: <b>04517.01-INF-LL-EAMB-CAP5.1.11-0011</b>		

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>27</b>
<b>2. GENERALIDADES</b>	<b>27</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>27</b>
<b>4. ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>27</b>
<b>5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA</b>	<b>28</b>
5.1. MEDIO ABIÓTICO	28
5.1.11. Atmósfera	28
5.1.11.1. Meteorología	28
5.1.11.1.1. Recopilación de información	29
5.1.11.1.1.1. Selección del periodo común de registros	35
5.1.11.1.2. Caracterización meteorológica	36
5.1.11.1.2.1. Temperatura	36
5.1.11.1.2.2. Presión atmosférica promedio mensual	109
5.1.11.1.2.3. Precipitación	110
5.1.11.1.2.4. Humedad relativa	114
5.1.11.1.2.5. Dirección y velocidad del viento	135
5.1.11.1.2.6. Radiación solar	147
5.1.11.1.2.7. Brillo solar	152
5.1.11.1.2.8. Evaporación	155
5.1.11.1.2.9. Evapotranspiración	156
5.1.11.1.2.10. Nubosidad	161
5.1.11.1.3. Zonificación climática	166
5.1.11.2. Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas	172
5.1.11.2.1. Inventario de fuentes de emisión atmosférica información secundaria	173
5.1.11.2.2. Inventario de fuentes de emisión atmosférica información primaria	180
5.1.11.2.3. Aforo vehicular y emisiones móviles	187
5.1.11.2.4. Inventario de receptores sensibles	205

---

5.1.11.3. Calidad del aire (Información de Inmisión)	209
5.1.11.3.1. Normatividad ambiental vigente	209
5.1.11.3.2. Resultados consulta SISAIRE y SVCA autoridades ambientales	211
5.1.11.3.3. Monitoreo calidad del aire 2018 GEB	231
5.1.11.4. Ruido	239
5.1.11.4.1. Monitoreos de ruido 2018	239
5.1.11.4.1.1. Inventario de fuentes generadoras de ruido 2018	239
5.1.11.4.1.2. Monitoreo de ruido 2018	240
5.1.11.4.1.3. Conclusiones	256
5.1.11.4.2. Monitoreo de ruido ambiental 2020	257
5.1.11.4.2.1. Inventario de fuentes generadoras de ruido	257
5.1.11.4.2.2. Receptores de ruido generado por el proyecto	263
5.1.11.4.2.3. Monitoreo de ruido	263
5.1.11.4.2.4. Condiciones atmosféricas	273
5.1.11.4.2.5. Equipos utilizados	275
5.1.11.4.2.6. Procedimiento de medición de ruido	276
5.1.11.4.2.7. Normatividad	279
5.1.11.4.2.8. Resultados y análisis	281
5.1.11.4.2.9. Conclusiones	288
5.1.11.4.3. Monitoreo de ruido ambiental 2021	289
5.1.11.4.3.1. Inventario de fuentes generadoras de ruido	289
5.1.11.4.3.2. Condiciones atmosféricas	296
5.1.11.4.3.3. Equipos utilizados	297
5.1.11.4.3.4. Procedimiento de medición de ruido	297
5.1.11.4.3.5. Normatividad	300
5.1.11.4.3.6. Resultados y análisis	302
5.1.11.4.3.7. Conclusiones	305
5.1.11.4.4. Modelo de ruido	306
5.1.11.4.4.1. Descripción de los modelos	306
5.1.11.4.4.2. Información de entrada de fuentes móviles y fijas	307
5.1.11.4.4.3. Métodos de cálculo	310
5.1.11.4.4.4. Método fuentes móviles de ruido	310
5.1.11.4.4.5. Resultados de los modelos de ruido	315

5.1.11.5. Conclusiones

395

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Estaciones empleadas en la caracterización climatológica.
- Tabla 2. Estaciones empleadas en el análisis de cada parámetro.
- Tabla 3. Periodo común de registro para parámetros atmosféricos.
- Tabla 4. Temperatura media mensual multianual (°C) en las estaciones cercanas al área de influencia.
- Tabla 5. Temperatura media estación Apto. Bonilla. Periodo 1996-2019.
- Tabla 6. Temperatura media anual, estación Apto. Bonilla. Periodo 1996-2019.
- Tabla 7. Temperatura media en la estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.
- Tabla 8. Temperatura media anual, estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.
- Tabla 9. Temperatura media diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.
- Tabla 10. Temperatura media anual, estación Barragan. Periodo 1996-2019.
- Tabla 11. Temperatura media estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.
- Tabla 12. Temperatura media anual, estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.
- Tabla 13. Temperatura Media estación Cumarco. Periodo 1996-2019.
- Tabla 14. Temperatura media anual, estación Cumarco. Periodo 1996-2019.
- Tabla 15. Temperatura media estación Mateguadua Periodo 1996-2019.
- Tabla 16. Temperatura media anual, estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.
- Tabla 17. Temperatura Media estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.
- Tabla 18. Temperatura media anual, estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.
- Tabla 19. Temperatura Media estación Riomanso. Periodo 1996-2019.
- Tabla 20. Temperatura media anual, estación Riomanso. Periodo 1996-2019.
- Tabla 21. Temperatura Media estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.
- Tabla 22. Temperatura media anual, estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.
- Tabla 23. Temperatura Media estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

- 
- Tabla 24. Temperatura media anual, estación San Marcos. Periodo 1996-2019.
- Tabla 25. Temperatura Media estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.
- Tabla 26. Temperatura media anual, estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.
- Tabla 27. Temperatura media estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.
- Tabla 28. Temperatura media anual, estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.
- Tabla 29. Temperatura máxima diaria estación Apto. Matecaña. Periodo 1996-2019.
- Tabla 30. Temperatura máxima anual, estación Apto. Matecaña. Periodo 1996-2019.
- Tabla 31. Temperatura máxima diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.
- Tabla 32. Temperatura máxima anual, estación Barragán. Periodo 1996-2019.
- Tabla 33. Temperatura máxima diaria estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.
- Tabla 34. Temperatura máxima anual, estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.
- Tabla 35. Temperatura máxima diaria estación Cumbarco. 1996-2019.
- Tabla 36. Temperatura máxima anual, estación Cumbarco. Periodo 1996-2019.
- Tabla 37. Temperatura máxima diaria estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.
- Tabla 38. Temperatura máxima anual, estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.
- Tabla 39. Temperatura máxima diaria estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.
- Tabla 40. Temperatura máxima anual, estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.
- Tabla 41. Temperatura máxima diaria Riomanso. Periodo 1996-2019.
- Tabla 42. Temperatura máxima anual, estación Riomanso. Periodo 1996-2019.
- Tabla 43. Temperatura máxima diaria estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.
- Tabla 44. Temperatura máxima anual, estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.
- Tabla 45. Temperatura máxima diaria estación San Marcos. Periodo 1996-2019.
- Tabla 46. Temperatura máxima anual, estación San Marcos. Periodo 1996-2019.
- Tabla 47. Temperatura máxima diaria estación San José Palmar. 1996-2019.
- Tabla 48. Temperatura máxima anual, estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.
-



- 
- Tabla 49. Temperatura máxima diaria estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.
- Tabla 50. Temperatura máxima anual, estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.
- Tabla 51. Temperatura mínima diaria estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.
- Tabla 52. Temperatura mínima anual, estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.
- Tabla 53. Temperatura mínima diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.
- Tabla 54. Temperatura mínima anual, estación Barragán. Periodo 1996-2019.
- Tabla 55. Temperatura mínima diaria estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.
- Tabla 56. Temperatura mínima anual, estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.
- Tabla 57. Temperatura mínima diaria estación Cumbarco. Periodo 1996-2019.
- Tabla 58. Temperatura mínima anual, estación Cumbarco. Periodo 1996-2019.
- Tabla 59. Temperatura mínima diaria estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.
- Tabla 60. Temperatura mínima anual, estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.
- Tabla 61. Temperatura mínima diaria estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.
- Tabla 62. Temperatura mínima anual, estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.
- Tabla 63. Temperatura mínima diaria estación Riomanso. Periodo 1996-2019.
- Tabla 64. Temperatura mínima anual, estación Riomanso. Periodo 1996-2019.
- Tabla 65. Temperatura mínima diaria estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.
- Tabla 66. Temperatura mínima anual, estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.
- Tabla 67. Temperatura mínima diaria estación San Marcos. Periodo 1996-2019.
- Tabla 68. Temperatura mínima anual, estación San Marcos. Periodo 1996-2019.
- Tabla 69. Temperatura mínima diaria estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.
- Tabla 70. Temperatura mínima anual, estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.
- Tabla 71. Temperatura mínima diaria estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.
- Tabla 72. Temperatura mínima anual, estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.
-

Tabla 73. Presión atmosférica mensual estimada para el área de estudio.

Tabla 74. Precipitación total mensual multianual en mm en las estaciones analizadas. Periodo 1975-2019.

Tabla 75. Humedad relativa (%) en las estaciones cercanas al área de estudio.

Tabla 76. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Tabla 77. Media anual de Humedad Relativa media, estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Tabla 78. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Tabla 79. Media anual de Humedad Relativa (%), estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Tabla 80. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Tabla 81. Media anual de Humedad Relativa (%), estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Tabla 82. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Tabla 83. Media anual de Humedad Relativa máxima, estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Tabla 84. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Tabla 85. Media anual de Humedad Relativa máxima (%), estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Tabla 86. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Tabla 87. Media anual de Humedad Relativa máxima (%), estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Tabla 88. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Tabla 89. Media anual de Humedad Relativa mínima, estación Apto. Farfan. Periodo

1996-2016.

Tabla 90. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Tabla 91. Media anual de Humedad Relativa mínima (%), estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Tabla 92. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Tabla 93. Media anual de Humedad Relativa mínima (%), estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Tabla 94. Velocidad del viento (m/s) en las estaciones analizadas.

Tabla 95. Clasificación del viento a partir del rango de velocidades

Tabla 96. Clasificación del viento a partir del rango de velocidades en las estaciones analizadas.

Tabla 97. Promedio de radiación solar diaria acumulada (Wh/m<sup>2</sup>) registrada en las estaciones cercanas al área de influencia.

Tabla 98. Promedio horario mensual de la radiación global media (Wh/m<sup>2</sup>)

Tabla 99. Horas de brillo solar registradas en las estaciones analizadas.

Tabla 100. Evaporación media mensual multianual en las estaciones analizadas.

Tabla 101. Evapotranspiración potencial estación Centro Administrativo La Unión.

Tabla 102. Evapotranspiración potencial estación Palmira ICA.

Tabla 103. Evapotranspiración potencial en mm Centro Administrativo La Unión.

Tabla 104. Evapotranspiración potencial en mm Palmira ICA.

Tabla 105. Resultados obtenidos de evapotranspiración potencial en mm.

Tabla 106. Nubosidad (Octas) registrada en las estaciones analizadas.

Tabla 107. Clasificación de la nubosidad

Tabla 108. Resumen climático del modelo de CALDAS.

Tabla 109. Clases de clima según LANG.

Tabla 110. Tipos climáticos sistema CALDAS - LANG.

Tabla 111. Tipos climáticos presentes en el área de influencia abiótica.

Tabla 112. Descripción de las principales fuentes de emisión de partículas y gases en el área de influencia

Tabla 113. Fuentes fijas reportadas en el geoportal de CARDER

Tabla 114. Resultados inventario de emisiones municipio de Buga

Tabla 115. Resultados inventario de emisiones municipio de Cartago

Tabla 116. Resultados inventario de emisiones municipio de Tuluá

Tabla 117. Resultados inventario de emisiones fuentes fijas

Tabla 118. Categoría de los vehículos aforados

Tabla 119. Coordenadas de los puntos de aforo

Tabla 120. Registro fotográfico de los puntos aforados

Tabla 121. Cantidad de vehículos por punto aforado día hábil

Tabla 122. Cantidad de vehículos por punto aforado día no hábil

Tabla 123. TPD Estación 253 Territorial Valle Del Cauca Sector Tuluá - Buga.

Tabla 124. Clasificación flota vehicular

Tabla 125. Datos tramos viales proyectados en puntos de aforo

Tabla 126. Resultados emisiones por combustión interna

Tabla 127. Inventario de receptores sensibles

Tabla 128. Estándares máximos incluidos en la Resolución 2254 de 2017

Tabla 129. Puntos de corte e interpretación del ICA

Tabla 130. SVCA del SISAIRE cercanos al Proyecto

Tabla 131. Valores máximos y mínimos PM10 SCVA SISAIRE

Tabla 132. Métodos de muestreo calidad del aire 2018

Tabla 133. Descripción estaciones de monitoreo calidad del aire 2018

Tabla 134. ICAs monitoreo calidad del aire 2018

Tabla 135. Ubicación de los sitios de monitoreo de ruido

Tabla 136. Datos generales de medición

Tabla 137. Equipos utilizados para la medición

Tabla 138. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental dBA

Tabla 139. Principales variables meteorológicas – Tiempo de ejecución día hábil

Tabla 140. Principales variables meteorológicas – Tiempo de ejecución día no hábil

Tabla 141. Descripción general de los puntos de monitoreo de ruido

Tabla 142. Fuentes de ruido por punto de monitoreo día hábil / día no hábil

Tabla 143. Inventario fuentes de ruido

Tabla 144. Coordenadas de los puntos de monitoreo

Tabla 145. Fotografía de los puntos de monitoreo

Tabla 146. Rangos de detección mediciones climáticas

Tabla 147. Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del Viento durante el monitoreo de ruido ambiental día hábil y no hábil

Tabla 148. Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

Tabla 149. Niveles de ruido ambiental día hábil periodo diurno

Tabla 150. Niveles de ruido ambiental día no hábil periodo diurno

Tabla 151. Niveles de ruido ambiental día hábil periodo nocturno

Tabla 152. Niveles de ruido ambiental día no hábil periodo nocturno

Tabla 153. Comparación de los resultados del monitoreo de ruido ambiental día hábil comparados con la Norma

Tabla 154. Comparación de los resultados del monitoreo de ruido ambiental día no hábil comparados con la Norma

Tabla 155. Eventos reportados para cada punto de muestreo – Día Hábil

Tabla 156. Eventos reportados para cada punto de muestreo – Día no Hábil

Tabla 157. Descripción de los puntos de monitoreo

Tabla 158. Fotografías y coordenadas de los puntos de monitoreo

Tabla 159. Rangos de detección mediciones climáticas

Tabla 160. Valores ambientales registrados en cada punto de monitoreo

Tabla 161. Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

Tabla 162. Niveles de ruido ambiental día hábil periodo diurno

Tabla 163. Niveles de ruido ambiental día hábil periodo nocturno

Tabla 164. Niveles de ruido ambiental día no hábil periodo diurno

Tabla 165. Niveles de ruido ambiental día no hábil periodo nocturno

Tabla 166. Comparación de los resultados del monitoreo de ruido ambiental día hábil comparados con la Norma

Tabla 167. Comparación de los resultados del monitoreo de ruido ambiental día no hábil comparados con la Norma

Tabla 168. Estimado de maquinaria y equipos por sitio de torre

Tabla 169. Estimado de maquinaria y equipos patio de almacenamiento 1

Tabla 170. Estimado de maquinaria y equipos patio de almacenamiento 2

Tabla 171. Cálculo de emisión Media debido al Componente Rodadura.

Tabla 172. Ecuaciones utilizadas en el cálculo de dispersión

Tabla 173. Condiciones de atenuación del sonido en el espacio libre ISO 9613-2

Tabla 174. Configuración de Cálculo

Tabla 175. Resultados Línea base día hábil tramo 1

Tabla 176. Resultados Línea base día hábil tramo 2

Tabla 177. Resultados Línea base día hábil tramo 3

Tabla 178. Resultados Línea base día hábil tramo 4

Tabla 179. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 1 respecto a la norma

Tabla 180. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 2 respecto a la norma



Tabla 181. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 3 respecto a la norma

Tabla 182. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 4 respecto a la norma

Tabla 183. Resultados Línea base día no hábil tramo 1

Tabla 184. Resultados Línea base día no hábil tramo 2

Tabla 185. Resultados Línea base día no hábil tramo 3

Tabla 186. Resultados Línea base día no hábil tramo 4

Tabla 187. Comparación de los niveles de ruido escenario de Línea base día hábil respecto al día no hábil tramo 1

Tabla 188. Comparación de los niveles de ruido escenario de Línea base día hábil respecto al día no hábil tramo 2

Tabla 189. Comparación de los niveles de ruido escenario de Línea base día hábil respecto al día no hábil tramo 3

Tabla 190. Comparación de los niveles de ruido escenario de Línea base día hábil respecto al día no hábil tramo 4

Tabla 191. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 1 respecto a la norma

Tabla 192. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 2 respecto a la norma

Tabla 193. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 3 respecto a la norma

Tabla 194. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 4 respecto a la norma

Tabla 195. Maquinaria escenario de construcción etapa de cimentación

Tabla 196. Resultados Construcción etapa cimentación tramo 1

Tabla 197. Resultados Construcción etapa cimentación tramo 2

Tabla 198. Resultados Construcción etapa cimentación tramo 3

Tabla 199. Resultados Construcción etapa cimentación tramo 4

Tabla 200. Comparación de los resultados escenario de construcción cimentación respecto al escenario de Línea base tramo 1

Tabla 201. Comparación de los resultados escenario de construcción cimentación respecto al escenario de Línea base tramo 2

Tabla 202. Comparación de los resultados escenario de construcción cimentación respecto al escenario de Línea base tramo 3

Tabla 203. Comparación de los resultados escenario de construcción cimentación respecto al escenario de Línea base tramo 4

Tabla 204. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 1 respecto a la norma

Tabla 205. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 2 respecto a la norma

Tabla 206. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 3 respecto a la norma

Tabla 207. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 4 respecto a la norma

Tabla 208. Maquinaria escenario de construcción etapa de tendido

Tabla 209. Resultados Construcción etapa tendido tramo 1

Tabla 210. Resultados Construcción etapa tendido tramo 2

Tabla 211. Resultados Construcción etapa tendido tramo 3

Tabla 212. Resultados Construcción etapa tendido tramo 4

Tabla 213. Comparación de los resultados escenario de construcción tendido respecto al escenario de Línea base tramo 1

Tabla 214. Comparación de los resultados escenario de construcción tendido respecto al escenario de Línea base tramo 2

Tabla 215. Comparación de los resultados escenario de construcción tendido respecto al escenario de Línea base tramo 3

Tabla 216. Comparación de los resultados escenario de construcción tendido respecto al escenario de Línea base tramo 4

Tabla 217. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 1 respecto

a la norma

Tabla 218. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 2 respecto a la norma

Tabla 219. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 3 respecto a la norma

Tabla 220. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 4 respecto a la norma

Tabla 221. Ubicación de las torres donde se proyecta el uso del helicóptero

Tabla 222. Comparación de los resultados Escenario Línea base día hábil patio 1 respecto a la norma

Tabla 223. Comparación de los resultados Escenario de Operación patio 1 y Línea base respecto a la norma

Tabla 224. Comparación de los resultados Escenario Línea base patio 2 respecto a la norma

Tabla 225. Comparación de los resultados Escenario de Operación patio 2 respecto a la norma

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de estaciones climatológicas.

Figura 2. Variación mensual de la temperatura media en las estaciones.

Figura 3. Relación entre la temperatura media anual y la elevación.

Figura 4. Distribución espacial de la temperatura media anual.

Figura 5. Temperatura media en la estación Aeropuerto Bonilla. Periodo 1996-2019.

Figura 6. Variación de temperatura media anual en la estación Aeropuerto Bonilla. Periodo 1996-2019.

Figura 7. Temperatura media en la estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

Figura 8. Variación de temperatura media anual en la estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

Figura 9. Temperatura media diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Figura 10. Variación de temperatura media anual en la estación Barragan. Periodo 1996-2019.

Figura 11. Temperatura Media estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Figura 12. Variación de temperatura media anual en la estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Figura 13. Temperatura Media estación Cumberco. Periodo 1996-2019.

Figura 14. Variación de temperatura media anual en la estación Cumberco. Periodo 1996-2019.

Figura 15. Temperatura media estación Mateguadua Periodo 1996-2019.

Figura 16. Variación de temperatura media anual en la estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

Figura 17. Temperatura Media estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Figura 18. Variación de temperatura media anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Figura 19. Temperatura Media estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

Figura 20. Variación de temperatura media anual en la estación Riomanso. Periodo

1996-2019.

Figura 21. Temperatura Media estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

Figura 22. Variación de temperatura media anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

Figura 23. Temperatura Media estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Figura 24. Variación de temperatura media anual en la estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Figura 25. Temperatura Media estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

Figura 26. Variación de temperatura media anual en la estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

Figura 27. Temperatura Media estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Figura 28. Variación de temperatura media anual en la estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Figura 29. Temperatura máxima diaria estación Apto. Matecaña. Periodo 1996-2019.

Figura 30. Variación de temperatura máxima anual en la estación Aeropuerto. Matecaña. Periodo 1996-2019.

Figura 31. Temperatura máxima diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Figura 32. Variación de temperatura máxima anual en la estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Figura 33. Temperatura máxima diaria estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Figura 34. Variación de temperatura máxima anual en la estación La Bohemia. Periodo 1996 - 2019.

Figura 35. Temperatura máxima diaria estación Cumbarco. 1996-2019.

Figura 36. Variación de temperatura máxima anual en la estación Cumbarco. Periodo 1996-2019.

Figura 37. Temperatura máxima diaria estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

Figura 38. Variación de temperatura máxima anual en la estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

Figura 39. Temperatura máxima diaria estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Figura 40. Variación de temperatura máxima anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Figura 41. Temperatura máxima diaria Riomanso. Periodo 1996-2019.

Figura 42. Variación de temperatura máxima anual en la estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

Figura 43. Temperatura máxima diaria estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019

Figura 44. Variación de temperatura máxima anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

Figura 45. Temperatura máxima diaria estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Figura 46. Variación de temperatura máxima anual en la estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Figura 47. Temperatura máxima diaria estación San José Palmar. 1996-2019.

Figura 48. Variación de temperatura máxima anual en la estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

Figura 49. Temperatura máxima diaria estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Figura 50. Variación de temperatura máxima anual en la estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Figura 51. Temperatura mínima diaria estación Apto. Matecaña. Periodo 1996-2019.

Figura 52. Temperatura mínima anual, estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

Figura 53. Temperatura mínima diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Figura 54. Variación de temperatura máxima anual en la estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Figura 55. Temperatura mínima diaria estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Figura 56. Variación de temperatura máxima anual en la estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Figura 57. Temperatura mínima diaria estación Cumarco. Periodo 1996-2019.

Figura 58. Variación de temperatura máxima anual en la estación Cumarco. Periodo 1996-2019.



- Figura 59. Temperatura mínima diaria estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.
- Figura 60. Temperatura mínima anual, estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.
- Figura 61. Temperatura mínima diaria estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.
- Figura 62. Variación de temperatura máxima anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.
- Figura 63. Temperatura mínima diaria estación Riomanso. Periodo 1996-2019.
- Figura 64. Variación de temperatura máxima anual en la estación Riomanso. Periodo 1996-2019.
- Figura 65. Temperatura mínima diaria estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.
- Figura 66. Variación de temperatura máxima anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.
- Figura 67. Temperatura mínima diaria estación San Marcos. Periodo 1996-2019.
- Figura 68. Variación de temperatura máxima anual en la estación San Marcos. Periodo 1996-2019.
- Figura 69. Temperatura mínima diaria estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.
- Figura 70. Variación de temperatura máxima anual en la estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.
- Figura 71. Temperatura mínima diaria estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.
- Figura 72. Variación de temperatura máxima anual en la estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.
- Figura 73. Distribución temporal de la precipitación total mensual en las estaciones analizadas. Periodo 1975-2019.
- Figura 74. Distribución espacial de la precipitación total en anual.
- Figura 75. Distribución temporal de la humedad relativa promedio mensual.
- Figura 76. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.
- Figura 77. Variación de la humedad relativa media anual en la estación Aeropuerto Farfan. Periodo 1996-2016.
- Figura 78. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación

Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Figura 79. Variación de la humedad relativa media anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Figura 80. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Figura 81. Variación de la humedad relativa media anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Figura 82. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Figura 83. Variación de la humedad relativa máxima anual en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Figura 84. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Figura 85. Variación de la humedad relativa máxima anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Figura 86. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Figura 87. Variación de la humedad relativa máxima anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Figura 88. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Figura 89. Variación de la humedad relativa mínima anual en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Figura 90. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Figura 91. Variación de la humedad relativa mínima anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Figura 92. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Figura 93. Variación de la humedad relativa mínima anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Figura 94. Localización de estaciones utilizadas para caracterizar la dirección y velocidad del viento.

Figura 95. Velocidad del viento en m/s en las estaciones analizadas.

Figura 96. Velocidad del viento en m/s en las estaciones analizadas.

Figura 97. Rosa de vientos a nivel mensual para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1977 a 2012.

Figura 98. Velocidad del viento diurna para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1978 a 2012.

Figura 99. Rosa de vientos diurna para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1978 a 2012.

Figura 100. Velocidad del viento nocturna para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1978 a 2012.

Figura 101. Rosa de vientos nocturna para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1978 a 2012.

Figura 102. Comportamiento del viento en 24 horas en las estaciones analizadas.

Figura 103. Promedio de radiación solar diaria acumulada ( $\text{Wh/m}^2$ ) registrada en las estaciones cercanas al área de influencia.

Figura 104. Promedio mensual de radiación solar diaria acumulada ( $\text{Wh/m}^2$ ) estación Univalle.

Figura 105. Promedio mensual de radiación solar diaria acumulada ( $\text{Wh/m}^2$ ) estación Apto. Matecaña

Figura 106. Horas de brillo solar mensuales registradas

Figura 107. Promedio de horas diarias de brillo solar en la estación Aeropuerto Bonilla.

Figura 108. Promedio de horas diarias de brillo solar en la estación Aeropuerto Farfán.

Figura 109. Variabilidad de la evaporación media mensual multianual en las estaciones analizadas.

Figura 110. Octas de nubosidad promedio mensuales registrada en las estaciones cercanas al área de influencia

Figura 111. Nubosidad promedio mensual estación Aeropuerto Alfonso Bonilla.

Figura 112. Nubosidad promedio mensual estación Aeropuerto Matecaña.

Figura 113. Nubosidad promedio mensual estación Palmira ICA.

Figura 114. Nubosidad promedio mensual estación San Antonio.

Figura 115. Zonificación climática en el área de influencia abiótica. Pórtico Alférez a torre TVA323VB.

Figura 116. Zonificación climática en el área de influencia abiótica. Torre TVA158 a torre TVA057.

Figura 117. Zonificación climática en el área de influencia abiótica. Pórtico Virginia a pórtico Alférez.

Figura 118. Inventario de emisiones fuentes fijas

Figura 119. Ubicación de los puntos de monitoreo de aforos vehiculares

Figura 120. Trazados lineales caracterizados con aforos

Figura 121. Resultados emisiones de fuentes móviles

Figura 122. Distribución emisiones de fuentes móviles por clota vehicular

Figura 123. Localización receptores sensibles

Figura 124. Localización SVCA del SISAIRE cercanos al Proyecto

Figura 125. Resultados PM10 SVCA Cascajal (Cali)

Figura 126. Resultados PM10 SVCA Buga

Figura 127. Resultados SVCA PM10 Pance (Cali)

Figura 128. Resultados PM10 SVCA Universidad del Valle (Cali)

Figura 129. Resultados PM10 SVCA La Dolores (Palmira)

Figura 130. Resultados PM10 SVCA Móvil Palmira (Palmira)

Figura 131. Resultados PM10 SVCA Palmira

Figura 132. Resultados PM10 SVCA Tuluá

Figura 133. Resultados PM10 SVCA Cuenca río Risaralda

Figura 134. Resultados PM2.5 SVCA Tuluá

Figura 135. Resultados PM2.5 SVCA Universidad del Valle (Cali)

Figura 136. Resultados PM2.5 SVCA La Dolores (Palmira)

- 
- Figura 137. Resultados SVCA O3 Pance (Cali)
- Figura 138. Resultados O3 SVCA Tuluá
- Figura 139. Resultados O3 SVCA Palmira
- Figura 140. Resultados O3 SVCA La Dolores (Palmira)
- Figura 141. Resultados O3 SVCA Universidad del Valle (Cali)
- Figura 142. Resultados SO2 SVCA Universidad del Valle (Cali)
- Figura 143. Resultados SO2 SVCA Móvil Palmira
- Figura 144. Resultados SO2 SVCA Palmira
- Figura 145. Resultados NO2 SVCA Pance (Cali)
- Figura 146. Resultados NO2 SVCA Universidad del Valle (Cali)
- Figura 147. Localización estaciones de monitoreo calidad del aire GEB 2018
- Figura 148. Resultados PM10 estudio calidad del aire 2018
- Figura 149. Resultados NO2 estudio calidad del aire 2018
- Figura 150. Resultados SO2 estudio calidad del aire 2018
- Figura 151. Distribución espacial de los puntos de monitoreo de ruido
- Figura 152. Descripción general de los puntos de monitoreo corregidos en horario diurno hábil
- Figura 153. Descripción general de los puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno hábil
- Figura 154. Descripción general de los puntos de monitoreo corregidos en horario diurno no hábil
- Figura 155. Descripción general de los puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno no hábil
- Figura 156. Ubicación de los puntos de monitoreo de ruido
- Figura 157. Ubicación de los puntos de monitoreo de ruido
- Figura 158. Mapa de ruido Línea base día hábil diurno tramo 1
- Figura 159. Mapa de ruido Línea base día hábil diurno tramo 2
-

- Figura 160. Mapa de ruido Línea base día hábil diurno tramo 3
- Figura 161. Mapa de ruido Línea base día hábil diurno tramo 4
- Figura 162. Mapa de ruido Línea base día hábil nocturno tramo 1
- Figura 163. Mapa de ruido Línea base día hábil nocturno tramo 2
- Figura 164. Mapa de ruido Línea base día hábil nocturno tramo 3
- Figura 165. Mapa de ruido Línea base día hábil nocturno tramo 4
- Figura 166. Ubicación de los receptores Tramo 4
- Figura 167. Ubicación de los receptores Tramo 3
- Figura 168. Ubicación de los receptores Tramo 2
- Figura 169. Ubicación de los receptores Tramo 1
- Figura 170. Comparación de longitudes respecto a un mismo contorno
- Figura 171. Mapa de ruido Línea base día no hábil diurno tramo 1
- Figura 172. Mapa de ruido Línea base día no hábil diurno tramo 2
- Figura 173. Mapa de ruido Línea base día no hábil diurno tramo 3
- Figura 174. Mapa de ruido Línea base día no hábil diurno tramo 4
- Figura 175. Mapa de ruido Línea base día no hábil nocturno tramo 1
- Figura 176. Mapa de ruido Línea base día no hábil nocturno tramo 2
- Figura 177. Mapa de ruido Línea base día no hábil nocturno tramo 3
- Figura 178. Mapa de ruido Línea base día no hábil nocturno tramo 4
- Figura 179. Mapa de ruido Construcción cimentación tramo 1
- Figura 180. Mapa de ruido Construcción cimentación tramo 2
- Figura 181. Mapa de ruido Construcción cimentación tramo 3
- Figura 182. Mapa de ruido Construcción cimentación tramo 4
- Figura 183. Mapa de ruido Construcción tendido tramo 1
- Figura 184. Mapa de ruido Construcción tendido tramo 2



- 
- Figura 185. Mapa de ruido Construcción tendido tramo 3
- Figura 186. Mapa de ruido Construcción tendido tramo 4
- Figura 187. Mapa de ruido Construcción helicóptero tramo 2
- Figura 188. Mapa de ruido Construcción helicóptero tramo 3
- Figura 189. Mapa de ruido Construcción helicóptero tramo 4
- Figura 190. Receptores patio de almacenamiento 1
- Figura 191. Receptores patio de almacenamiento 2
- Figura 192. Mapa de ruido escenario de Línea base día hábil diurno patio 1
- Figura 193. Mapa de ruido escenario de Línea base día hábil nocturno patio 1
- Figura 194. Mapa de ruido escenario de Línea base día no hábil diurno patio 1
- Figura 195. Mapa de ruido escenario de Línea base día no hábil nocturno patio 1
- Figura 196. Mapa de ruido escenario de Operación Patio de Almacenamiento 1
- Figura 197. Mapa de ruido escenario de Línea base día hábil diurno patio 2
- Figura 198. Mapa de ruido escenario de Línea base día hábil nocturno patio 2
- Figura 199. Mapa de ruido escenario de Línea base día no hábil diurno patio de almacenamiento 2
- Figura 200. Mapa de ruido escenario de Línea base día no hábil nocturno patio de almacenamiento 2
- Figura 201. Mapa de ruido escenario operación patio 2

## LISTA DE ECUACIONES

- Ecuación 1. Presión atmosférica en sitios de interés.
- Ecuación 2. Índice de calor.
- Ecuación 3. Evapotranspiración potencial sin corregir.
- Ecuación 4. Coeficiente
- Ecuación 5. Evapotranspiración potencial corregida.
- Ecuación 6. Evapotranspiración de referencia.
- Ecuación 7. Coeficiente de campo evaporímetro.
- Ecuación 8.
- Ecuación 9.
- Ecuación 10.
- Ecuación 11.
- Ecuación 12.
- Ecuación 13.
- Ecuación 14.
- Ecuación 15.
- Ecuación 16.
- Ecuación 17.
- Ecuación 18.
- Ecuación 19.
- Ecuación 20.

## **LISTA DE ANEXOS**

- Anexo D9.1. Registro estaciones
- Anexo D9.2. Parámetros
- Anexo D9.3. Zonificación climática
- Anexo D10. Calidad del aire
- Anexo D11. Ruido

## 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

### 5.1. MEDIO ABIÓTICO

#### 5.1.11. Atmósfera

La caracterización del componente atmosférico comprendió la consulta y análisis de registros de estaciones meteorológicas cercanas al área del proyecto y la evaluación de la calidad del medio en cuanto a niveles de presión sonora y contaminación atmosférica. El análisis fue alimentado con información recolectada en campo con laboratorios acreditados para la toma y análisis de muestras de cada matriz, así como con información secundaria consultada de fuentes oficiales, destacando el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, el Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC y los estudios e informes realizados por las autoridades ambientales CVC, DAGMA y CARDER.

##### 5.1.11.1. Meteorología

La información utilizada en la caracterización de los parámetros meteorológicos es de tipo secundario y corresponde a los registros históricos de las estaciones climatológicas operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM y la Corporación Autónoma Regional del Valle - CVC.

A partir de los registros de las estaciones meteorológicas existentes en la zona, se caracterizaron los parámetros de precipitación, temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección de viento, brillo solar, evaporación y nubosidad.

Dentro del área de influencia del componente no se cuenta con estaciones climatológicas, por tanto, se consultó la información de estaciones de la región cercanas al área de influencia que permitan caracterizar el componente. Las estaciones seleccionadas cubren un área tal que permiten conocer la distribución espacial de la temperatura y la precipitación como lo solicita la Metodología General del 2018.

---

#### 5.1.11.1.1. Recopilación de información

Para el análisis de este numeral se utilizó la información de las estaciones climatológicas administradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM y la Corporación autónoma Regional del Valle del Cauca las cuales se relacionan en la Tabla 1 y su localización se presenta en la Figura 1. En el Anexo D9 - Información meteorológica/C.9.1. Registro estaciones, se presenta la información recopilada de las estaciones.

Tabla 1. Estaciones empleadas en la caracterización climatológica.

Código	Nombre	Departamento	Municipio	Entidad	Tipo	Altitud	Este	Norte
26120150	Alcalá	Valle del Cauca	Alcalá	IDEAM	PM	1232	4690982	2075358
26075040	Apto. A. Bonilla	Valle del Cauca	Palmira	IDEAM	SP	964	4623796	1949495
26105160	Apto. Farfan	Valle del Cauca	Tuluá	IDEAM	SP	959	4642158	2010672
26135040	Apto. Matecaña	Risaralda	Pereira	IDEAM	SP	1352	4696491	2090755
26105140	Barragán	Valle del Cauca	Tuluá	IDEAM	CO	3014	4679418	2004221
2612800103	Bella Vista	Valle del Cauca	Palmira	CVC	PM	3600	4667193	1959723
2612720103	Bolo Blanco	Valle del Cauca	Pradera	CVC	PM	3664	4659709	1937617
2623300101	Buenos Aires	Valle del Cauca	Yotoco	CVC	PM	1555	4619113	1985721
26060200	Cajones	Cauca	Miranda	IDEAM	PM	2399	4651022	1915065
26115040	Centro Admo. La Unión	Valle del Cauca	La Unión	IDEAM	CP	909	4660291	2059413
26120130	Corozal	Valle del Cauca	Zarzal	IDEAM	PM	1147	4676529	2045136
26125130	Cumbarco	Valle del Cauca	Sevilla	IDEAM	CO	1718	4685662	2021014
26090460	El Paraiso	Valle del Cauca	El Cerrito	IDEAM	PM	1277	4644626	1961930
26100690	El Placer	Valle del Cauca	Buga	IDEAM	PM	2124	4655741	1987255
26130200	El Recuerdo	Risaralda	Marsella	IDEAM	PM	1566	4696064	2106969
26070760	Florida	Valle del Cauca	Florida	IDEAM	PM	1039	4640121	1926317
26090630	Guacarí	Valle del Cauca	Guacarí	IDEAM	PM	974	4629975	1975310
2612200104	Hda. El Espejo	Valle del Cauca	Pto. Tejada	CVC	PM	970	4622586	1922985



Código	Nombre	Departamento	Municipio	Entidad	Tipo	Altitud	Este	Norte
26100070	Hda. Lucerna	Valle del Cauca	Bugalagrande	IDEAM	PM	944	4650693	2025436
2612710103	Ing. La Quinta	Valle del Cauca	Candelaria	CVC	PM	980	4628247	1936260
26135100	La Bohemia	Risaralda	Pereira	IDEAM	CO	962	4680947	2097697
26090060	Las Juntas	Valle del Cauca	Ginebra	IDEAM	PM	1823	4648474	1975583
26105230	Mateguadua	Valle del Cauca	Tuluá	IDEAM	CO	1102	4648249	2003814
54030020	Naranjal	Valle del Cauca	Bolívar	IDEAM	PM	1166	4627857	2040264
26100300	Obando	Valle del Cauca	Obando	IDEAM	PM	946	4671013	2065718
26075010	Palmira ICA	Valle del Cauca	Palmira	IDEAM	AM	990	4631767	1946897
26150150	Papayal	Caldas	Villamaría	IDEAM	PM	2248	4724008	2105670
54030010	Patumac	Valle del Cauca	Versalles	IDEAM	PM	1868	4644820	2064085
26120170	Pijao	Quindío	Pijao	IDEAM	PM	1657	4699723	2037302
26100350	Pto. Frazadas	Valle del Cauca	Tuluá	IDEAM	PM	1640	4667570	2006621
53100400	Queremal	Valle del Cauca	Dagua	IDEAM	PM	1485	4587947	1948476
22075030	Riomanso	Tolima	Rovira	IDEAM	CO	2043	4731954	2023262
26120160	Salento	Quindío	Salento	IDEAM	PM	1985	4715064	2070820
22065040	San Antonio Quinta	Tolima	San Antonio	IDEAM	CP	1418	4723802	1990124
54025010	San José Palmar	Chocó	San José de Palmar	IDEAM	CO	1073	4641579	2100095
26105150	San Marcos	Valle del Cauca	Bugalagrande	IDEAM	CO	990	4663392	2027057
2622600101	Santa Inés	Valle del Cauca	Yumbo	CVC	PG	1669	4605942	1959377
21255110	Santa Isabel	Tolima	Santa Isabel	IDEAM	CO	2800	4763614	2077899

---

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Entidad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Altitud</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
26080070	Vijes	Valle del Cauca	Vijes	IDEAM	PM	951	4619073	1967426
26110120	Villa Nueva	Valle del Cauca	El Aguila	IDEAM	PM	1316	4663129	2108072

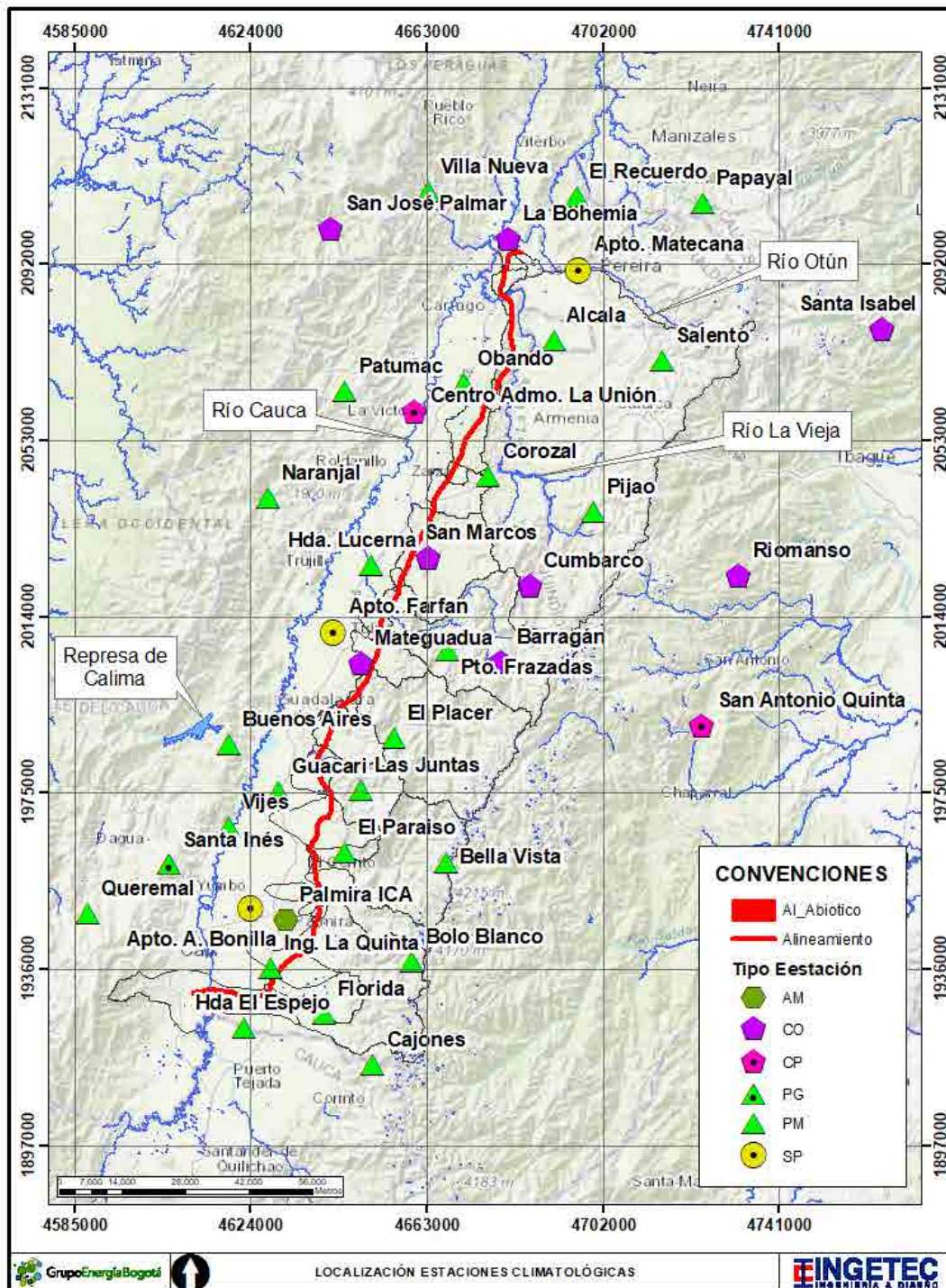


Figura 1. Localización de estaciones climatológicas.

Dado que los registros de los parámetros de temperatura, humedad relativa, viento, brillo solar y nubosidad presentaron diferentes periodos de registro, se determinó un periodo independiente para cada parámetro. La escala de registro empleada en las series de tiempo fue diaria con excepción de los registros de evaporación y brillo solar los cuales fueron proporcionados por el IDEAM a nivel mensual. La caracterización de radiación solar se realizó a partir del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)<sup>1</sup>. En la Tabla 2 se relacionan las estaciones utilizadas en la caracterización de cada parámetro.

Tabla 2. Estaciones empleadas en el análisis de cada parámetro.

Nombre	Tipo	Precipitación	Temperatura superficial	Evaporación	Humedad relativa	Dirección y velocidad del viento	Brillo solar	Nubosidad
Alcalá	PM	X						
Apto. A. Bonilla	SP	X	X			X	X	X
Apto. Farfan	SP				X	X	X	
Apto. Matecaña	SP	X	X			X		X
Barragán	CO	X	X					
Bella Vista	PM	X						
Bolo Blanco	PM	X						
Buenos Aires	PM	X						
Cajones	PM	X						
Centro Admo. La Unión	CP	X		X				
Corozal	PM	X						
Cumbarco	CO	X	X					
El Paraiso	PM	X						
El Placer	PM	X						
El Recuerdo	PM	X						
Florida	PM	X						
Guacarí	PM	X						
Hda. El Espejo	PM	X						

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y de Estudios Ambientales (IDEAM). Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia. 2017.

Nombre	Tipo	Precipitación	Temperatura superficial	Evaporación	Humedad relativa	Dirección y velocidad del viento	Brillo solar	Nubosidad
Hda. Lucerna	PM	X						
Ing. La Quinta	PM	X						
La Bohemia	CO		X					
Las Juntas	PM	X						
Mateguadua	CO		X					
Naranjal	PM	X						
Obando	PM	X						
Palmira ICA	AM		X	X	X	X		X
Papayal	PM	X						
Patumac	PM	X						
Pijao	PM	X						
Pto. Frazadas	PM	X						
Queremal	PM	X						
Riomanso	CO		X					
Salento	PM	X						
San Antonio Quinta	CP		X	X	X			X
San José Palmar	CO		X					
San Marcos	CO		X					
Santa Inés	PG	X						
Santa Isabel	CO		X					
Vijes	PM	X						
Villa Nueva	PM	X						

#### 5.1.11.1.1. Selección del periodo común de registros

Para los parámetros temperatura, humedad relativa, brillos solar y nubosidad se realizó una selección del periodo común según la disponibilidad de datos en los registros, para el

parámetro de brillo solar y evaporación se escogió un periodo de tiempo para cada estación, ya que solo se contaba con dos y tres estaciones respectivamente para el análisis y se buscaba utilizar la mayor cantidad de datos disponible. La selección del periodo común de registro para los parámetros se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Periodo común de registro para parámetros atmosféricos.

Temperatura	Humedad relativa	Dirección y velocidad del viento	Brillo solar	Evaporación	Nubosidad
1996 - 2019	1996 - 2016	1972 - 2014 1974 - 2012 1977-2012/18/19	1980 - 2019 1994 - 2019	1983 - 2019 1985 - 2019	1998 - 219

#### 5.1.11.1.2. Caracterización meteorológica

##### 5.1.11.1.2.1. Temperatura

La caracterización de la temperatura se realizó a partir de los registros de temperatura media, máxima y mínima disponibles en las estaciones analizadas.

- Temperatura media

Se analizaron los registros de temperatura media en 12 estaciones cercanas al área de estudio, encontrando que la temperatura se encuentra relacionada con la altitud a la cual se encuentran instaladas las estaciones de monitoreo. Se empleó el periodo 1996 – 2019 para definir en cada mes la relación existente entre la temperatura y la elevación del terreno. El mapa de distribución de temperatura media anual para el área de estudio fue construido a partir de las curvas de elevación de la cartografía IGAC 100 000. En la Tabla 4 se presentan los promedios de temperatura media mensual multianual para cada estación analizada.



Tabla 4. Temperatura media mensual multianual (°C) en las estaciones cercanas al área de influencia.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Apto. A. Bonilla	24,11	24,51	24,24	23,50	23,62	23,92	23,98	24,69	24,39	23,90	23,78	23,92
Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Apto. Matecana	22,00	22,20	22,00	21,80	21,80	21,80	22,10	22,30	22,00	21,40	21,40	21,80
Barragán	12,10	12,20	12,30	12,40	12,60	12,40	12,20	12,20	12,30	11,90	11,80	12,00
La Bohemia	24,70	24,70	24,70	24,30	24,30	24,40	24,80	25,00	24,70	24,00	23,90	24,20
Cumbarco	19,30	19,30	19,10	19,10	19,20	19,40	19,70	19,80	19,50	18,90	18,80	19,00
Mateguadua	22,80	23,10	23,00	22,90	22,90	23,00	23,00	23,40	23,10	22,70	22,70	22,70
Palmira ICA	23,80	24,10	23,90	23,80	23,80	23,80	24,10	24,30	24,10	23,60	23,50	23,60
Riomanso	17,00	17,10	17,10	17,30	17,40	17,20	17,10	17,30	17,40	17,30	16,90	17,00
San José Palmar	20,80	21,00	21,20	21,40	21,60	21,50	21,50	21,60	21,40	21,00	20,80	20,90
San Marcos	23,50	23,60	23,60	23,50	23,30	23,20	23,40	23,70	23,70	23,20	23,10	23,20
San Antonio	21,40	21,50	21,50	21,40	21,50	21,60	21,80	22,10	22,20	21,30	20,80	21,10
Santa Isabel	12,50	12,60	12,70	13,10	13,40	13,40	13,30	13,20	13,10	12,80	12,70	12,80

En la Figura 2 se presenta el comportamiento mensual promedio de la temperatura media. La temperatura más baja se registró en la estación Barragan, localizada a una altitud de 3014 msnm y la temperatura más alta se registró en la estación La Bohemia, localizada a una altura de 962 msnm. Las temperaturas más altas se registran en el mes de agosto y en general se observa poca variación a lo largo del año.

A nivel anual se determinó la variación de la temperatura media en función de la elevación como se presenta en la Figura. 3

De la distribución espacial (Figura 4) se observa que en las zonas más planas en donde se localiza el trazado de la línea (altitud de 1000 msnm aproximadamente) la temperatura alcanza los 24°C, mientras que en las elevaciones más altas (altitud 3700 msnm) la temperatura es hasta de 8°C. Esto obedece a la relación inversa que hay entre la temperatura y la elevación, a mayor elevación menor temperatura y viceversa.

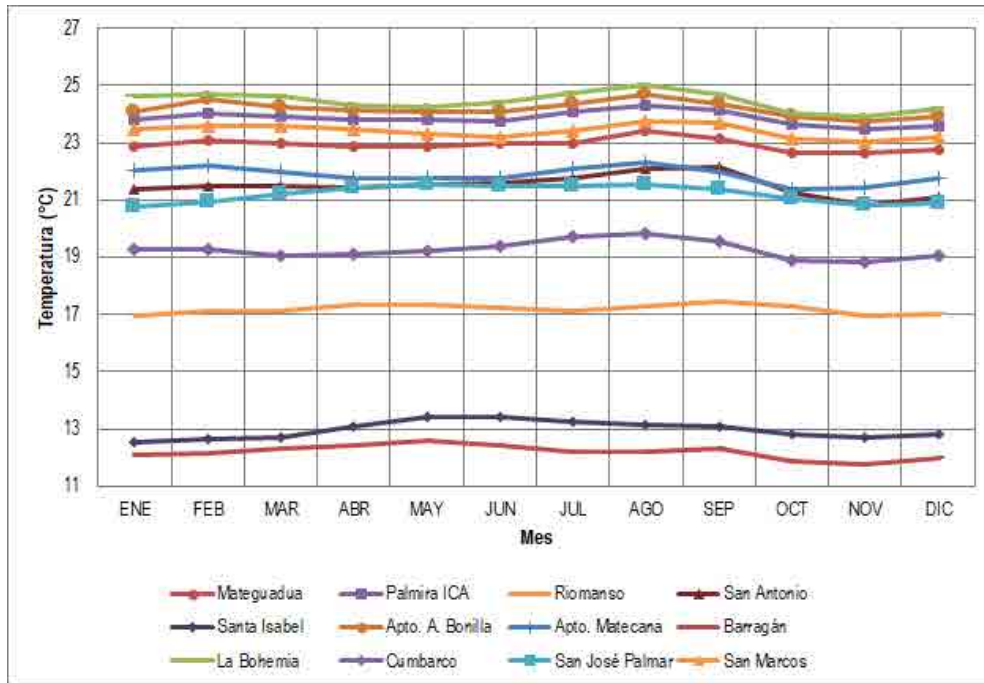


Figura 2. Variación mensual de la temperatura media en las estaciones.

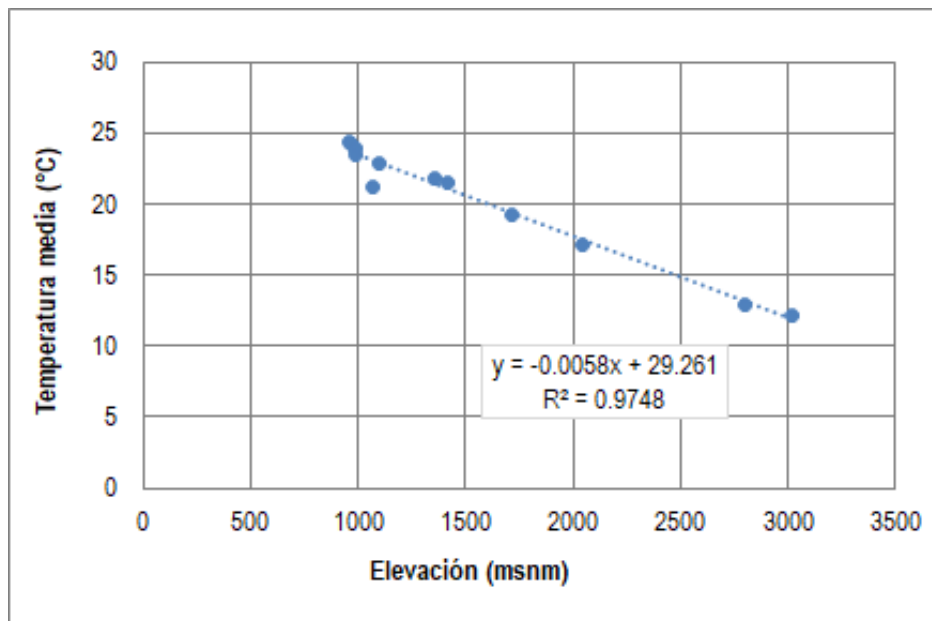


Figura 3. Relación entre la temperatura media anual y la elevación.

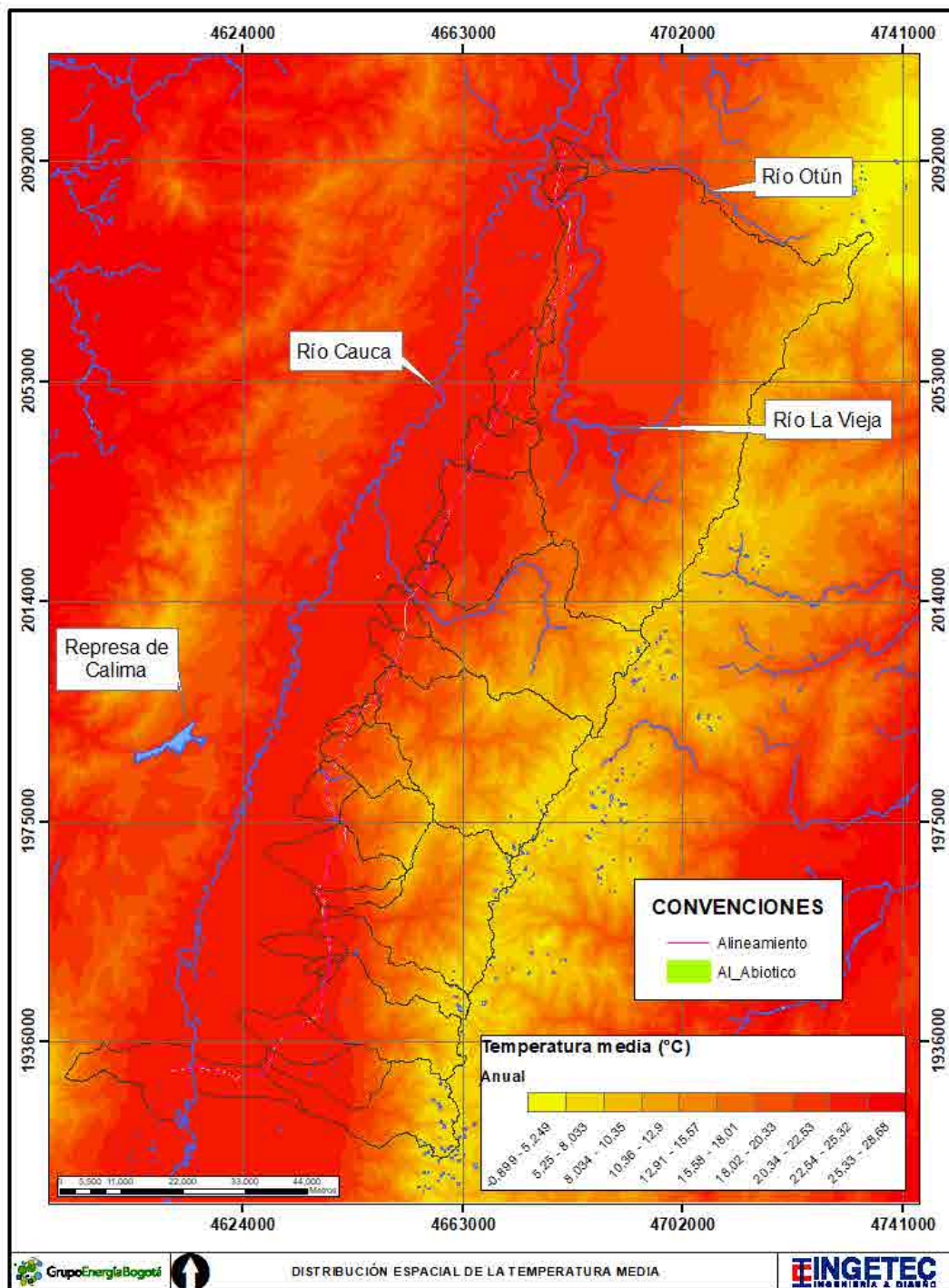


Figura 4. Distribución espacial de la temperatura media anual.

- Aeropuerto Alfonso Bonilla

En la Tabla 5 y en la Figura 5 se presentan los registros de temperatura media en la estación Aeropuerto Bonilla, la temperatura media presenta un rango de variación entre 23,80 °C (noviembre) y 24,70 °C (agosto) con una media de 24,20 °C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes de febrero en el año 2015 (29 °C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de enero de 2018 (18,60 °C).

Tabla 5. Temperatura media estación Apto. Bonilla. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	24,10	24,50	24,20	24,10	24,10	24,10	24,40	24,70	24,40	23,90	23,80	23,90
Máximo diario multianual	28,00	29,00	27,60	26,70	27,70	26,40	26,90	27,40	26,90	26,70	26,80	26,70
Mínimo diario multianual	18,60	20,50	20,40	20,20	20,10	20,70	20,80	21,30	19,90	20,00	20,30	20,30

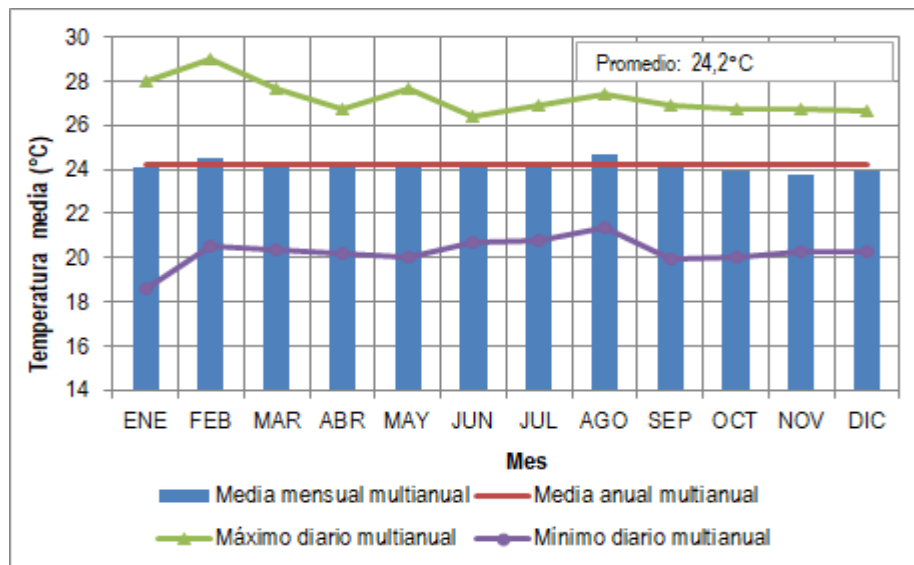


Figura 5. Temperatura media en la estación Aeropuerto Bonilla. Periodo 1996-2019.

La temperatura media anual tiene una tendencia creciente, con un medio máximo anual en el año 2016 con 24,79 °C y un medio mínimo anual en el año 1999 con 23,43 °C. (Tabla 6 y Figura 6).

Tabla 6. Temperatura media anual, estación Apto. Bonilla. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	24,05	2008	23,53
1997	24,48	2009	24,63
1998	24,24	2010	24,11
1999	23,43	2011	23,89
2000	23,48	2012	24,31
2001	24,15	2013	24,47
2002	24,24	2014	24,79
2003	24,11	2015	24,34
2004	24,01	2016	24,79
2005	24,20	2017	24,14
2006	24,05	2018	24,32
2007	23,94	2019	24,76

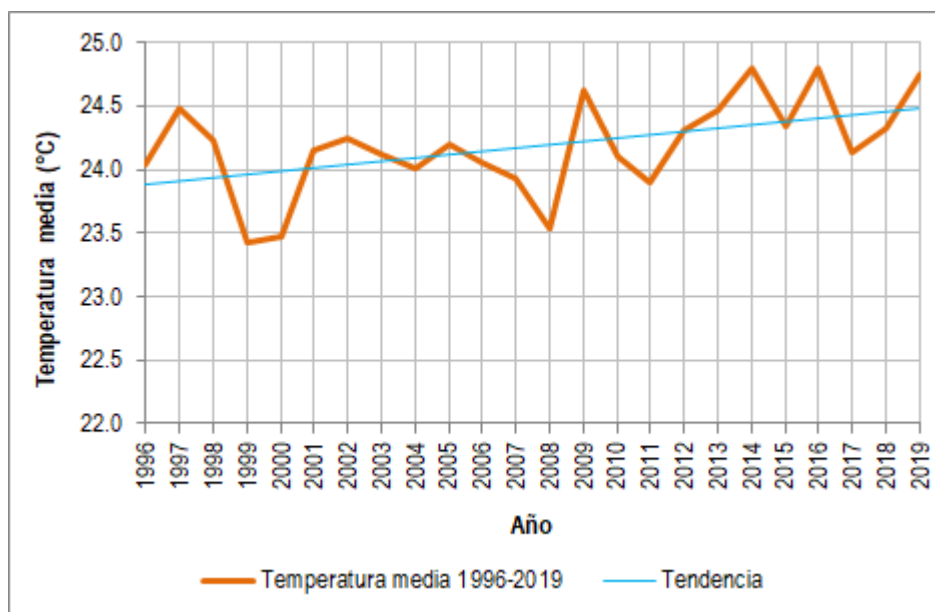


Figura 6. Variación de temperatura media anual en la estación Aeropuerto Bonilla. Periodo 1996-2019.

- Aeropuerto Matecaña

En la Tabla 7 y Figura 7 se presenta la información de temperatura media registrada en el Aeropuerto Matecaña, la cual presenta un rango de variación entre 21,40°C y 22,30°C con una media de 21,90°C. En agosto se presenta la temperatura media más alta y en el mes de octubre la temperatura media más baja.

El registro máximo diario de temperatura media se presentó en el mes de junio del año 2015 (26,70°C) y el registro diario más bajo de temperatura media se presentó en mayo del año 1996 (17,70°C).

Tabla 7. Temperatura media en la estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	22,00	22,20	22,00	21,80	21,80	21,80	22,10	22,30	22,00	21,40	21,40	21,80
Máximo diario multianual	25,30	26,40	26,20	25,50	25,50	26,70	25,90	26,00	25,70	24,70	24,30	25,30
Mínimo diario multianual	18,50	18,30	18,40	18,60	17,70	17,90	18,40	18,80	18,20	18,10	18,10	18,10

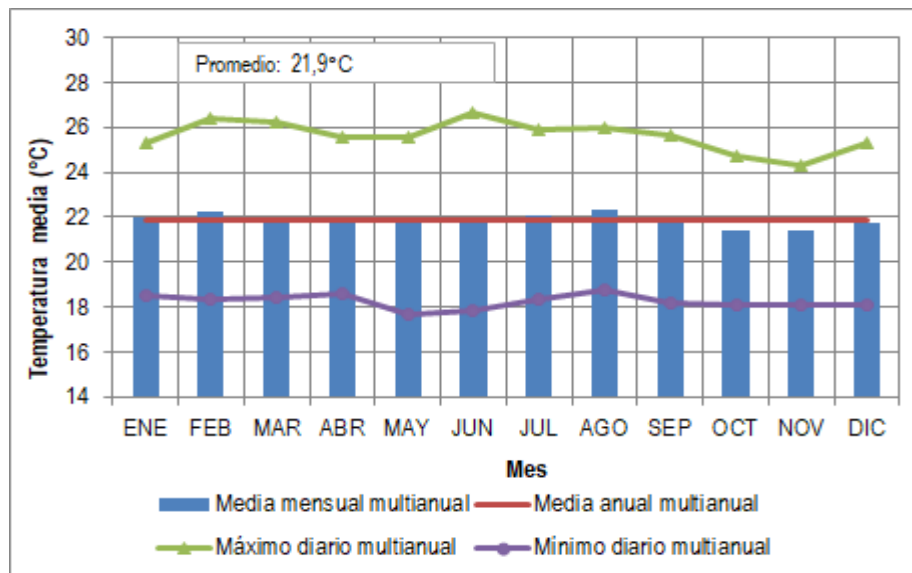


Figura 7. Temperatura media en la estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

La temperatura media anual tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015, en donde la temperatura media se ubicó en 22,89 °C y un mínimo anual en el año 1999 con 21,00 °C. Ver Tabla 8 y Figura 8.



Tabla 8. Temperatura media anual, estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	21,11	2008	21,19
1997	21,97	2009	22,08
1998	22,08	2010	21,83
1999	21,00	2011	21,52
2000	21,17	2012	21,95
2001	21,79	2013	22,02
2002	22,13	2014	22,16
2003	21,94	2015	22,89
2004	21,82	2016	22,73
2005	21,96	2017	22,06
2006	21,83	2018	21,94
2007	21,62	2019	22,29

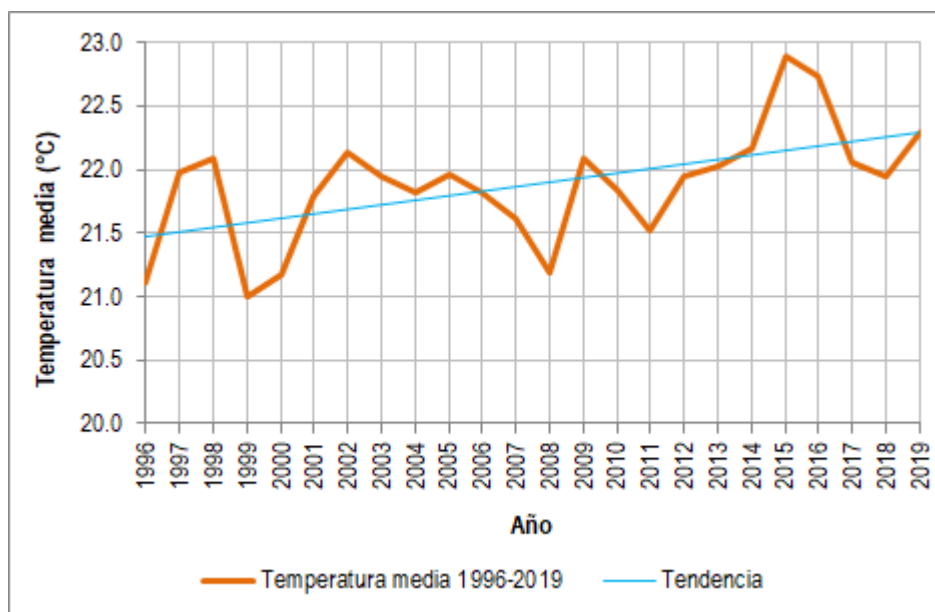


Figura 8. Variación de temperatura media anual en la estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

- Barragán

La temperatura media en la estación Barragán tiene un rango de variación entre 11,80 °C registrado en noviembre y 12,60 °C registrado en mayo, con un valor promedio de 12,20 °C. El registro más alto de temperatura máxima se presentó en febrero de 2010 con un valor de 16,90 °C y el registro más bajo de temperatura máxima se dio en el mes de mayo y septiembre del 2000 con un valor de 8,00 °C. En la Tabla 9 y Figura 9 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 9. Temperatura media diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	12,10	12,20	12,30	12,40	12,60	12,40	12,20	12,20	12,30	11,90	11,80	12,00
Máximo diario multianual	15,80	16,90	16,80	15,90	15,90	15,50	14,70	15,00	15,90	15,30	17,00	15,70
Mínimo diario multianual	8,90	8,30	9,00	8,00	9,10	8,50	9,50	8,70	8,00	8,60	9,10	8,20

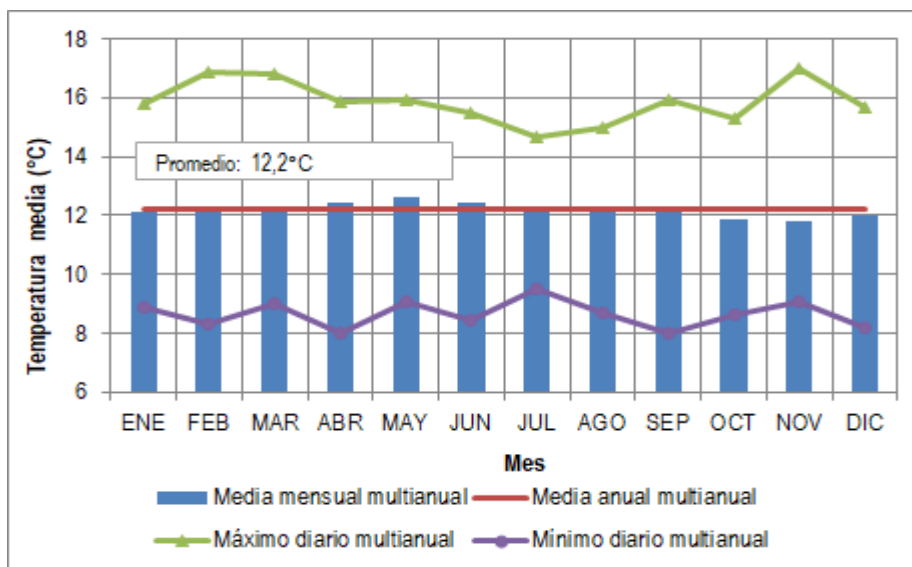


Figura 9. Temperatura media diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.

La temperatura media anual tiene una tendencia creciente con un medio máximo anual en el año 2016 con 12,99 °C y un medio mínimo anual en el año 1999 con 11,24 °C . Ver Tabla 10 y Figura 10.

Tabla 10. Temperatura media anual, estación Barragan. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	11,62	2008	11,58
1997	12,15	2009	12,56
1998	12,05	2010	12,71
1999	11,24	2011	12,15
2000	11,36	2012	12,57
2001	11,93	2013	12,56
2002	12,37	2014	12,42
2003	12,13	2015	12,94
2004	11,75	2016	12,99
2005	11,86	2017	12,30
2006	12,24	2018	12,45
2007	11,98	2019	12,95

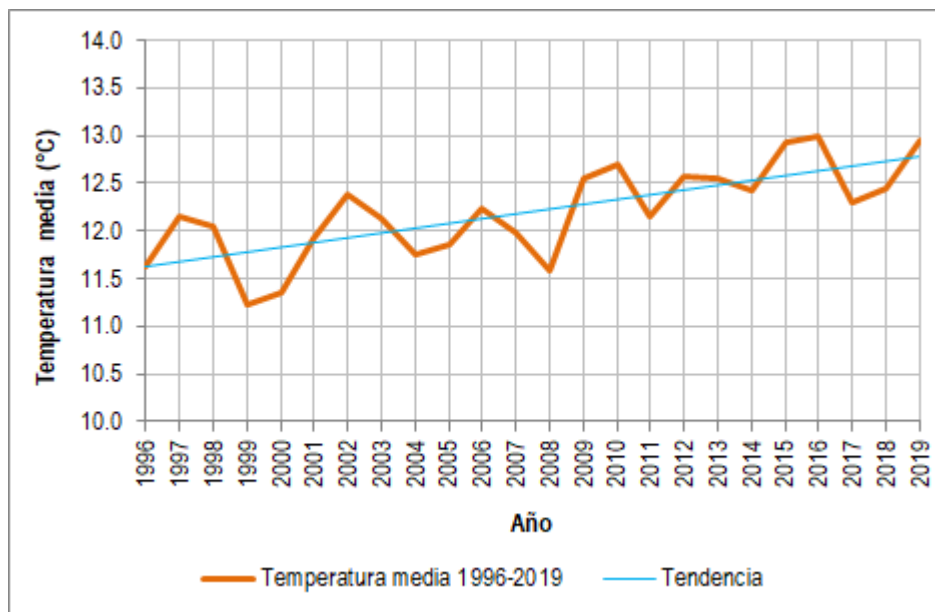


Figura 10. Variación de temperatura media anual en la estación Barragan. Periodo 1996-2019.

- La Bohemia

En la Tabla 11 y Figura 11 se presentan los registros de temperatura media en la estación La Bohemia, la temperatura media presenta un rango de variación entre 23,9 °C (noviembre) y 25,00 °C (agosto) con una media de 24,50 °C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes de febrero en el año 2018 (29,80°C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de mayo de 2018 (18,00 °C).

Tabla 11. Temperatura media estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	24,70	24,70	24,70	24,30	24,30	24,40	24,80	25,00	24,70	24,00	23,90	24,20
Máximo diario multianual	28,90	29,80	29,80	27,90	28,60	28,20	29,00	29,70	30,50	29,10	28,70	28,50
Mínimo diario multianual	20,00	19,30	20,00	20,80	18,00	20,20	20,10	19,00	20,30	19,60	18,80	19,70

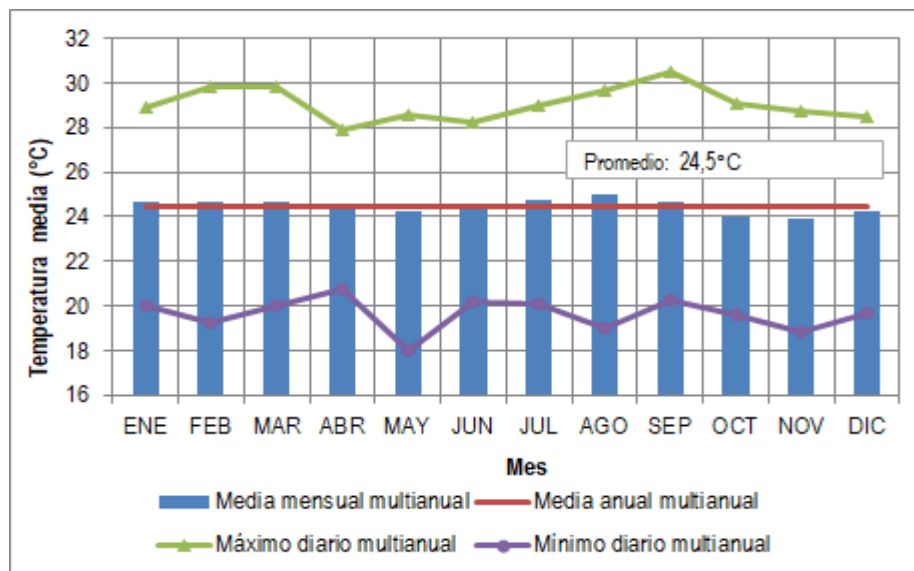


Figura 11. Temperatura Media estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

La temperatura media anual tiene una tendencia creciente con un medio máximo anual en el año 2015 con 25,71 °C y un medio mínimo anual en el año 2008 con 23,73 °C . Ver Tabla 12 y Figura 12.

Tabla 12. Temperatura media anual, estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	23,75	2008	23,73
1997	24,40	2009	24,33
1998	24,73	2010	24,21
1999	24,04	2011	23,89
2000	23,93	2012	24,55
2001	24,53	2013	24,57
2002	24,76	2014	24,93
2003	24,43	2015	25,71
2004	24,47	2016	24,96
2005	24,51	2017	24,59
2006	24,59	2018	24,75
2007	24,38	2019	24,33

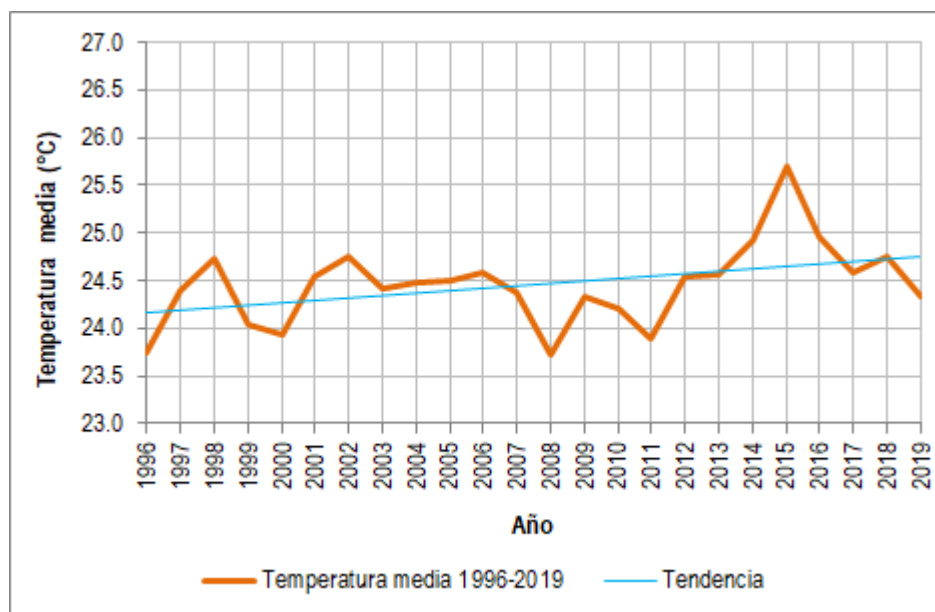


Figura 12. Variación de temperatura media anual en la estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

- Cumarco

En la Tabla 13 y Figura 13 se presenta la información de temperatura media registrada en la estación Cumarco, la cual presenta un rango de variación entre 18,80 °C y 19,8°C con una media de 19,30 °C. En agosto se presenta la temperatura media más alta y en el mes de octubre la temperatura media más baja.

El registro máximo diario de temperatura media se presentó en el mes de junio del año 2006 (24,40°C) y el registro diario más bajo de temperatura media se presentó en febrero del año 2011 (15,50°C).

Tabla 13. Temperatura Media estación Cumarco. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	19,30	19,30	19,10	19,10	19,20	19,40	19,70	19,80	19,50	18,90	18,80	19,00
Máximo diario multianual	22,70	23,40	22,80	22,80	24,10	24,40	23,00	23,90	23,50	22,80	21,50	22,40
Mínimo diario multianual	15,80	15,50	15,80	15,70	15,60	16,40	16,00	16,30	16,00	15,90	15,80	15,60

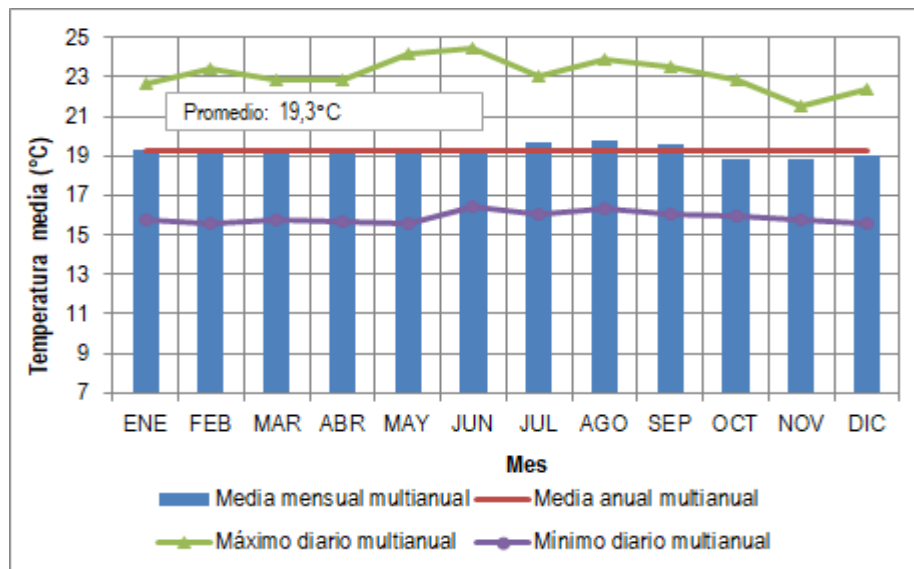


Figura 13. Temperatura Media estación Cumarco. Periodo 1996-2019.

La temperatura media anual tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2004 en donde la temperatura media se ubicó en 18,80 °C y un mínimo anual en el año 1996 con 18,49 °C. Ver Tabla 14 y Figura 14.



Tabla 14. Temperatura media anual, estación Cumarco. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	18,49	2008	18,50
1997	19,26	2009	19,33
1998	19,75	2010	19,20
1999	19,36	2011	18,77
2000	18,69	2012	19,26
2001	19,10	2013	19,32
2002	19,13	2014	19,32
2003	19,61	2015	19,75
2004	19,80	2016	19,66
2005	19,53	2017	18,90
2006	19,80	2018	19,12
2007	19,12	2019	19,39

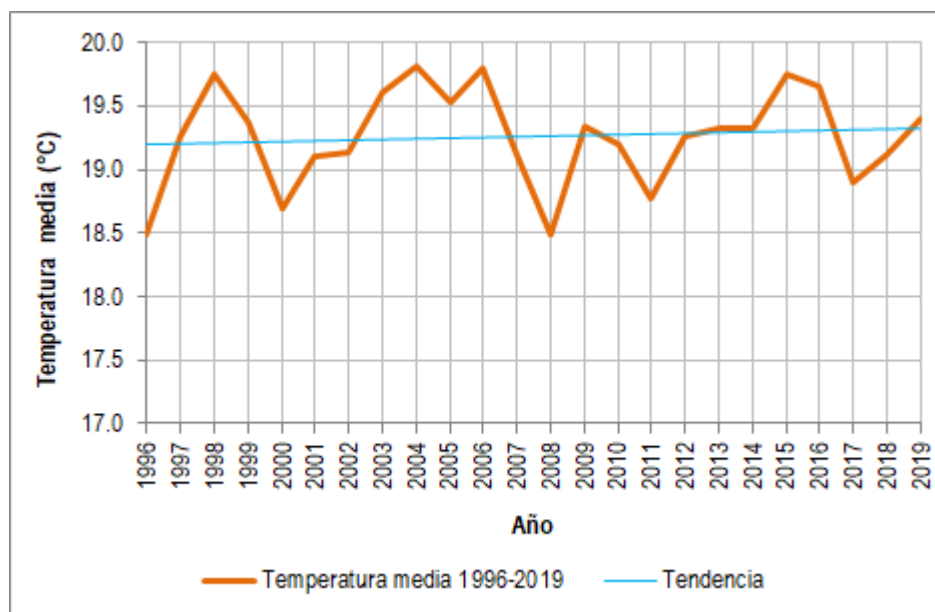


Figura 14. Variación de temperatura media anual en la estación Cumarco. Periodo 1996-2019.

- Mateguadua

En la Tabla 15 y Figura 15 se presentan los registros de temperatura media en la estación Mateguadua, la temperatura media presenta un rango de variación entre 22,70 °C el cual se presentó en el mes de octubre, noviembre y diciembre, y 23,40 °C en el mes de agosto.

La temperatura media máxima se presentó en agosto del año 1997 (29,80 °C) y el valor mínimo de temperatura media se registró en el mes de julio, septiembre y diciembre (2013, 2019, 2015 respectivamente) (17,40 °C).

Tabla 15. Temperatura media estación Mateguadua Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	22,80	23,10	23,00	22,90	22,90	23,00	23,00	23,40	23,10	22,70	22,70	22,70
Máximo diario multianual	26,90	27,70	26,60	28,10	28,30	28,70	28,20	29,80	29,00	27,00	27,90	27,60
Mínimo diario multianual	19,30	18,00	18,90	19,80	19,70	18,80	17,40	17,90	17,40	18,50	18,40	17,40

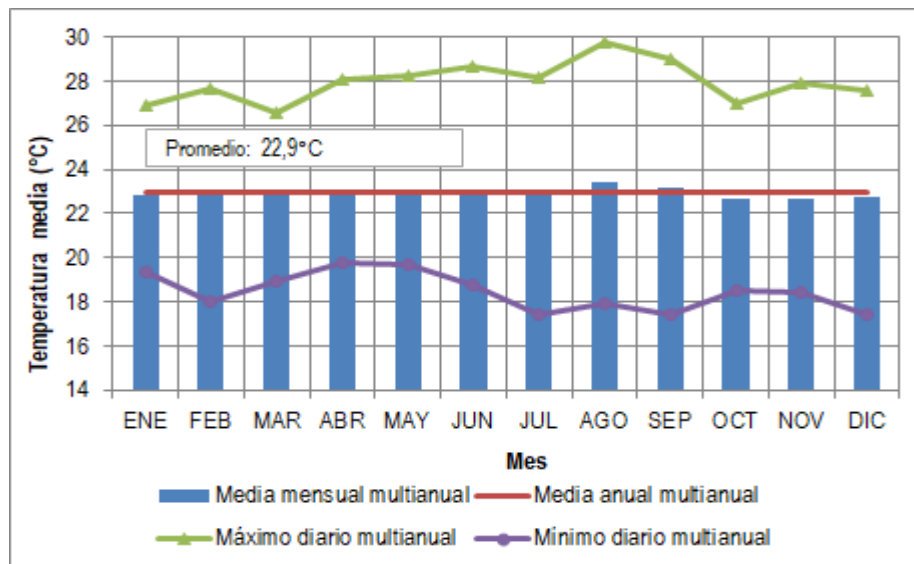


Figura 15. Temperatura media estación Mateguadua Periodo 1996-2019.

La temperatura anual tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2019 en donde la temperatura media se ubicó en 24,35 °C. y un mínimo anual en el año 2008 con 22,10 °C. (Tabla 16 y Figura 16).

Tabla 16. Temperatura media anual, estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	22,26	2008	22,10
1997	22,56	2009	23,27
1998	23,35	2010	22,57
1999	22,42	2011	22,41
2000	22,18	2012	22,74
2001	22,69	2013	22,96
2002	23,21	2014	23,41
2003	22,48	2015	23,47
2004	22,77	2016	23,21
2005	23,17	2017	23,66
2006	22,73	2018	23,92
2007	22,58	2019	24,35

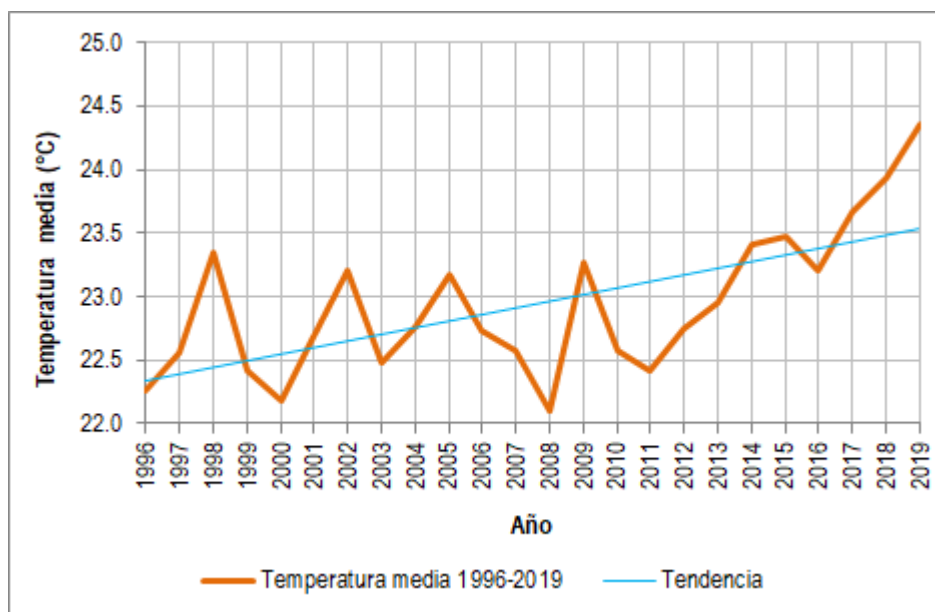


Figura 16. Variación de temperatura media anual en la estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

- Palmira ICA

En la Tabla 17 y en la Figura 17 se relaciona la información de temperatura media registrada en la estación Palmira ICA, la temperatura media varía entre 23,50 °C en el mes de noviembre y 24,30 °C en el mes de agosto.

La temperatura media máxima se presentó en el mes de octubre del año 2015 (32,60 °C) y el valor mínimo de temperatura media se registró en el mes de enero del año 2006(18,60 °C).

Tabla 17. Temperatura Media estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	23,80	24,10	23,90	23,80	23,80	23,80	24,10	24,30	24,10	23,60	23,50	23,60
Máximo diario multianual	26,90	27,70	27,40	27,50	26,80	26,70	27,80	27,40	27,10	32,60	26,20	26,40
Mínimo diario multianual	18,60	20,60	20,20	20,00	19,70	20,20	20,50	20,90	19,30	19,60	20,00	19,30

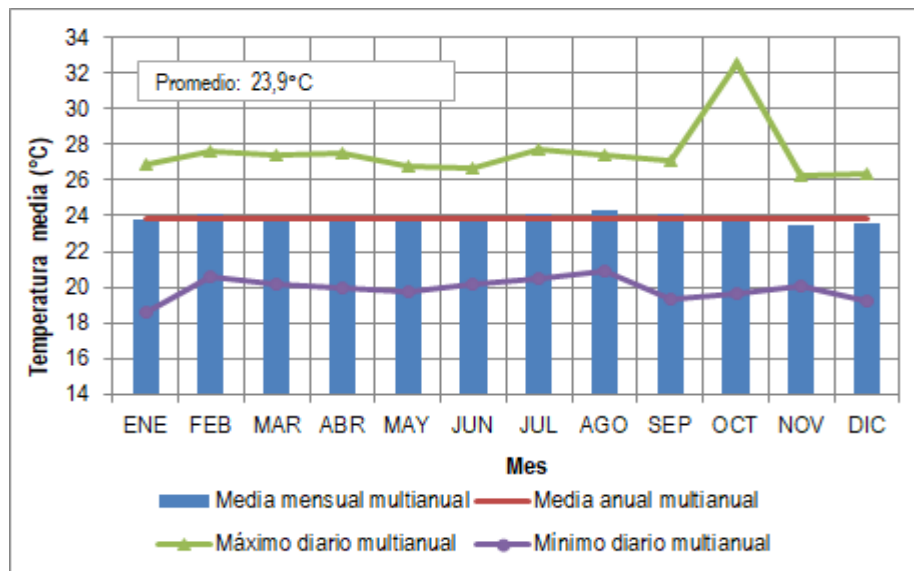


Figura 17. Temperatura Media estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 18 y Figura 18, la temperatura media tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura media se ubicó en 24,71 °C y un mínimo anual en el año 1999 con 23,07 °C.

Tabla 18. Temperatura media anual, estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	23,33	2008	23,10
1997	24,24	2009	24,27
1998	24,36	2010	23,75
1999	23,07	2011	23,42
2000	23,24	2012	23,81
2001	23,86	2013	23,82
2002	24,11	2014	24,04
2003	24,07	2015	24,71
2004	23,79	2016	24,46
2005	24,08	2017	23,73
2006	23,82	2018	23,87
2007	23,54	2019	24,24

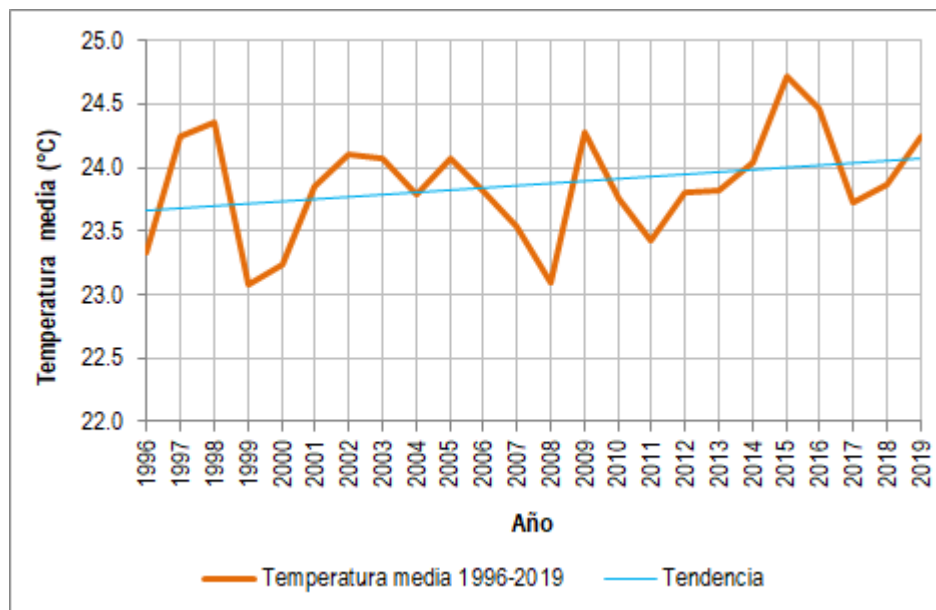


Figura 18. Variación de temperatura media anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

- Riomanso

En la Tabla 19 y en la Figura 19 se encuentra la información de temperatura media registrada en la estación Riomanso, la temperatura media varía entre 16,907°C en noviembre y 17,40 °C en mayo y septiembre, con una media de 17,20 °C.

El valor máximo diario se registró en el mes de mayo de los años 2004 y 2005 (22,60 °C) y el registro diario más bajo de temperatura media se presentó en julio de 1999 con un valor de 12,00 °C.

Tabla 19. Temperatura Media estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	17,00	17,10	17,10	17,30	17,40	17,20	17,10	17,30	17,40	17,30	16,90	17,00
Máximo diario multianual	20,60	21,40	20,90	20,30	22,60	20,40	20,60	20,60	21,10	21,00	20,30	21,70
Mínimo diario multianual	12,20	13,20	13,00	13,60	14,00	13,00	12,00	13,60	14,40	13,60	13,60	13,00

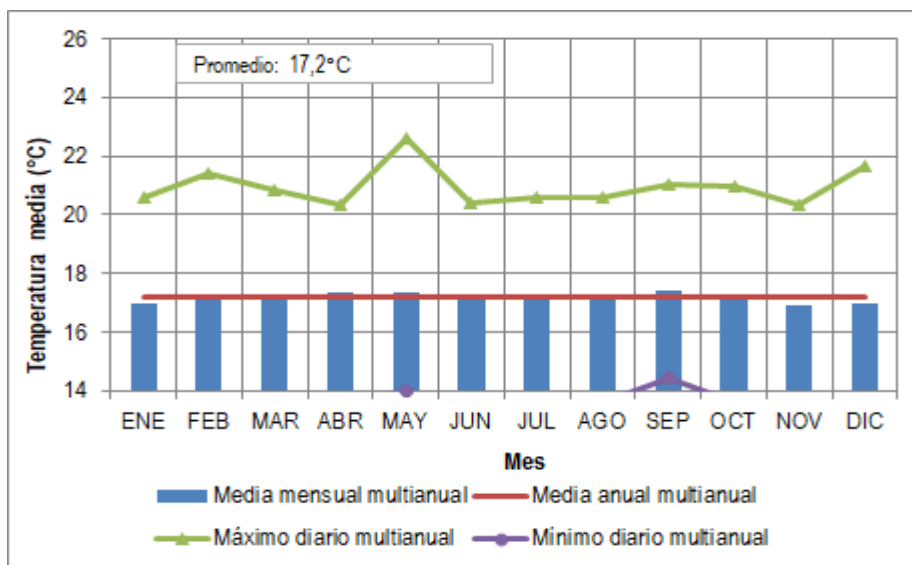


Figura 19. Temperatura Media estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 20 y Figura 20 la temperatura media anual tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2002 en donde la temperatura media se ubicó en 18,03 °C y un mínimo anual en el año 1999 cuando el parámetro tuvo una media de 16,41 °C.



Tabla 20. Temperatura media anual, estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	16,66	2008	16,97
1997	17,12	2009	17,53
1998	17,07	2010	17,59
1999	16,41	2011	16,87
2000	16,49	2012	16,75
2001	17,71	2013	16,80
2002	18,03	2014	17,15
2003	17,37	2015	17,57
2004	17,15	2016	17,67
2005	17,33	2017	17,15
2006	17,31	2018	16,97
2007	17,55	2019	17,21

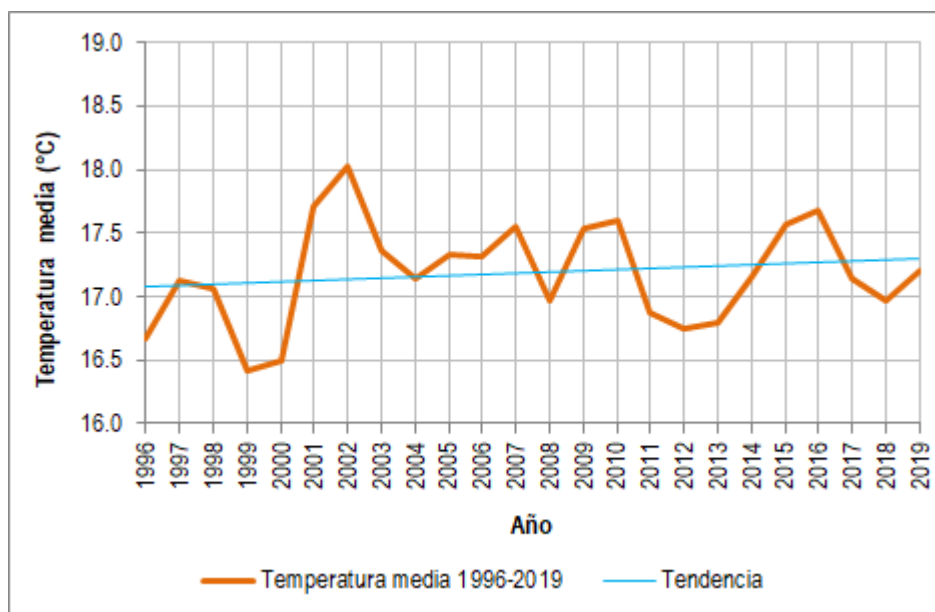


Figura 20. Variación de temperatura media anual en la estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

- San Antonio Quinta

En la Tabla 21 y en la Figura 21 se presentan los registros de temperatura media en la estación San Antonio Quinta, la temperatura media presenta un rango de variación entre 20,80 °C (noviembre) y 22,20 °C (septiembre) con una media de 21,50 °C. La temperatura media máxima diaria se presentó en el mes de julio en el año 1997 (26,10 °C) y el valor mínimo de temperatura media registrado se presentó en el mes de abril de 2018 (15,70°C).

Tabla 21. Temperatura Media estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	21,40	21,50	21,50	21,40	21,50	21,60	21,80	22,10	22,20	21,30	20,80	21,10
Máximo diario multianual	24,80	26,50	25,00	24,20	24,50	24,10	26,10	25,30	25,70	25,70	24,10	25,90
Mínimo diario multianual	17,10	16,80	17,20	15,70	17,20	16,20	16,90	18,30	17,70	16,80	17,00	17,40

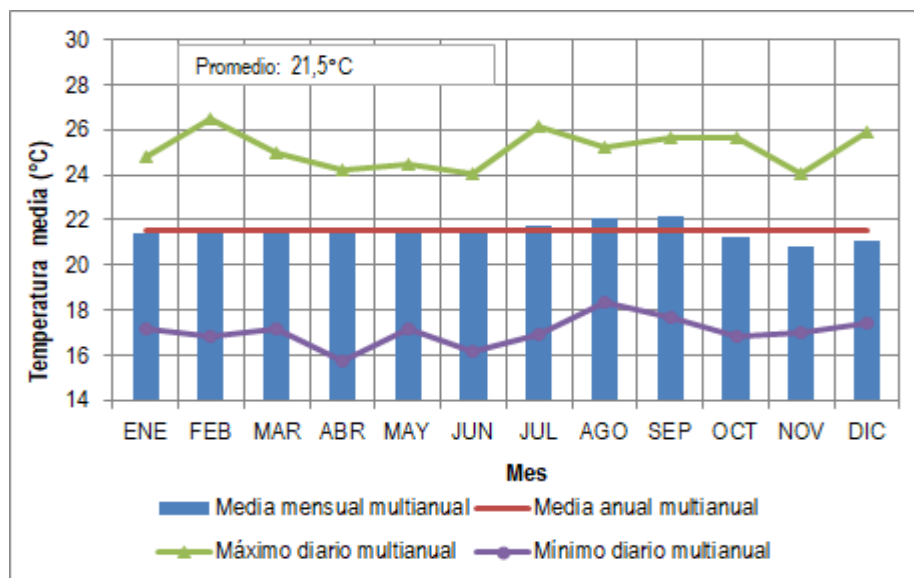


Figura 21. Temperatura Media estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

La temperatura media anual tiene una tendencia decreciente con un medio máximo anual en el año 1997 con 22,53 °C y un medio mínimo anual en el año 2018 con 20,13 °C. Ver Tabla 22 y Figura 22.

Tabla 22. Temperatura media anual, estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	21,52	2008	20,86
1997	22,53	2009	21,60
1998	22,28	2010	21,61
1999	21,27	2011	20,96
2000	21,11	2012	21,48
2001	21,77	2013	21,54
2002	21,93	2014	21,74
2003	21,83	2015	22,27
2004	21,71	2016	21,99
2005	21,64	2017	21,05
2006	21,48	2018	20,13
2007	21,36	2019	20,71

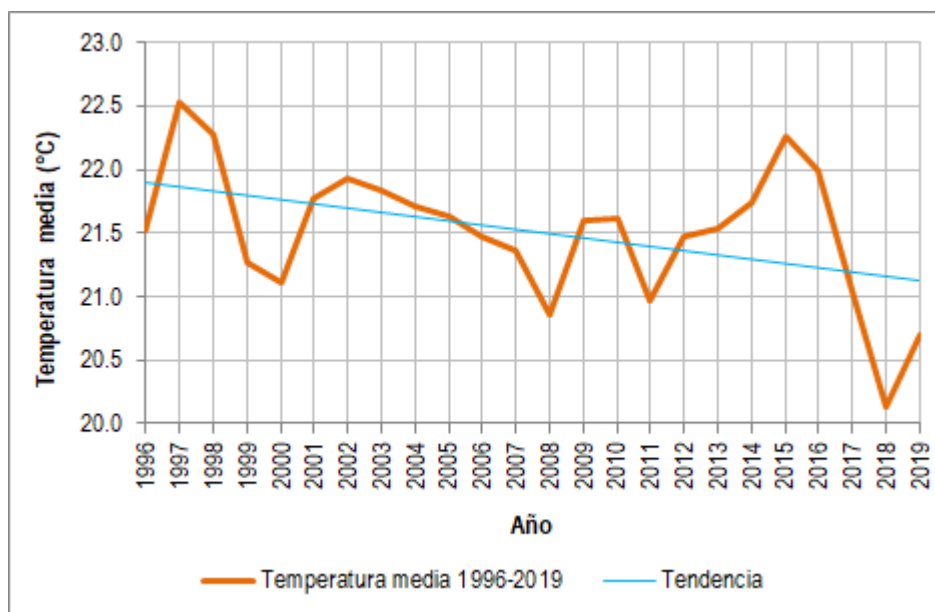


Figura 22. Variación de temperatura media anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

- San Marcos

En la Tabla 23 y en la Figura 23 se presenta la información de temperatura media registrada en la estación San Marcos, la cual presenta un rango de variación entre 23,10°C y 23,70°C con una media de 23,40 °C. En agosto se presentan las temperaturas medias más altas y en noviembre la temperatura media más baja.

El registro máximo diario de temperatura media se presentó en el mes de enero (29,40 °C) y el registro diario más bajo de temperatura media se presentó en marzo del año 2000 con un valor de 17,20 °C.

Tabla 23. Temperatura Media estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	23,50	23,60	23,60	23,50	23,30	23,20	23,40	23,70	23,70	23,20	23,10	23,20
Máximo diario multianual	29,40	28,20	28,50	27,70	28,70	28,50	28,20	28,70	29,10	27,90	27,80	28,50
Mínimo diario multianual	18,50	17,20	17,00	18,20	18,40	18,40	17,80	15,40	19,00	17,80	19,20	18,10

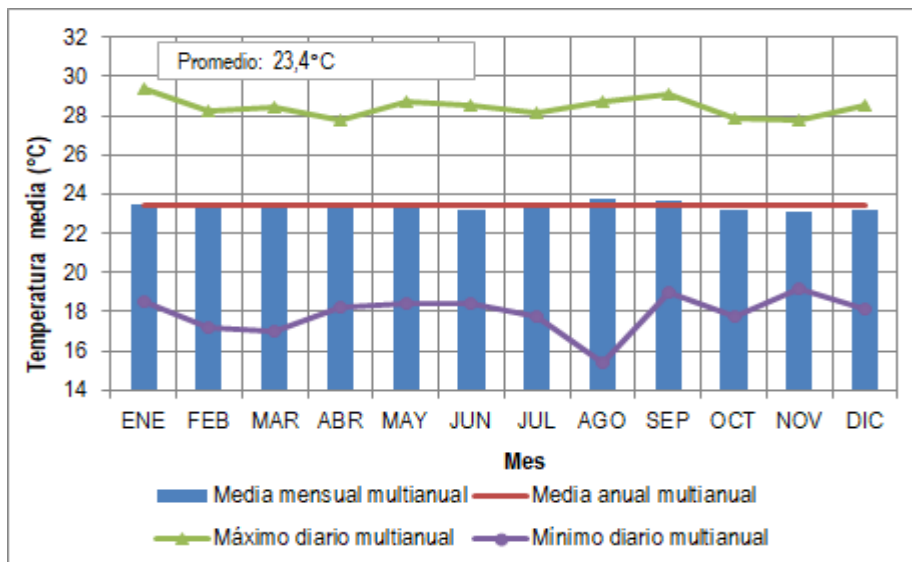


Figura 23. Temperatura Media estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

La temperatura media anual tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura media se ubicó en 24,64 °C y un mínimo anual en el año 2018 con 22,23 °C. Ver Tabla 24 y Figura 24.

Tabla 24. Temperatura media anual, estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	22,65	2008	23,26
1997	23,5	2009	24,02
1998	23,84	2010	23,85
1999	22,64	2011	23,48
2000	22,37	2012	23,51
2001	23,48	2013	23,66
2002	23,74	2014	23,58
2003	23,68	2015	24,64
2004	23,40	2016	23,88
2005	23,46	2017	22,97
2006	23,56	2018	22,23
2007	23,19	2019	23,24

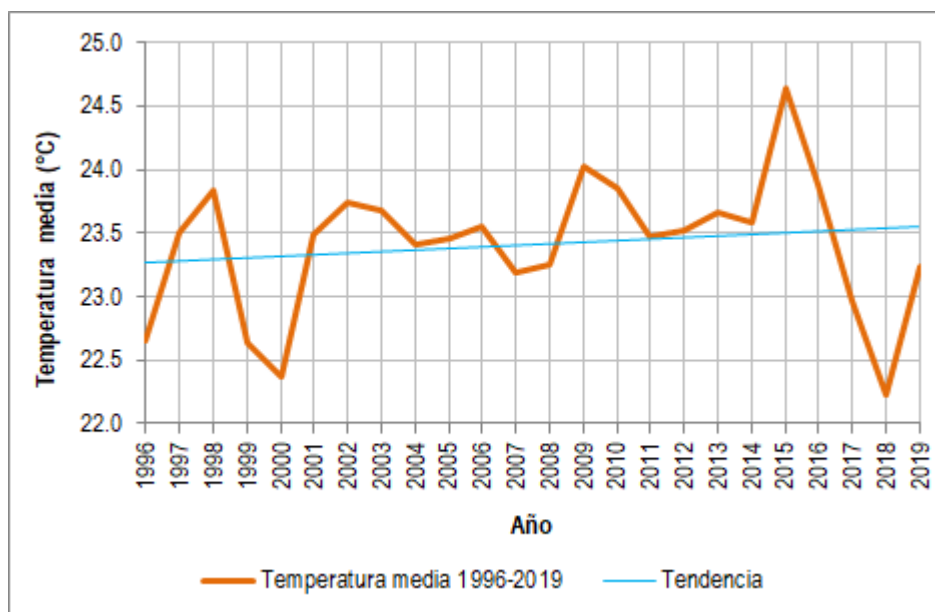


Figura 24. Variación de temperatura media anual en la estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

- San José Palmar

En la Tabla 25 y en la Figura 25 se presentan los registros de temperatura media en la estación San José Palmar, la temperatura media presenta un rango de variación entre 20,80 °C el cual se presentó en los meses de enero y noviembre; 21,60 °C en el mes de agosto.

La temperatura media máxima se presentó en agosto del año 2019 (25,30 °C) y el valor mínimo de temperatura media se registró en el mes de octubre de 2011 (17,50 °C).

Tabla 25. Temperatura Media estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	20,80	21,00	21,20	21,40	21,60	21,50	21,50	21,60	21,40	21,00	20,80	20,90
Máximo diario multianual	24,10	23,90	23,50	24,30	24,30	24,90	25,30	24,90	23,90	23,30	23,10	24,10
Mínimo diario multianual	18,10	18,90	18,50	18,70	18,00	18,70	18,90	18,70	18,70	17,50	17,90	18,20

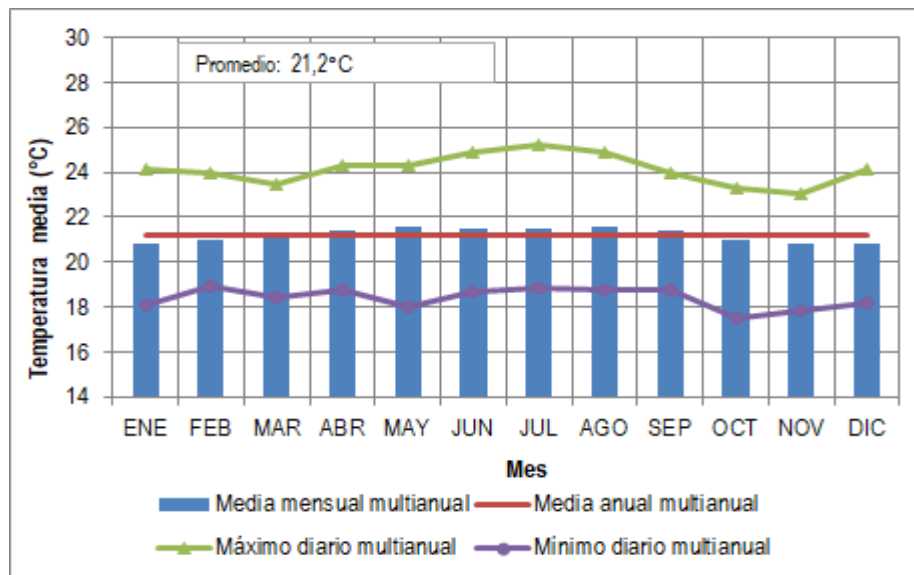


Figura 25. Temperatura Media estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

La temperatura anual tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura media se ubicó en 22,04 °C. y un mínimo anual en el año 1999 con 20,46 °C. (Tabla 26 y Figura 26).



Tabla 26. Temperatura media anual, estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	20,76	2008	20,93
1997	21,48	2009	21,46
1998	21,21	2010	21,41
1999	20,46	2011	20,93
2000	20,75	2012	21,17
2001	21,19	2013	21,03
2002	21,31	2014	21,11
2003	21,01	2015	22,04
2004	21,08	2016	21,80
2005	21,22	2017	21,61
2006	21,24	2018	21,23
2007	21,12	2019	21,50

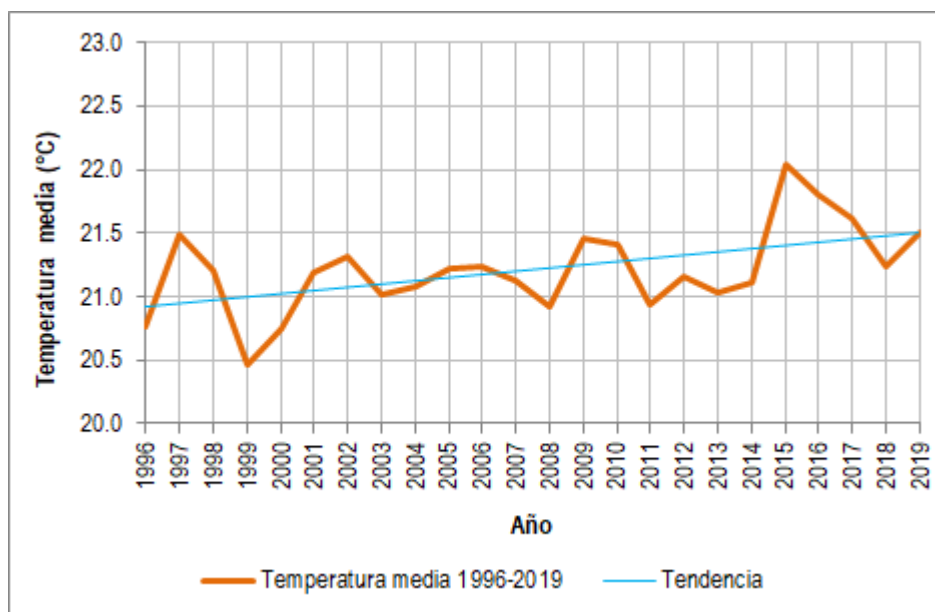


Figura 26. Variación de temperatura media anual en la estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

- Santa Isabel

En la Tabla 27 y en la Figura 27 se relaciona la información de temperatura media registrada en la estación Santa Isabel, la temperatura media varía entre 12,70 °C en el mes de noviembre y 13,40 °C en los meses de mayo y junio.

La temperatura media máxima se presentó en el mes de julio del año 2015 (17,60°C) y el valor mínimo de temperatura media se registró en el mes de diciembre del 2009 (7,40 °C).

Tabla 27. Temperatura media estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	12,50	12,60	12,70	13,10	13,40	13,40	13,30	13,20	13,10	12,80	12,70	12,80
Máximo diario multianual	15,90	16,80	16,90	17,10	17,40	17,40	17,60	17,00	16,40	16,40	17,00	16,90
Mínimo diario multianual	9,30	8,40	8,00	10,00	9,60	9,00	9,40	10,00	10,20	7,80	9,60	7,40

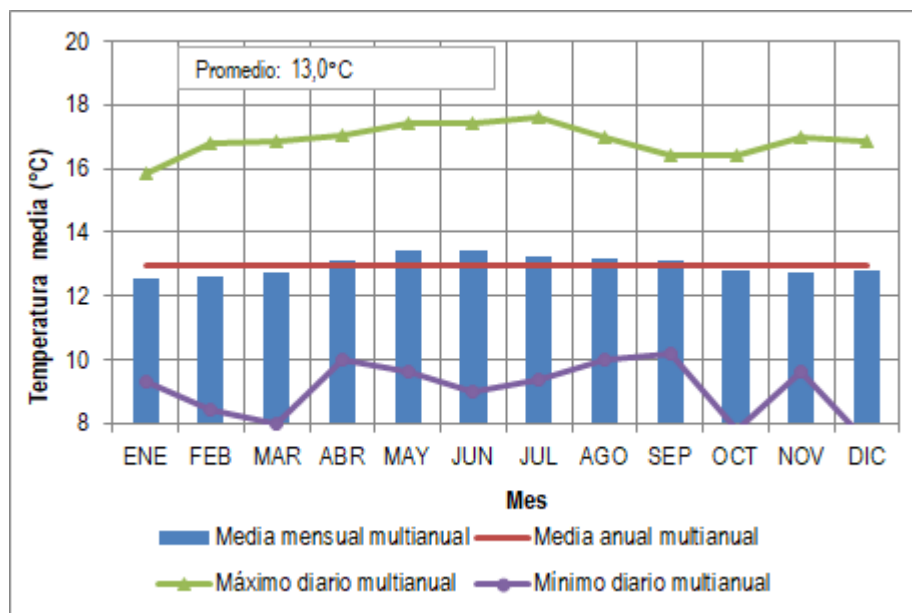


Figura 27. Temperatura Media estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 28 y Figura 28, la temperatura media tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2017 en donde la temperatura media se ubicó en 13,66 °C y un mínimo anual en el año 1996 con 11,84 °C.

Tabla 28. Temperatura media anual, estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	11,84	2008	12,35
1997	12,52	2009	12,79
1998	13,00	2010	13,08
1999	12,61	2011	12,80
2000	12,57	2012	13,05
2001	13,03	2013	13,29
2002	13,31	2014	13,10
2003	13,12	2015	13,54
2004	12,92	2016	13,58
2005	13,19	2017	13,66
2006	12,77	2018	13,37
2007	12,69	2019	13,38

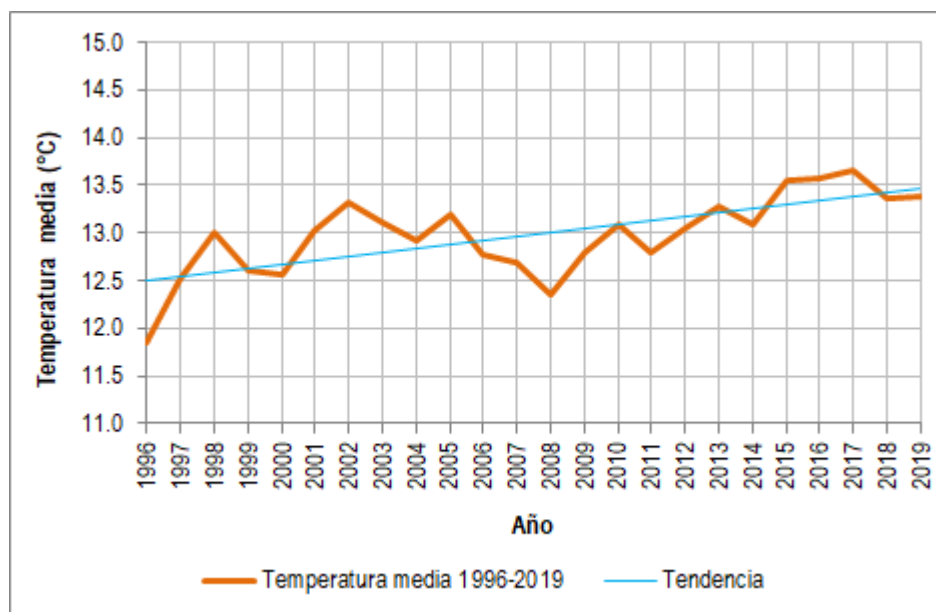


Figura 28. Variación de temperatura media anual en la estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

- Temperatura máxima
- Aeropuerto Matecaña

La media de los valores máximos de temperatura en la estación Apto Matecana tienen un rango de variación entre 25,60 °C registrado en agosto y 24,70 °C registrado en varios meses, con un valor promedio de 25,10 °C. El registro más alto de temperatura máxima se presentó en junio de 2015 con un valor de 32,2 °C y el registro más bajo de temperatura máxima se dio en los meses de mayo y junio de 1996 con un valor de 18,20 °C. En la Tabla 29 y en la Figura 29 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 29. Temperatura máxima diaria estación Apto. Matecaña. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	25,20	25,50	25,20	24,90	24,70	24,70	25,20	25,60	25,30	24,60	24,70	24,90
Máximo diario multianual	30,00	30,80	30,80	30,00	30,40	32,20	31,00	31,00	30,80	29,00	28,00	29,20
Mínimo diario multianual	19,40	18,60	19,40	19,20	18,20	18,20	19,10	19,60	19,00	18,40	18,70	18,60

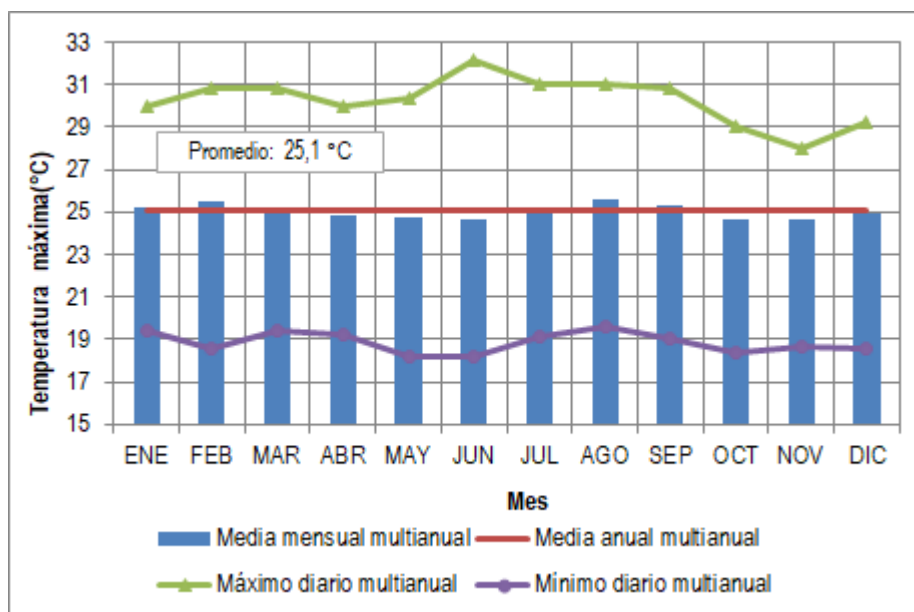


Figura 29. Temperatura máxima diaria estación Apto. Matecaña. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 30 y Figura 30 se presenta la variación de la temperatura máxima anual en la estación Apto. Matecaña, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo

anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 26,44 °C y un mínimo anual en el año 1999 con 23,95 °C.

Tabla 30. Temperatura máxima anual, estación Apto. Matecaña. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	24,17	2008	24,19
1997	25,25	2009	25,28
1998	25,19	2010	24,87
1999	23,95	2011	24,59
2000	24,13	2012	25,14
2001	24,93	2013	25,20
2002	25,42	2014	25,38
2003	25,04	2015	26,44
2004	25,01	2016	26,25
2005	25,08	2017	25,40
2006	24,94	2018	25,07
2007	24,68	2019	25,69

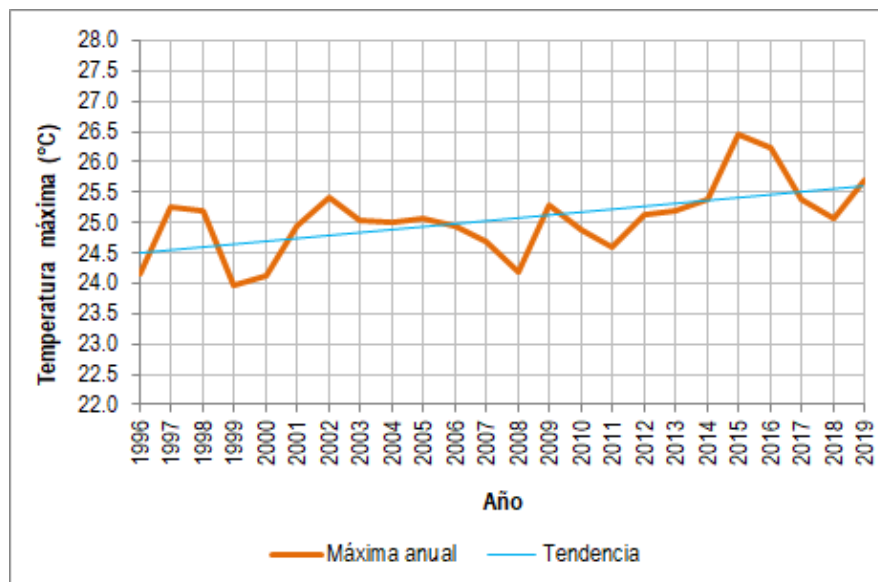


Figura 30. Variación de temperatura máxima anual en la estación Aeropuerto. Matecaña. Periodo 1996-2019.

- Barragán

La media de los valores máximos de temperatura en la estación Barragán tienen un rango de variación entre 13,80 °C en el mes de noviembre y 14,70 °C en el mes de septiembre, con un valor promedio de 14,30 °C.

El registro más alto de temperatura máxima se presentó en marzo de 2016 con un valor de 20,60 °C mientras que el registro más bajo de temperatura máxima se registró en el mes de junio de 2010 con un valor de 8,60 °C. En la Tabla 31 y en la Figura 31 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 31. Temperatura máxima diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	14,40	14,40	14,40	14,40	14,60	14,50	14,40	14,40	14,70	13,80	13,60	14,10
Máximo diario multianual	20,00	20,40	20,60	19,80	19,80	19,00	19,00	19,40	19,80	18,40	19,00	20,00
Mínimo diario multianual	9,60	9,60	9,80	9,80	10,00	8,60	10,00	10,00	10,00	9,40	9,60	9,60

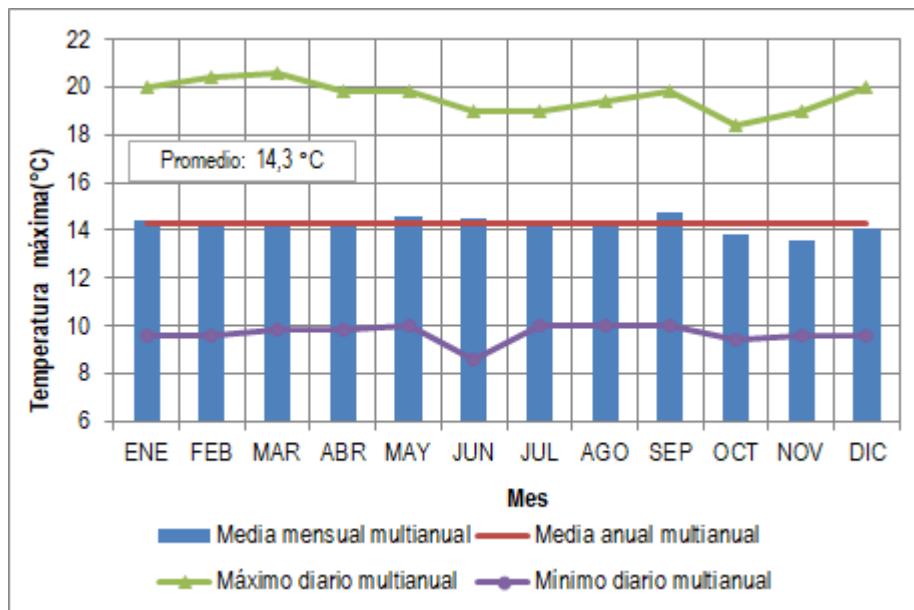


Figura 31. Temperatura máxima diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 32 y Figura 32 se puede observar la variación de la temperatura máxima anual en la estación Barragán, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo



anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 15,41 °C y un mínimo anual en el año 1999 con un valor de 12,88 °C.

Tabla 32. Temperatura máxima anual, estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	13,62	2008	13,72
1997	14,29	2009	14,74
1998	13,41	2010	14,72
1999	12,88	2011	14,18
2000	13,65	2012	14,66
2001	14,03	2013	14,91
2002	14,83	2014	14,86
2003	14,52	2015	15,41
2004	13,81	2016	15,39
2005	13,55	2017	14,48
2006	13,9	2018	14,60
2007	14,25	2019	15,08

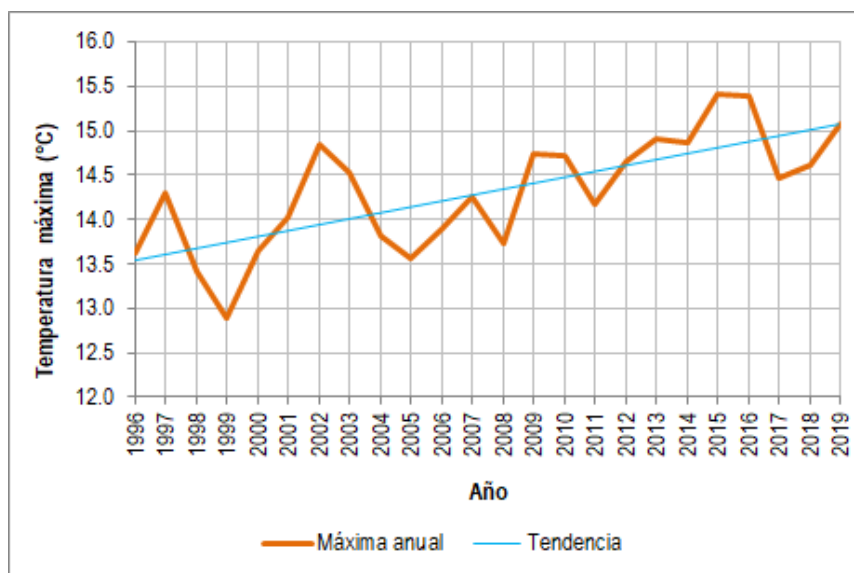


Figura 32. Variación de temperatura máxima anual en la estación Barragán. Periodo 1996-2019.

- La Bohemia

La media de los valores máximos de temperatura en la estación La Bohemia tienen un rango de variación entre 29,40 °C registrado en agosto y 27,80 °C registrado en noviembre, con un valor promedio de 28,40 °C. El registro más alto de temperatura máxima se presentó en agosto de 1996 con un valor de 36,00 °C, mientras que el registro más bajo de temperatura máxima se dio en el mes de diciembre de 2006 con un valor de 20,60 °C. En la Tabla 33 y en la Figura 33 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 33. Temperatura máxima diaria estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	28,80	28,80	28,70	28,00	27,90	28,10	28,80	29,40	29,00	28,10	27,80	28,10
Máximo diario multianual	34,40	35,80	35,00	32,60	32,80	33,20	34,40	36,00	35,60	33,00	31,40	33,60
Mínimo diario multianual	21,40	21,20	20,80	21,40	21,80	20,60	21,00	21,20	21,80	21,20	20,80	20,60

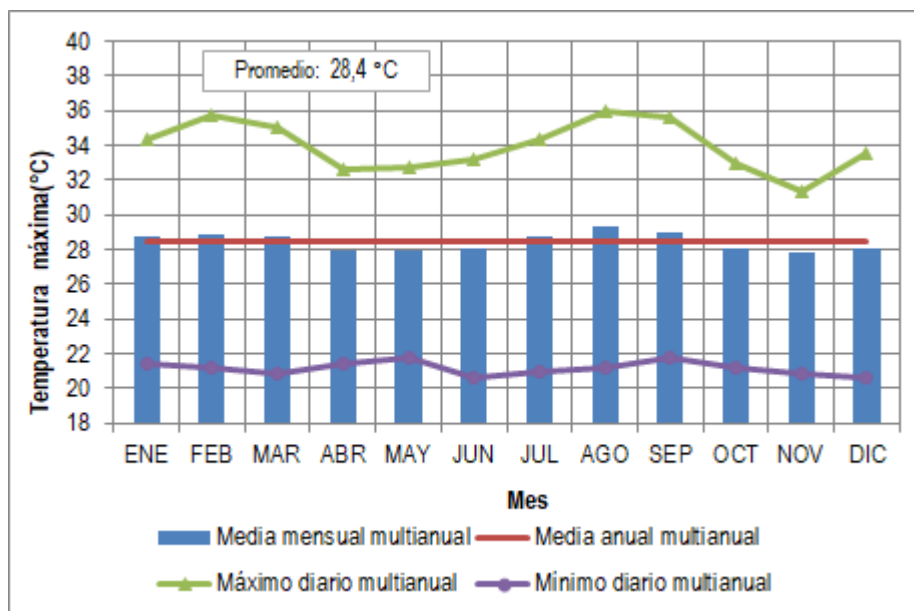


Figura 33. Temperatura máxima diaria estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 34 y Figura 34 se puede observar la variación de la temperatura máxima anual en la estación La Bohemia, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 29,80 °C y un mínimo anual en el año 2008 con 27,57 °C.

Tabla 34. Temperatura máxima anual, estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	28,10	2008	27,57
1997	28,59	2009	28,46
1998	28,77	2010	28,05
1999	27,69	2011	27,68
2000	27,79	2012	28,41
2001	28,69	2013	28,42
2002	29,05	2014	28,93
2003	28,53	2015	29,80
2004	28,64	2016	29,09
2005	28,51	2017	28,56
2006	28,41	2018	28,49
2007	28,11	2019	28,35

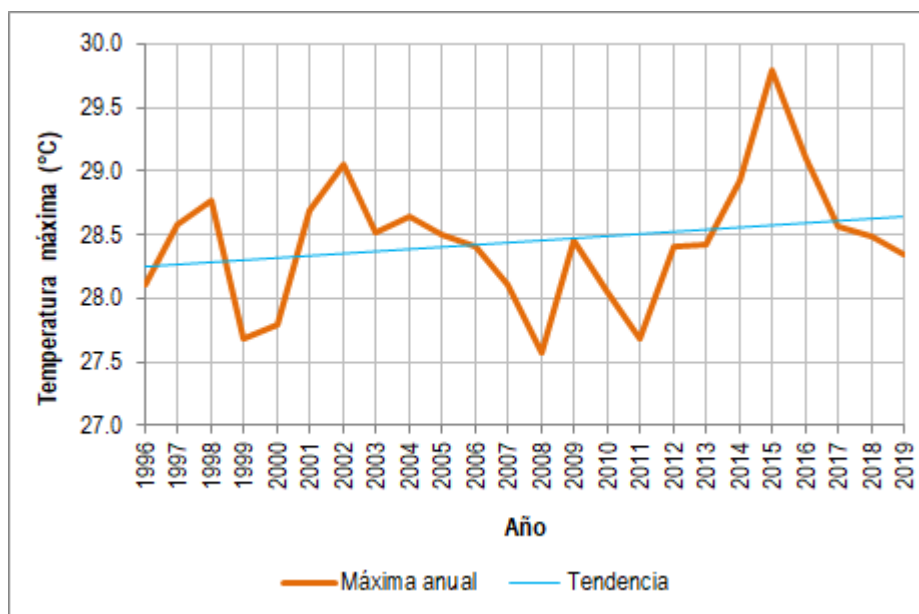


Figura 34. Variación de temperatura máxima anual en la estación La Bohemia. Periodo 1996 - 2019.

- Cumarco

La media de los valores máximos de temperatura en la estación Cumarco tienen un rango de variación entre 21,40 °C registrado en noviembre y 22,80 °C registrado en agosto, con un valor promedio de 22,00 °C. El registro más alto de temperatura máxima se presentó en junio de 2016 con un valor de 38,70°C y el registro más bajo de temperatura máxima se dio en el mes de febrero de 2011 con un valor de 16,00 °C. En la Tabla 35 y en la Figura 35 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 35. Temperatura máxima diaria estación Cumarco. 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	22,00	22,10	21,90	21,80	21,90	22,10	22,60	22,80	22,60	21,50	21,40	21,60
Máximo diario multianual	27,00	27,40	26,80	26,80	29,60	38,70	28,40	29,80	30,20	26,80	25,20	28,90
Mínimo diario multianual	16,20	16,00	16,80	16,80	17,00	17,00	16,80	16,80	16,80	16,40	16,40	16,40

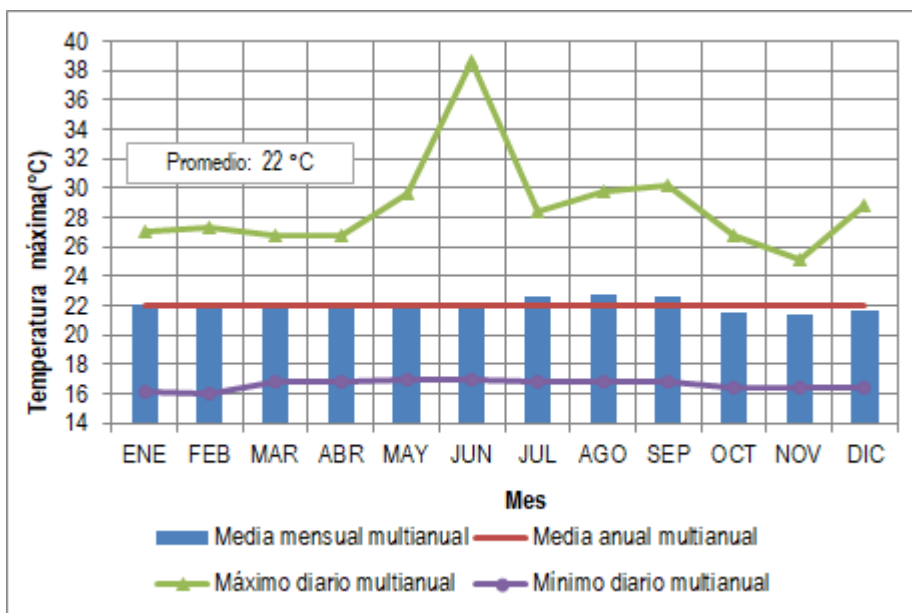


Figura 35. Temperatura máxima diaria estación Cumarco. 1996-2019.

En la Tabla 36 y Figura 36 se puede observar la variación de la temperatura máxima anual en la estación Cumarco, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 23,14 °C y un mínimo anual en el año 1996 cuando el parámetro tuvo un valor de 20,81 °C.

Tabla 36. Temperatura máxima anual, estación Cumarco. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	20,81	2008	20,86
1997	21,76	2009	22,01
1998	22,69	2010	21,99
1999	22,25	2011	21,61
2000	21,14	2012	22,45
2001	21,98	2013	22,31
2002	21,63	2014	22,41
2003	22,04	2015	23,14
2004	22,58	2016	22,56
2005	22,32	2017	21,21
2006	23,00	2018	21,75
2007	21,68	2019	22,45

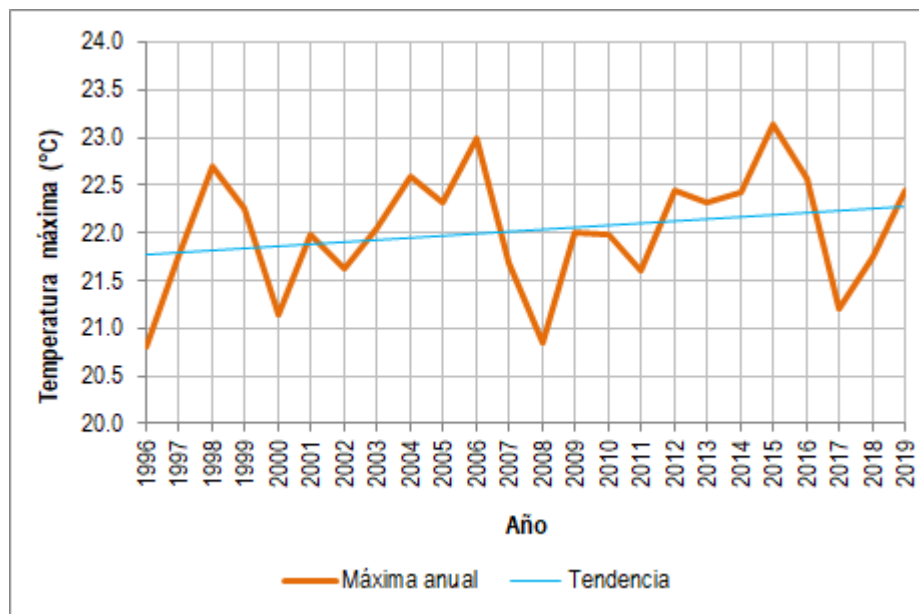


Figura 36. Variación de temperatura máxima anual en la estación Cumarco. Periodo 1996-2019.

- Mateguadua

La media de los valores máximos de temperatura en la estación Mateguadua tienen un rango de variación entre 26,80 °C registrado en noviembre y 28,10 °C registrado en agosto, con un valor promedio de 27,30 °C. El registro más alto de temperatura máxima se presentó en enero de 1998 con un valor de 33,60 °C, mientras que el registro más bajo de temperatura máxima se dio en varios meses de 2000, 2001, 2004 y 2016 con un valor de 20,00 °C. En la Tabla 37 y en la Figura 37 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 37. Temperatura máxima diaria estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	27,40	27,60	27,50	27,20	27,00	27,10	27,40	28,10	27,60	26,90	26,80	27,00
Máximo diario multianual	33,60	33,20	32,40	31,00	32,00	30,80	32,40	33,40	32,40	32,20	32,00	31,80
Mínimo diario multianual	20,00	21,20	21,40	21,00	20,40	21,80	21,20	21,80	20,00	19,20	20,00	20,00

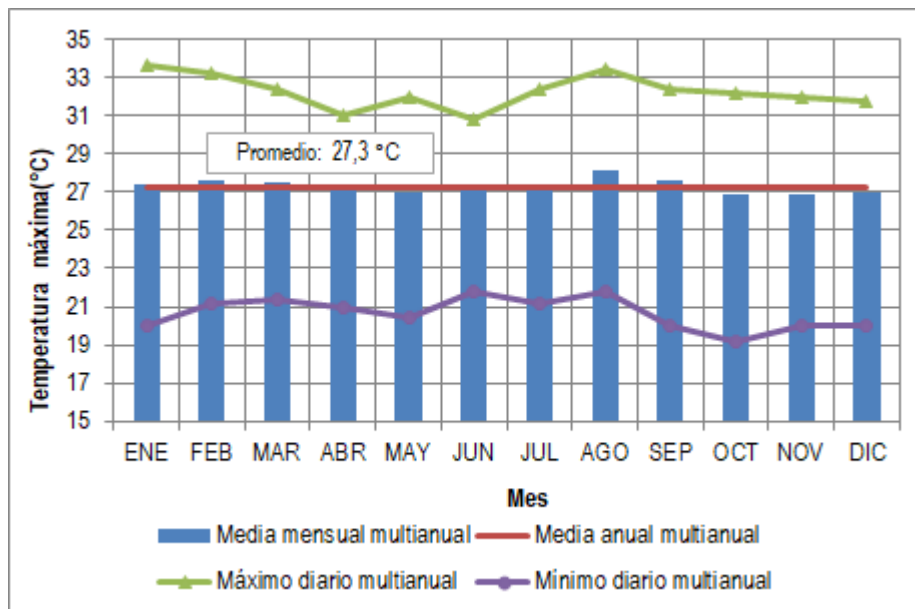


Figura 37. Temperatura máxima diaria estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 38 y Figura 38 se puede observar la variación de la temperatura máxima anual en la estación, la temperatura tiene una tendencia decreciente con un máximo anual en el año 1997 en donde la temperatura máxima se ubicó en 28,53 °C y un mínimo anual en el año 2011 con un valor de 25,79 °C.



Tabla 38. Temperatura máxima anual, estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	28,02	2008	26,14
1997	28,53	2009	27,47
1998	27,83	2010	26,06
1999	26,84	2011	25,79
2000	26,50	2012	26,51
2001	27,42	2013	27,53
2002	27,95	2014	27,93
2003	27,61	2015	27,33
2004	27,22	2016	26,79
2005	27,64	2017	27,31
2006	27,32	2018	28,03
2007	27,09	2019	28,22

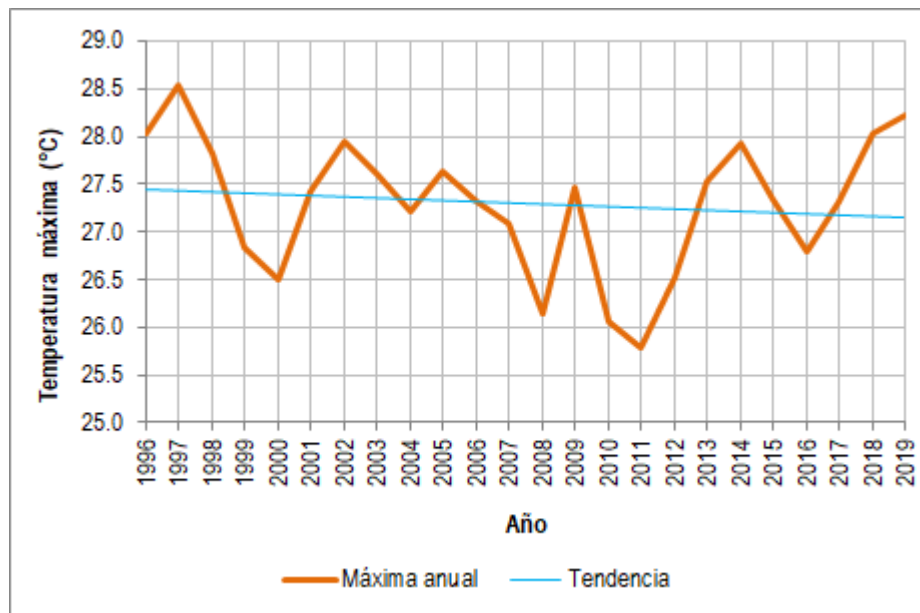


Figura 38. Variación de temperatura máxima anual en la estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

- Palmira ICA

Los valores promedio mensual de temperatura máxima diaria en la estación Palmira ICA tienen un rango de variación, el registro promedio más bajo se presentó en el mes de septiembre con un valor de 27,40 °C, mientras que, el mes con el registro promedio mensual de temperatura máxima más alto es agosto con 28,60 °C. La estación tiene un valor promedio mensual de temperatura mínima diaria de 27,90 °C.

El registro máximo diario se presentó en el mes de abril de 2003 y el mínimo en enero de 2008 con valores de 34,40 °C y 20,00 °C respectivamente. Ver Tabla 39 y Figura 39.

Tabla 39. Temperatura máxima diaria estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	28,00	28,10	27,90	27,70	27,60	27,60	28,20	28,60	28,40	27,60	27,40	27,60
Máximo diario multianual	32,20	33,40	32,60	34,40	32,10	32,50	34,20	32,80	33,80	32,20	31,60	32,00
Mínimo diario multianual	20,00	21,60	20,60	20,60	20,60	21,50	21,10	21,70	20,80	20,40	20,80	20,40

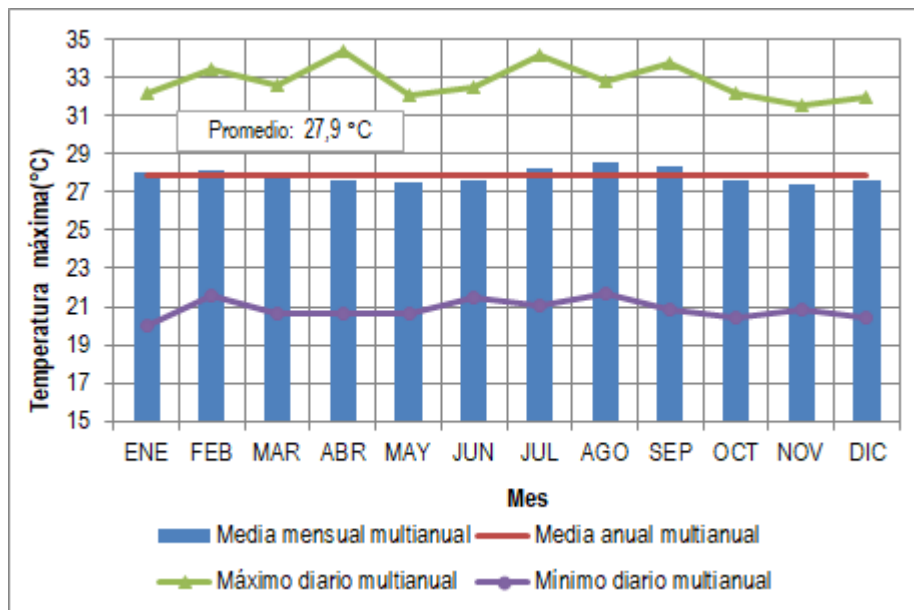


Figura 39. Temperatura máxima diaria estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 40 y Figura 40 se relaciona la variación de la temperatura máxima anual en la estación Palmira ICA, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual

en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 28,86 °C y un mínimo anual en el año 2008 cuando el parámetro registró un valor de 26,86 °C.

Tabla 40. Temperatura máxima anual, estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	27,27	2008	26,86
1997	28,45	2009	28,40
1998	28,56	2010	27,44
1999	26,94	2011	27,22
2000	27,14	2012	27,73
2001	28,1	2013	27,70
2002	28,36	2014	28,14
2003	28,24	2015	28,86
2004	27,88	2016	28,55
2005	28,11	2017	27,64
2006	27,82	2018	27,87
2007	27,51	2019	28,35

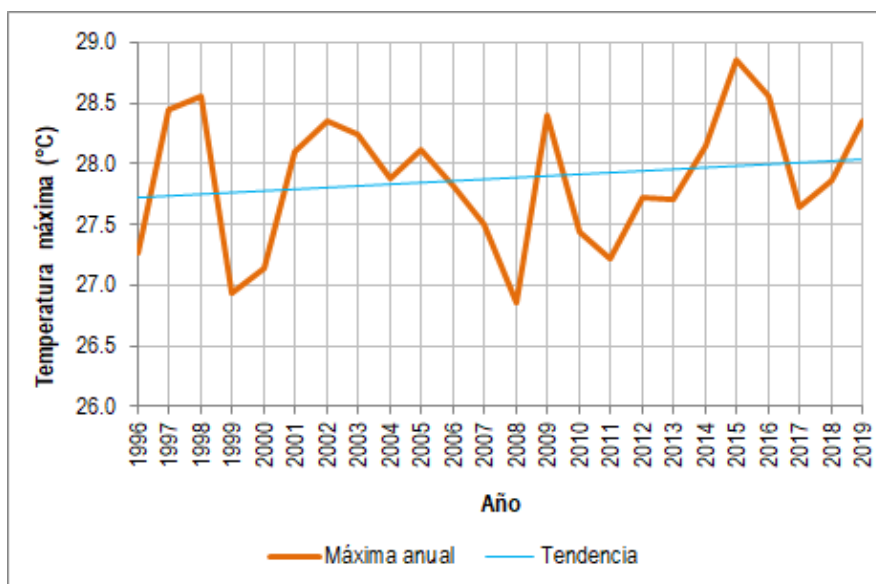


Figura 40. Variación de temperatura máxima anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

- Riomanso

En la estación Riomanso la media mensual de las temperaturas máximas diarias varía entre 19,70 °C registrada en el mes de noviembre y 20,90 °C en el mes de septiembre, la temperatura mínima promedio es de 20,30 °C. El registro más alto de temperatura máxima se presentó en diciembre de 2003 con 27,20 °C y el más bajo se dio en marzo de 2001 con 14,00 °C. Ver Tabla 41 y Figura 41.

Tabla 41. Temperatura máxima diaria Riomanso. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	20,20	20,30	20,10	20,30	20,40	20,50	20,60	20,80	20,90	20,30	19,70	20,10
Máximo diario multianual	26,60	25,60	25,40	25,40	24,80	24,00	24,80	24,60	25,00	24,60	24,00	27,20
Mínimo diario multianual	15,00	15,80	14,00	15,20	15,20	16,20	16,40	16,00	17,00	16,00	16,00	15,00

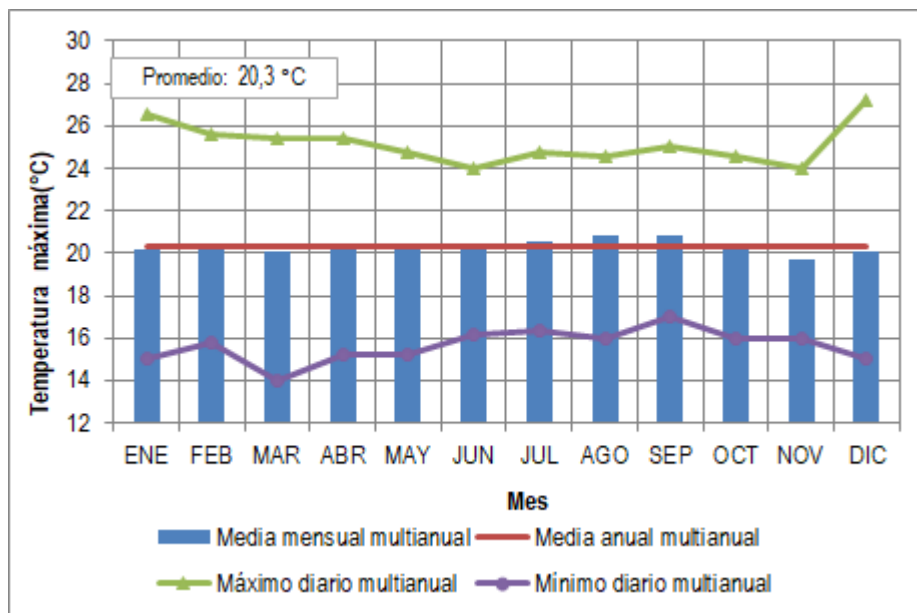


Figura 41. Temperatura máxima diaria Riomanso. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 42 y Figura 42 se presenta la variación de la temperatura máxima anual en la estación Riomanso, la temperatura tiene una tendencia lineal con un máximo anual en el año 2001 y 2016 en donde la temperatura máxima se ubicó en 21,11 °C y un mínimo anual en el año 2008 con 19,45 °C.

Tabla 42. Temperatura máxima anual, estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	19,71	2008	19,45
1997	20,55	2009	20,31
1998	20,85	2010	19,99
1999	20,54	2011	19,86
2000	20,27	2012	20,25
2001	20,53	2013	20,06
2002	20,43	2014	20,32
2003	20,57	2015	21,07
2004	20,53	2016	21,11
2005	20,33	2017	20,42
2006	20,1	2018	19,84
2007	20,79	2019	20,22

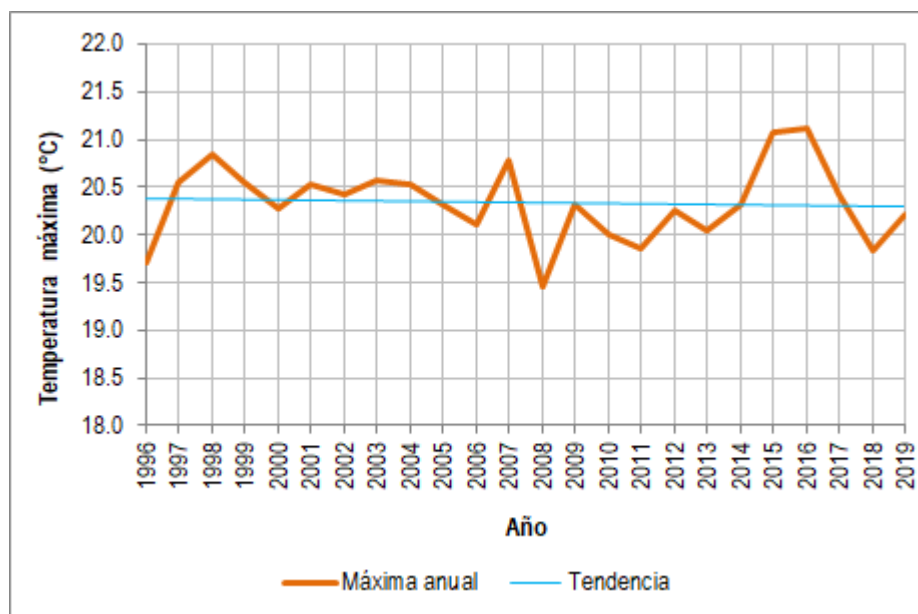


Figura 42. Variación de temperatura máxima anual en la estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

- San Antonio Quinta

La media de los valores máximos de temperatura en la estación San Antonio Quinta oscilan entre 24,00 °C en el mes noviembre y 25,90 °C en el mes septiembre, con un valor promedio de 25,00 °C.

El registro más alto de temperatura máxima se presentó en octubre de 1997 con un valor de 32,40 °C mientras que el registro más bajo de temperatura máxima se registró en el mes de abril de 2018 con un valor de 15,80 °C. En la Tabla 43 y en la Figura 43 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 43. Temperatura máxima diaria estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	25,10	25,00	24,90	24,80	24,90	25,10	25,30	25,70	25,90	24,80	24,00	24,50
Máximo diario multianual	29,80	30,80	29,80	29,40	29,80	29,20	29,20	31,20	31,40	32,40	29,60	29,60
Mínimo diario multianual	17,60	18,20	19,20	15,80	18,00	18,40	18,00	19,80	18,60	17,60	18,60	17,60

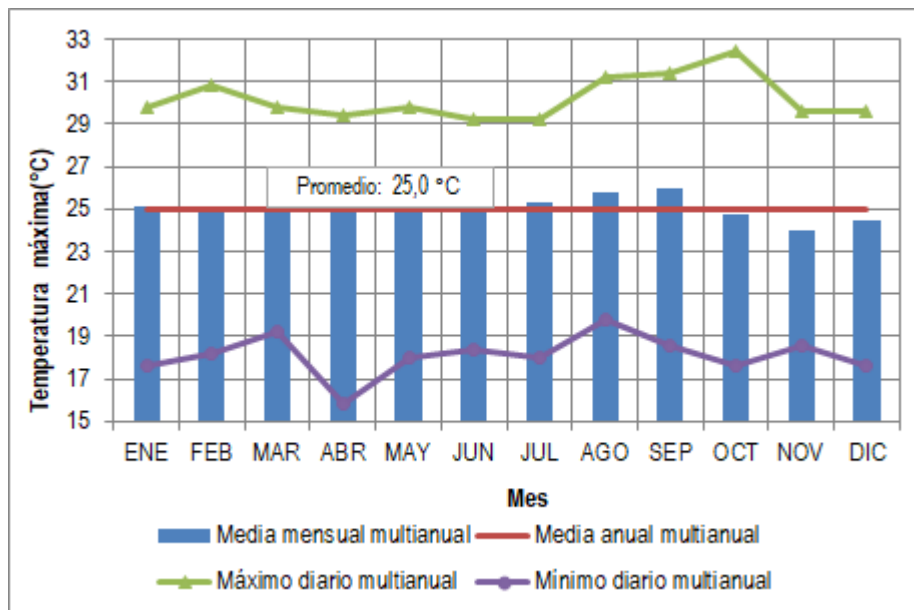


Figura 43. Temperatura máxima diaria estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019

En la Tabla 44 y Figura 44 se puede observar la variación de la temperatura máxima anual en la estación San Antonio Quinta, la temperatura tiene una tendencia decreciente con un



máximo anual en el año 1997 en donde la temperatura máxima se ubicó en 27,55 °C y un mínimo anual en el año 2018 con un valor de 22,38 °C.

Tabla 44. Temperatura máxima anual, estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	27,03	2008	23,81
1997	27,55	2009	24,72
1998	26,88	2010	24,74
1999	26,29	2011	23,94
2000	25,36	2012	24,65
2001	25,44	2013	24,67
2002	25,52	2014	24,96
2003	25,30	2015	25,68
2004	25,30	2016	25,40
2005	24,75	2017	24,06
2006	24,47	2018	22,38
2007	24,4	2019	23,01

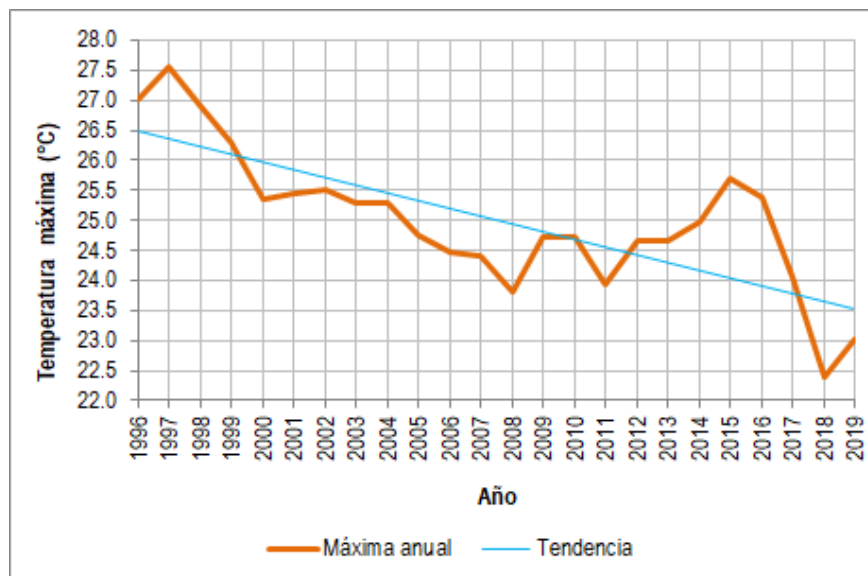


Figura 44. Variación de temperatura máxima anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

- San Marcos

La media de los valores máximos de temperatura en la estación San Marcos tienen un rango de variación entre 27,50 °C registrado en mayo y noviembre y 28,90 °C registrado en agosto, con un valor promedio de 28,00 °C. El registro más alto de temperatura máxima se presentó en agosto y septiembre de 2015 y 2009 respectivamente con un valor de 34,60 °C, mientras que el registro más bajo de temperatura máxima se dio en el mes de mayo de 2016 con un valor de 20,20 °C. En la Tabla 45 y en la Figura 45 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 45. Temperatura máxima diaria estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	28,10	28,30	28,10	27,80	27,50	27,60	28,40	28,90	28,60	27,80	27,50	27,60
Máximo diario multianual	33,20	34,00	32,90	32,20	32,20	32,00	33,60	34,60	34,60	33,80	32,80	31,60
Mínimo diario multianual	20,40	21,40	20,60	21,40	20,20	21,00	22,00	22,40	21,60	20,60	21,40	19,80

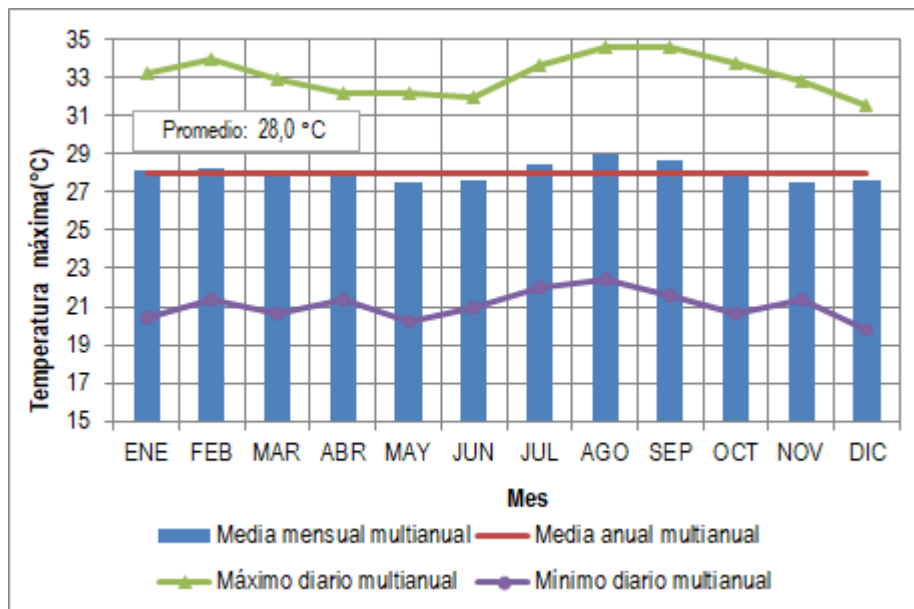


Figura 45. Temperatura máxima diaria estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 46 y Figura 46 se puede observar la variación de la temperatura máxima anual en la estación San Marcos, la temperatura tiene una tendencia lineal con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 29,64 °C y un mínimo anual en el año 1999 con 27,05 °C.

Tabla 46. Temperatura máxima anual, estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	27,07	2008	27,13
1997	28,41	2009	29,18
1998	28,64	2010	28,59
1999	27,05	2011	27,57
2000	27,28	2012	27,49
2001	28,4	2013	27,78
2002	28,66	2014	28,93
2003	28,19	2015	29,64
2004	28,52	2016	27,63
2005	28,39	2017	27,40
2006	28,35	2018	27,11
2007	27,53	2019	27,73

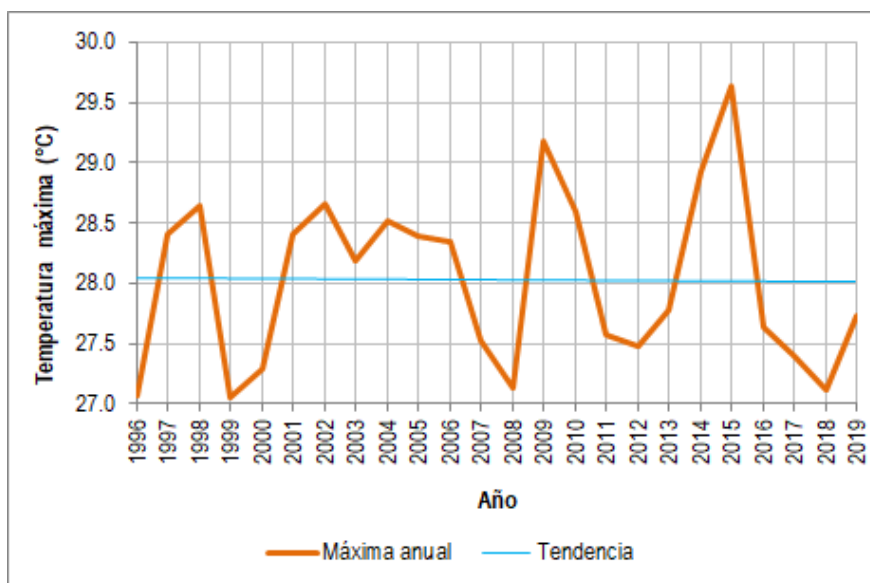


Figura 46. Variación de temperatura máxima anual en la estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

- San José Palmar

La media de los valores máximos de temperatura en la estación San José Palmar tienen un rango de variación entre 22,50 °C registrado en enero y 23,90 °C registrado en agosto, con un valor promedio de 23,30 °C. El registro más alto de temperatura máxima se presentó en julio de 2019 con un valor de 31,70 °C y el registro más bajo de temperatura máxima se dio en el mes de noviembre de 1996 con un valor de 18,00 °C. En la Tabla 47 y en la Figura 47 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 47. Temperatura máxima diaria estación San José Palmar. 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	22,50	22,70	23,20	23,50	23,80	23,70	23,80	23,90	23,60	23,20	22,70	22,70
Máximo diario multianual	29,80	26,60	28,20	28,40	28,00	27,40	31,70	27,40	26,80	28,00	26,60	27,60
Mínimo diario multianual	19,00	19,20	19,00	19,40	19,00	19,00	19,20	18,80	19,20	18,40	18,00	18,60

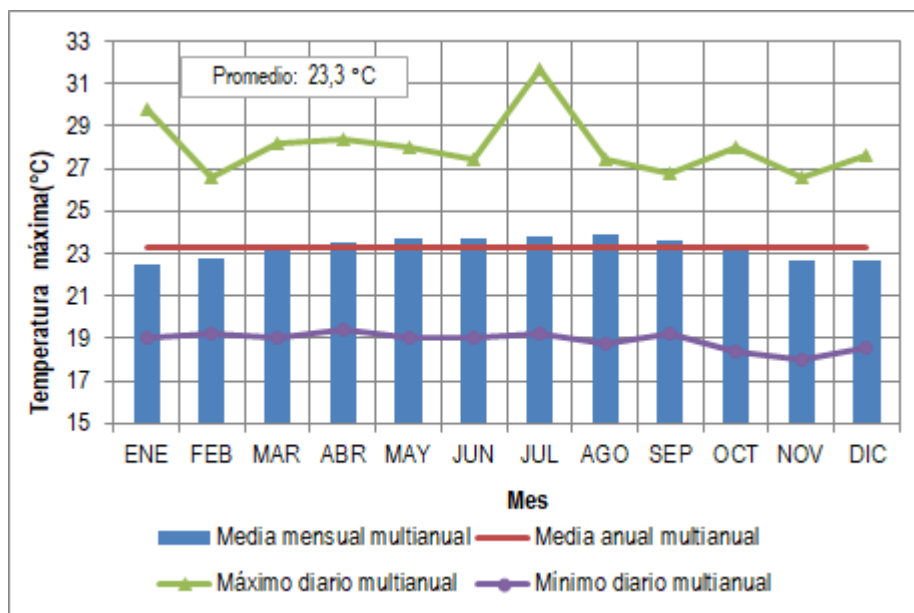


Figura 47. Temperatura máxima diaria estación San José Palmar. 1996-2019.

En la Tabla 48 y Figura 48 se puede observar la variación de la temperatura máxima anual en la estación San José Palmar, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 1997 en donde la temperatura máxima se ubicó en 23,99 °C y un mínimo anual en el año 1999 cuando el parámetro tuvo un valor de 22,49 °C.

Tabla 48. Temperatura máxima anual, estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	22,95	2008	23,16
1997	23,99	2009	23,68
1998	23,27	2010	23,63
1999	22,49	2011	23,10
2000	22,77	2012	23,30
2001	23,21	2013	23,00
2002	23,53	2014	23,29
2003	23,12	2015	23,84
2004	23,09	2016	23,38
2005	23,19	2017	23,43
2006	23,21	2018	23,35
2007	22,95	2019	23,47

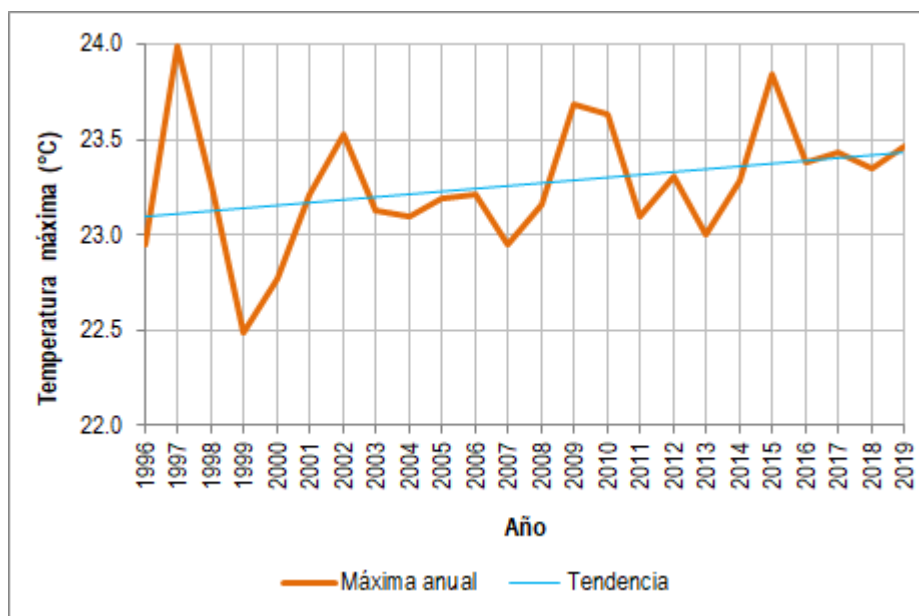


Figura 48. Variación de temperatura máxima anual en la estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

- Santa Isabel

La media de los valores máximos de temperatura en la estación Santa Isabel tienen un rango de variación entre 14,60 °C registrado en enero y 15,70 °C registrado en mayo, con un valor promedio de 15,10 °C. El registro más alto de temperatura máxima se presentó en febrero y diciembre de 2016 y 2015 respectivamente con un valor de 20,20 °C, mientras que el registro más bajo de temperatura máxima se dio en el mes de octubre de 2009 con un valor de 9,40 °C. En la Tabla 49 y en la Figura 49 se presentan los valores registrados en la estación.

Tabla 49. Temperatura máxima diaria estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	14,60	14,70	14,70	15,30	15,70	15,60	15,50	15,50	15,50	14,90	14,70	14,90
Máximo diario multianual	19,20	20,20	18,80	20,00	19,80	19,20	20,00	18,60	19,60	18,60	18,60	20,20
Mínimo diario multianual	10,80	10,60	10,20	11,00	11,00	11,00	10,40	11,00	10,40	9,80	11,20	9,40

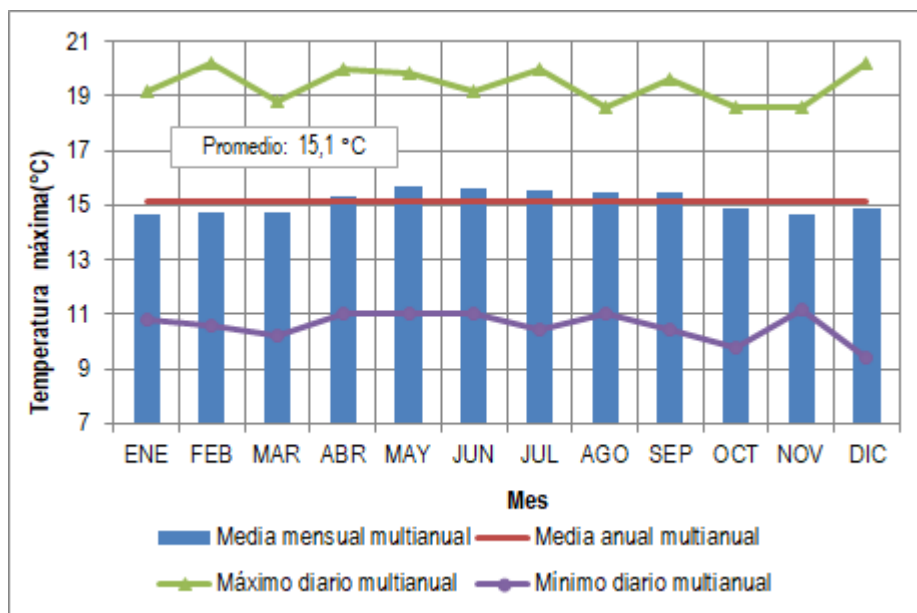


Figura 49. Temperatura máxima diaria estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 50 y Figura 50 se puede observar la variación de la temperatura máxima anual en la estación, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 16,16 °C y un mínimo anual en el año 1996 con un valor de 13,67 °C.



Tabla 50. Temperatura máxima anual, estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	13,67	2008	14,83
1997	14,50	2009	15,06
1998	15,01	2010	15,34
1999	14,12	2011	15,06
2000	14,39	2012	15,37
2001	14,82	2013	15,66
2002	15,1	2014	15,43
2003	14,87	2015	16,16
2004	14,82	2016	15,89
2005	15,38	2017	15,64
2006	15,17	2018	15,77
2007	15,46	2019	15,74

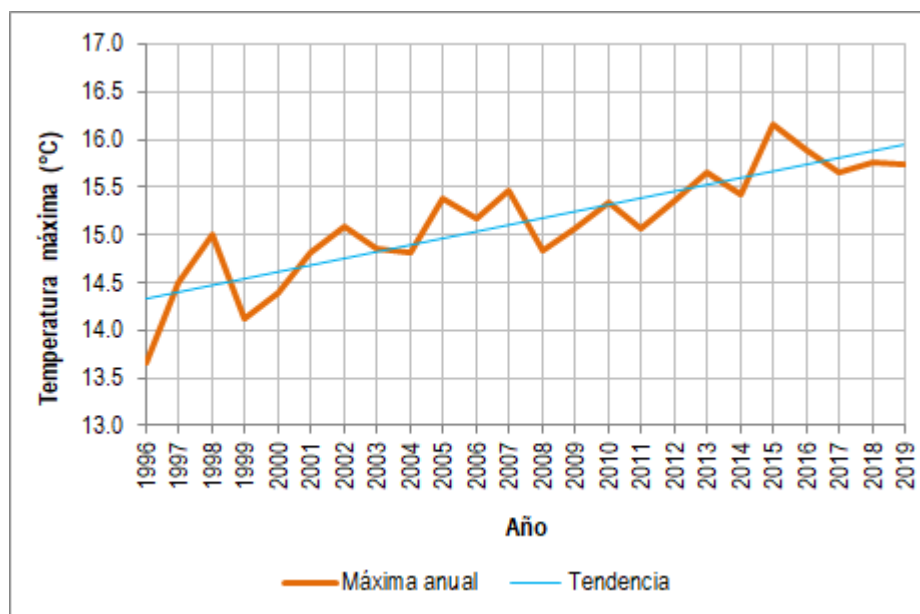


Figura 50. Variación de temperatura máxima anual en la estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

- Temperatura mínima
- Aeropuerto Matecaña

Los valores promedio mensual de temperatura mínima diaria en la estación Aeropuerto. Matecaña tiene un rango de variación inferior a un grado centígrado, el registro promedio más bajo se presentó varios meses del año con un valor de 18,40 °C, mientras que, el mes con el registro promedio mensual de temperatura mínima más alto es mayo con 18,80 °C. La estación tiene un valor promedio mensual de temperatura mínima diaria de 18,60 °C.

El registro máximo diario de temperatura mínima se presentó en el mes de febrero de 2016 y el mínimo en octubre de 2011 con valores de 21,80°C y 14,70 °C respectivamente. Ver Tabla 51 y Figura 51.

Tabla 51. Temperatura mínima diaria estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	18,40	18,70	18,60	18,70	18,80	18,60	18,50	18,50	18,50	18,40	18,40	18,50
Máximo diario multianual	21,00	21,80	21,60	21,50	21,70	21,00	20,60	21,10	21,60	20,80	21,60	21,20
Mínimo diario multianual	15,00	16,10	15,80	16,40	15,20	16,20	16,00	15,70	16,20	14,70	15,60	15,80

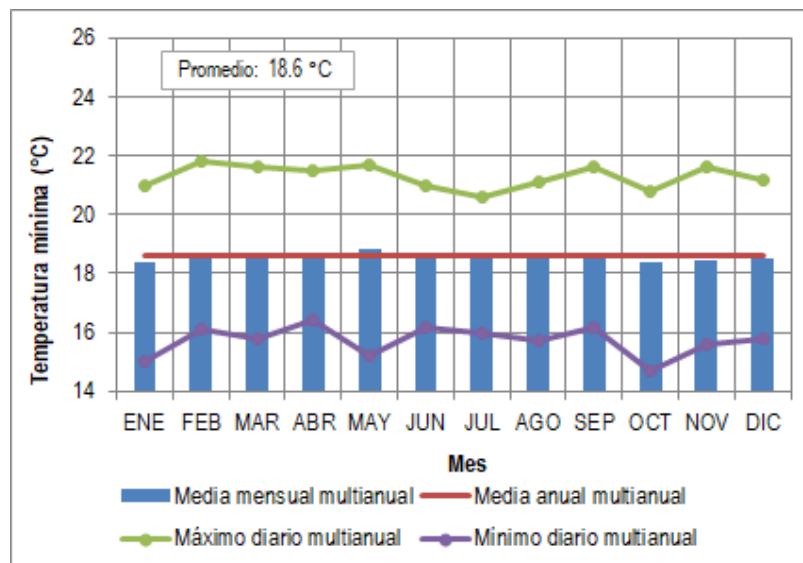


Figura 51. Temperatura mínima diaria estación Apto. Matecaña. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 52 y Figura 52 se relaciona la variación de la temperatura mínima anual en la estación Apto. Matecana, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 19,24 °C y un mínimo anual en el año 1996 cuando el parámetro registró un valor de 17,89 °C.

Tabla 52. Temperatura mínima anual, estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

<b>Año</b>	<b>Temperatura Media Anual</b>	<b>Año</b>	<b>Temperatura Media Anual</b>
1996	17,89	2008	18,13
1997	18,46	2009	18,76
1998	18,84	2010	18,67
1999	17,99	2011	18,40
2000	18,07	2012	18,59
2001	18,40	2013	18,72
2002	18,53	2014	18,73
2003	18,61	2015	19,24
2004	18,52	2016	19,21
2005	18,70	2017	18,67
2006	18,59	2018	18,61
2007	18,41	2019	18,90

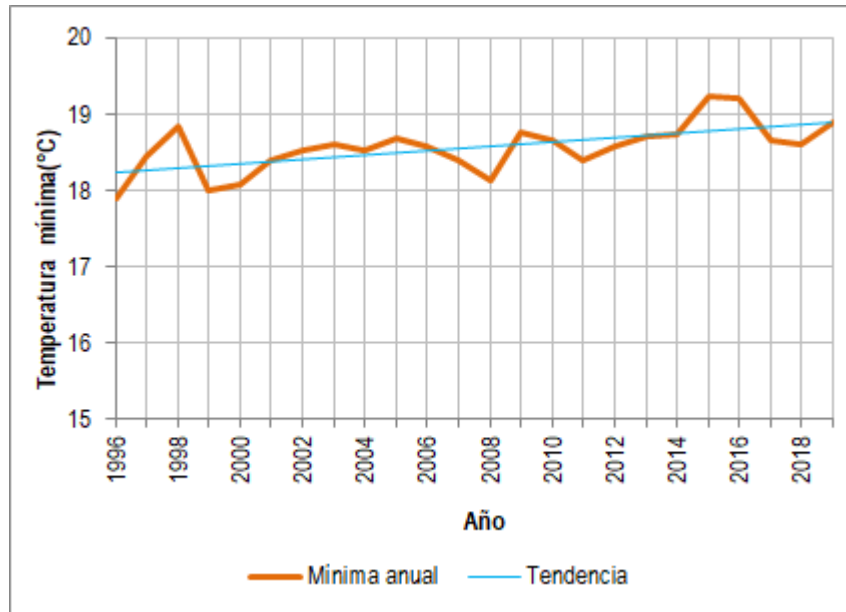


Figura 52. Temperatura mínima anual, estación Aeropuerto Matecaña. Periodo 1996-2019.

- Barragán

En la estación Barragán la media mensual de las temperaturas mínimas diarias varía entre 10,30 °C registrada en el mes de enero y 11,20 °C en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio es de 10,60 °C. El registro más alto de temperatura mínima se presentó en abril de 2010 con 14,40 °C y el más bajo se dio en abril de 2011 con 4,20 °C. Ver Tabla 53 y Figura 53.

Tabla 53. Temperatura mínima diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	10,30	10,40	10,60	10,90	11,20	10,90	10,60	10,60	10,60	10,40	10,50	10,50
Máximo diario multianual	13,40	14,40	14,00	14,40	14,20	13,60	13,00	13,20	14,00	13,80	14,00	13,80
Mínimo diario multianual	5,40	6,00	6,40	4,20	8,00	6,00	7,60	7,00	6,00	7,60	8,00	6,60

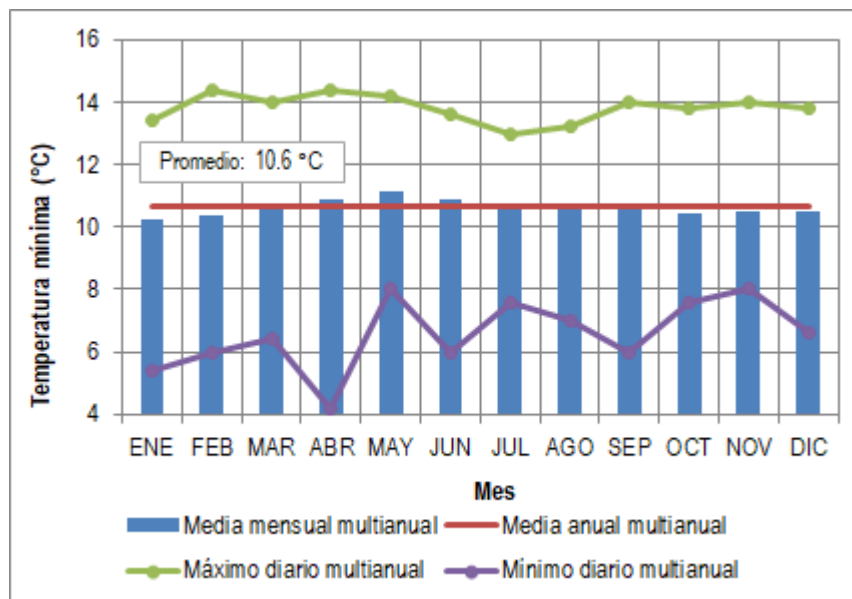


Figura 53. Temperatura mínima diaria estación Barragán. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 54 y Figura 54 se presenta la variación de la temperatura mínima anual en la estación Villahermosa, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2019 en donde la temperatura máxima se ubicó en 11,33 °C y la mínima anual en el año 2000 cuando el parámetro registró un valor de 9,88 °C.

Tabla 54. Temperatura mínima anual, estación Barragán. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	10,17	2008	10,02
1997	10,66	2009	10,93
1998	10,85	2010	11,07
1999	9,89	2011	10,48
2000	9,88	2012	10,86
2001	10,36	2013	10,88
2002	10,51	2014	10,65
2003	10,46	2015	11,10
2004	10,16	2016	11,17
2005	10,51	2017	10,66

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
2006	11,00	2018	10,82
2007	10,36	2019	11,33

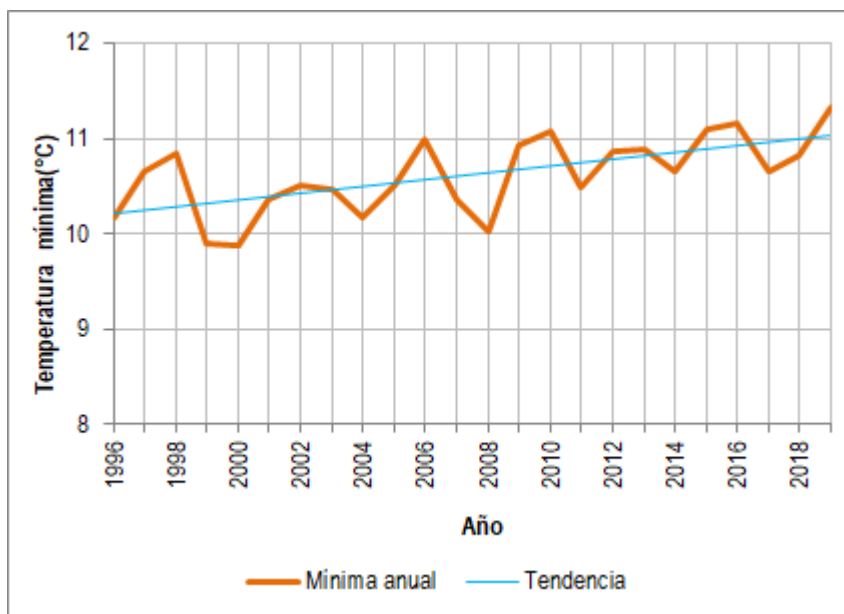


Figura 54. Variación de temperatura máxima anual en la estación Barragán. Periodo 1996-2019.

- La Bohemia

Los valores promedio mensual de temperatura mínima diaria en la estación La Bohemia tienen un rango de variación inferior a 1 °C, el registro promedio más bajo se presenta en los meses de enero con un valor de 20,10 °C, y el mes con registro de temperatura mínima promedio más alta es abril y mayo con 20,60 °C. La estación tiene un valor promedio mensual de temperatura mínima diaria de 20,30 °C.

El registro máximo diario se presentó en el mes de mayo de 1999 y el mínimo en noviembre de 2016 con temperaturas de 25,20 °C y 15,20 °C respectivamente. Ver Tabla 55 y Figura 55.

Tabla 55. Temperatura mínima diaria estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	20,10	20,20	20,40	20,60	20,60	20,50	20,20	20,20	20,20	20,20	20,30	20,20
Máximo diario multianual	23,80	24,50	24,60	25,00	25,20	24,40	24,20	24,40	24,60	24,00	23,20	24,80
Mínimo diario multianual	15,60	15,30	17,20	18,20	17,80	18,00	17,40	16,40	16,80	16,00	15,20	16,60

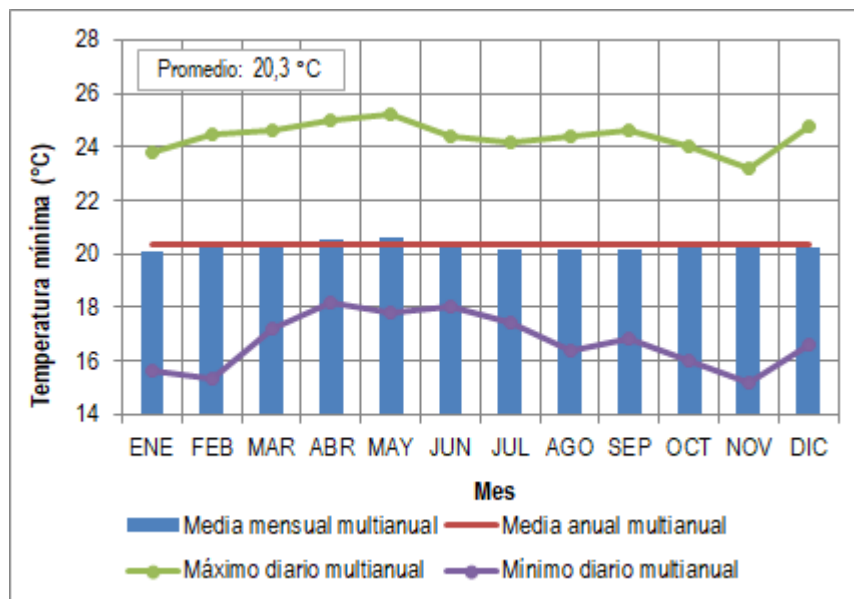


Figura 55. Temperatura mínima diaria estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 56 y Figura 56 se relaciona la variación de la temperatura mínima anual en la estación La Bohemia, la temperatura tiene una tendencia decreciente con un máximo anual en el año 1998 en donde la temperatura máxima se ubicó en 21,20 °C y un mínimo anual en el año 2011 cuando la temperatura registró un valor de 19,79 °C.

Tabla 56. Temperatura mínima anual, estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	20,11	2008	19,95
1997	20,55	2009	19,96
1998	21,20	2010	20,03
1999	21,07	2011	19,79
2000	20,59	2012	19,83



Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
2001	20,70	2013	20,05
2002	20,61	2014	20,19
2003	20,13	2015	20,78
2004	20,20	2016	20,40
2005	20,29	2017	20,02
2006	20,33	2018	19,86
2007	20,27	2019	20,27

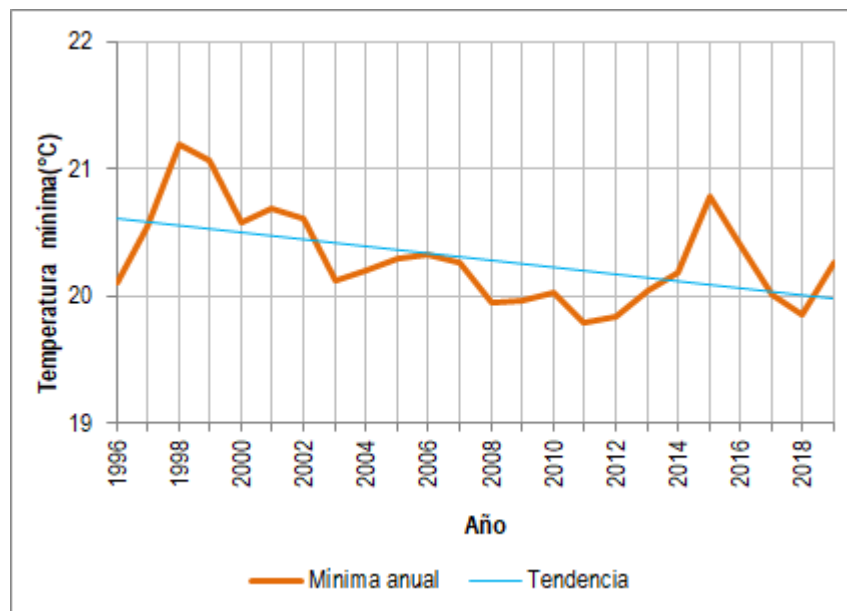


Figura 56. Variación de temperatura máxima anual en la estación La Bohemia. Periodo 1996-2019.

- Cumarco

En la estación Cumarco la media mensual de las temperaturas mínimas diarias varía entre 16,60 °C del mes de octubre y noviembre y 17,10 °C del mes de julio y agosto, la temperatura mínima tiene un valor promedio de 16,90 °C.

El registro más alto de temperatura mínima diaria se presentó en julio de 2015 con un valor de 21,80 °C y el más bajo se registró en noviembre de 2002 con un valor de 13,00 °C. Ver Tabla 57 y Figura 57.

Tabla 57. Temperatura mínima diaria estación Cumbarco. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	16,70	16,70	16,80	16,90	17,00	17,00	17,10	17,10	16,80	16,60	16,60	16,80
Máximo diario multianual	21,60	20,20	20,00	19,80	21,20	20,00	21,80	20,40	20,00	19,80	20,20	20,60
Mínimo diario multianual	13,80	14,00	14,10	14,60	13,00	14,20	13,80	14,30	14,00	13,80	14,20	14,20

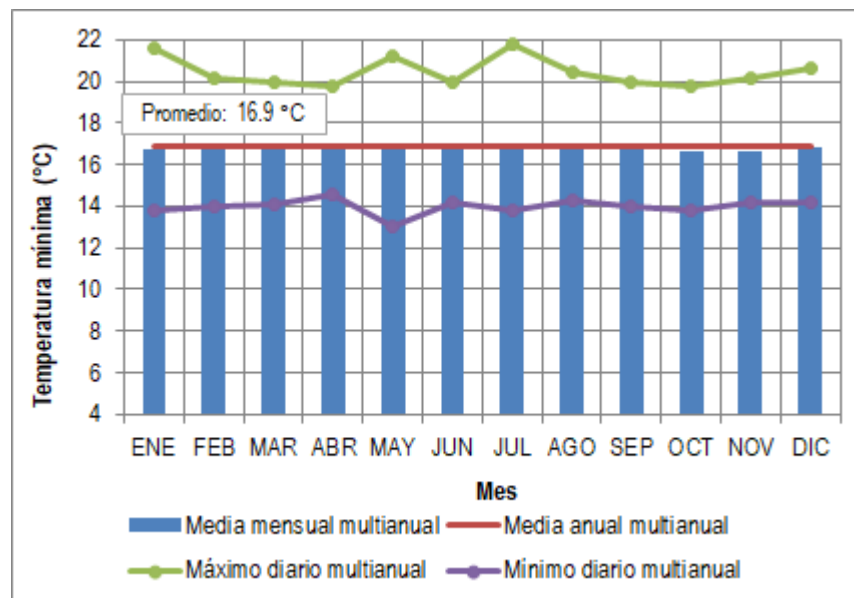


Figura 57. Temperatura mínima diaria estación Cumbarco. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 58 y Figura 58 se presenta la variación de la temperatura mínima anual en la estación Cumbarco, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2006 en donde la temperatura máxima se ubicó en 17,30 °C y un mínimo anual en el año 2000 cuando la temperatura se registró en 16,11 °C.

Tabla 58. Temperatura mínima anual, estación Cumbarco. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	16,35	2008	16,56
1997	16,60	2009	17,08

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1998	16,72	2010	16,87
1999	16,23	2011	16,47
2000	16,11	2012	16,74
2001	16,84	2013	16,86
2002	17,09	2014	16,74
2003	17,27	2015	17,24
2004	17,18	2016	17,16
2005	17,20	2017	16,48
2006	17,30	2018	17,08
2007	17,04	2019	17,02

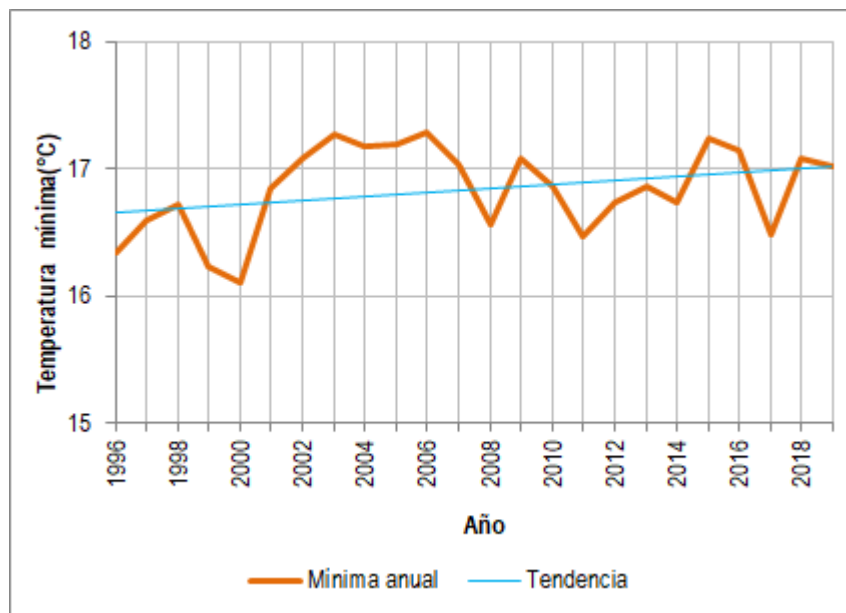


Figura 58. Variación de temperatura máxima anual en la estación Cumarco. Periodo 1996-2019.

- Mateguadua

En la estación Mateguadua la media mensual de las temperaturas mínimas diarias varía entre 18,90 °C del mes de enero y 19,50 °C del mes de junio, la temperatura mínima tiene un valor promedio de 19,20 °C. El registro más alto de temperatura mínima diaria se presentó en agosto de 2016 con un valor de 24,20 °C y el más bajo se dio en julio de 2013 con un valor de 12,00 °C. Tabla 59 y Figura 59.

Tabla 59. Temperatura mínima diaria estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	18,90	19,20	19,20	19,30	19,40	19,50	19,10	19,20	19,30	19,20	19,20	19,10
Máximo diario multianual	21,60	22,00	22,00	22,60	22,40	24,00	22,00	24,20	23,80	22,60	22,80	22,40
Mínimo diario multianual	15,00	14,80	16,20	16,80	16,20	16,20	12,00	15,40	16,00	16,00	13,40	16,00

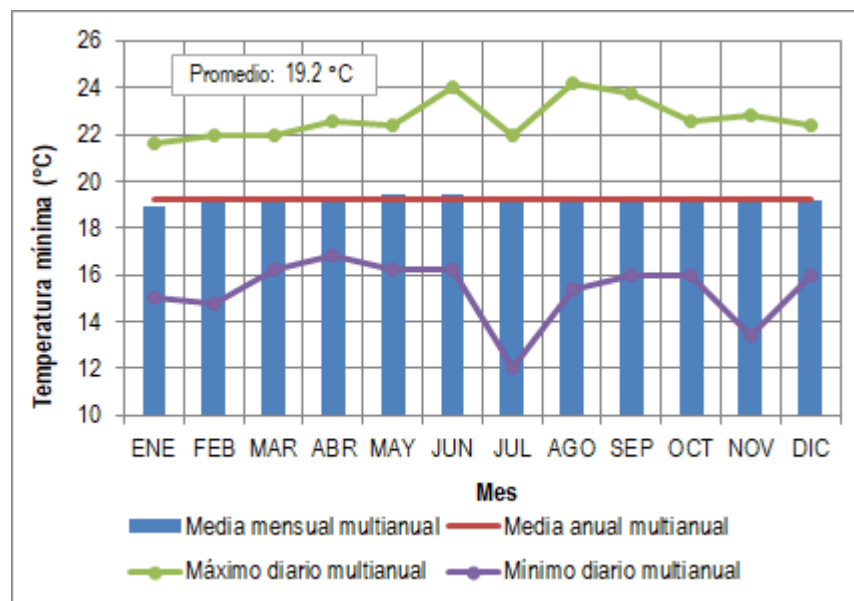


Figura 59. Temperatura mínima diaria estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 60 y Figura 60 se presenta la variación de la temperatura mínima anual en la estación Mateguadua, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 19,89 °C y un mínimo anual en el año 1997 registrando 19,36 °C.

Tabla 60. Temperatura mínima anual, estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	18,73	2008	18,90
1997	18,36	2009	19,83
1998	19,55	2010	19,38
1999	19,04	2011	19,31
2000	18,76	2012	19,37
2001	18,80	2013	19,00
2002	19,31	2014	19,39
2003	19,18	2015	19,89
2004	19,38	2016	19,64
2005	19,72	2017	18,90
2006	19,47	2018	18,85
2007	19,33	2019	19,31

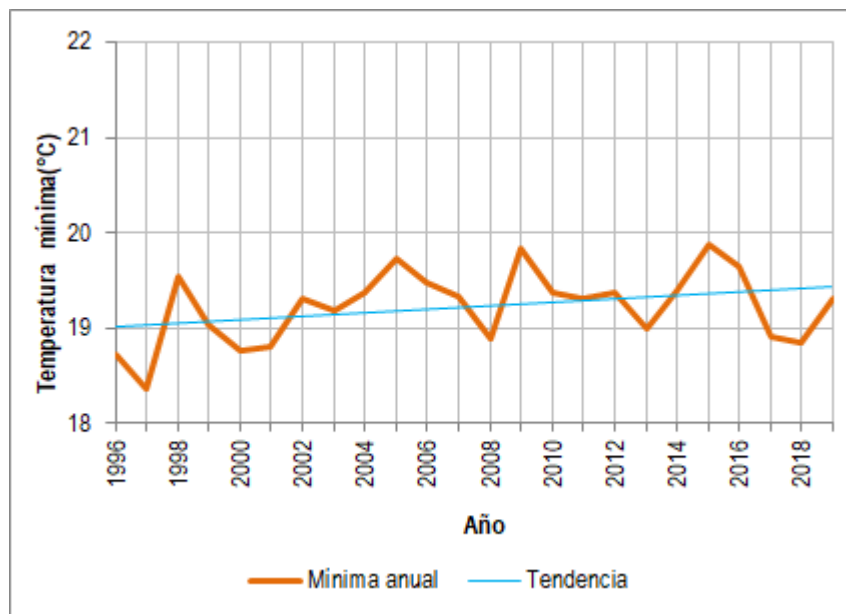


Figura 60. Temperatura mínima anual, estación Mateguadua. Periodo 1996-2019.

- Palmira ICA

Los valores promedio mensual de temperatura mínima diaria en la estación Palmira ICA tienen un rango de variación inferior a un grado centígrado, el registro promedio más bajo se presentó en el mes de enero con un valor de 20,00 °C, mientras que, el mes con el registro promedio mensual de temperatura mínima más alto es mayo con 20,50 °C. La estación tiene un valor promedio mensual de temperatura mínima diaria de 20,20 °C.

El registro máximo diario se presentó en el mes de agosto de 2002 y el mínimo en enero de 2017 con valores de 24,40 °C y 14,00 °C respectivamente. Ver Tabla 61 y Figura 61.

Tabla 61. Temperatura mínima diaria estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	20,00	20,20	20,30	20,40	20,50	20,20	20,10	20,10	20,30	20,20	20,20	20,20
Máximo diario multianual	24,00	23,80	23,60	23,40	23,40	23,00	22,80	24,40	23,40	23,30	23,40	23,80
Mínimo diario multianual	14,00	15,80	17,20	17,60	17,40	17,60	17,40	14,80	17,30	15,80	16,40	17,20

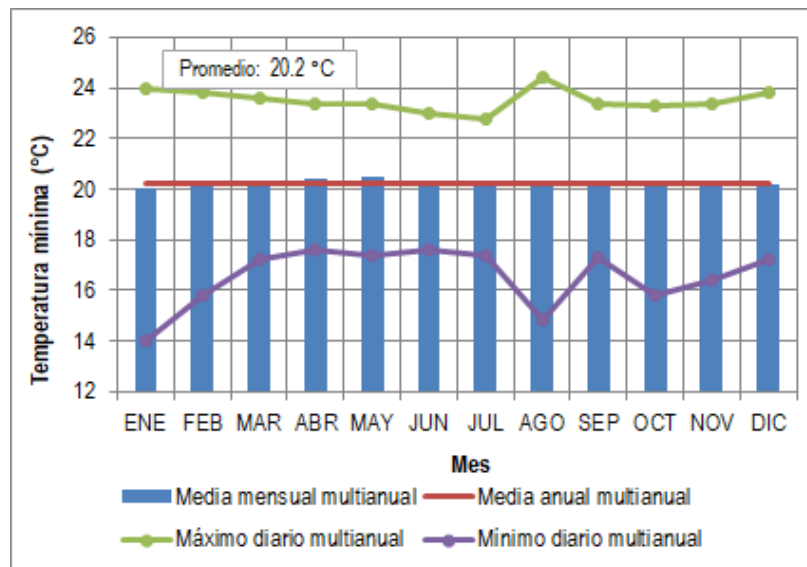


Figura 61. Temperatura mínima diaria estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 62 y Figura 62 se relaciona la variación de la temperatura mínima anual en la estación Palmira ICA, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2016 en donde la temperatura máxima se ubicó en 20,75 °C y un mínimo anual en el año 1999 cuando el parámetro registró un valor de 19,62 °C.

Tabla 62. Temperatura mínima anual, estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	19,92	2008	19,67
1997	20,42	2009	20,48
1998	20,65	2010	20,19
1999	19,62	2011	19,89
2000	19,78	2012	20,15
2001	20,22	2013	20,24
2002	20,37	2014	20,23
2003	20,58	2015	20,59
2004	20,20	2016	20,75
2005	20,64	2017	20,12
2006	20,36	2018	20,06
2007	19,93	2019	20,36

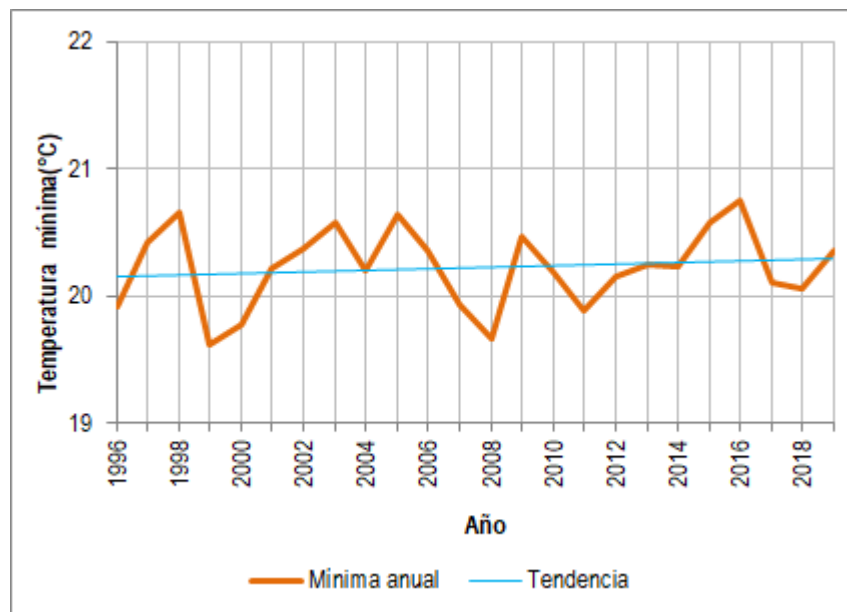


Figura 62. Variación de temperatura máxima anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2019.



- Riomanso

En la estación Riomanso la media mensual de las temperaturas mínimas diarias varía entre 14,00 °C registrada en el mes de enero y 14,60 °C en varios meses de los años, la temperatura mínima promedio es de 14,40 °C. El registro más alto de temperatura mínima se presentó en junio de 2001 con 19,40 °C y el más bajo se dio en noviembre de 2004 con 7,80 °C. Ver Tabla 63 y Figura 63.

Tabla 63. Temperatura mínima diaria estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	14,00	14,20	14,30	14,60	14,60	14,40	14,10	14,20	14,50	14,60	14,50	14,20
Máximo diario multianual	17,80	18,00	19,00	18,40	18,00	19,40	18,40	19,00	17,80	18,00	18,00	18,60
Mínimo diario multianual	10,00	11,00	10,20	11,00	11,00	11,00	10,00	11,20	10,80	10,60	7,80	10,20

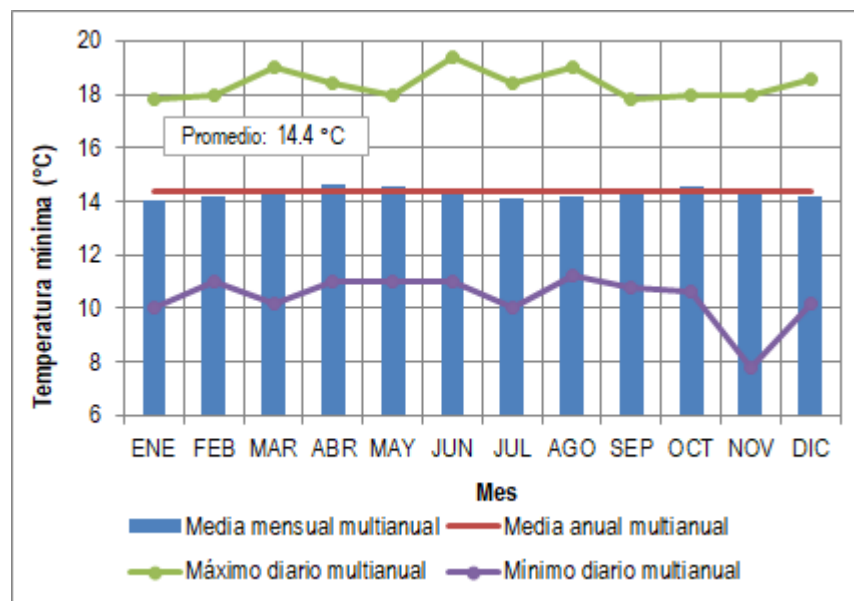


Figura 63. Temperatura mínima diaria estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 64 y Figura 64 se presenta la variación de la temperatura mínima anual en la estación Villahermosa, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2010 en donde la temperatura máxima se ubicó en 15,22 °C y la mínima anual en el año 2000 cuando el parámetro registró un valor de 13,05 °C.

Tabla 64. Temperatura mínima anual, estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	13,56	2008	14,64
1997	13,97	2009	15,10
1998	14,09	2010	15,22
1999	13,06	2011	14,54
2000	13,05	2012	14,43
2001	14,22	2013	14,52
2002	14,51	2014	14,47
2003	14,37	2015	14,60
2004	14,06	2016	14,70
2005	14,38	2017	14,37
2006	14,50	2018	14,52
2007	14,55	2019	14,79

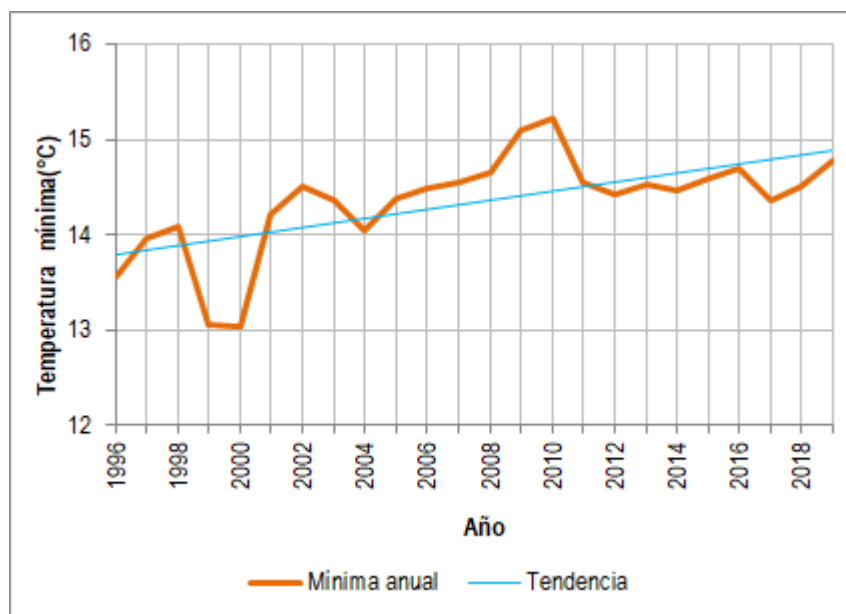


Figura 64. Variación de temperatura máxima anual en la estación Riomanso. Periodo 1996-2019.

- San Antonio Quinta

Los valores promedio mensual de temperatura mínima diaria en la estación San Antonio Quinta tienen un rango de variación inferior a 1 °C, el registro promedio más bajo se presenta en el mes de enero con un valor de 18,10 °C, y el mes con registro de temperatura mínima promedio más alta es junio y septiembre con 18,90 °C. La estación tiene un valor promedio mensual de temperatura mínima diaria de 18,60 °C.

El registro máximo diario se presentó en el mes de octubre de 2009 y el mínimo en enero de 2018 con temperaturas de 24,20 °C y 14,80 °C respectivamente. Ver Tabla 65 y Figura 65.

Tabla 65. Temperatura mínima diaria estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	18,10	18,20	18,40	18,60	18,80	18,90	18,70	18,80	18,90	18,30	18,30	18,20
Máximo diario multianual	21,40	22,20	22,80	21,60	22,00	21,80	21,80	22,20	23,20	24,20	21,40	22,20
Mínimo diario multianual	14,80	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,60	15,60

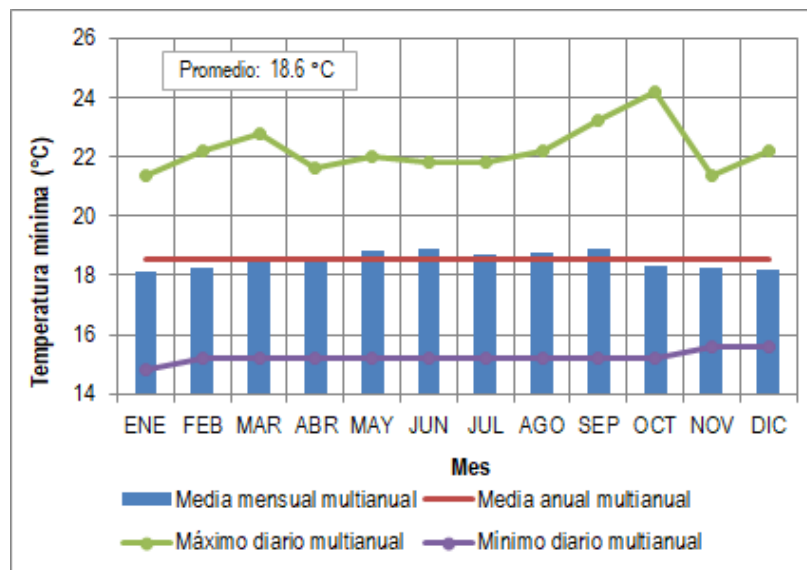


Figura 65. Temperatura mínima diaria estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 66 y Figura 66 se relaciona la variación de la temperatura mínima anual en la estación San Antonio Quinta, la temperatura tiene una tendencia decreciente con un

máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 19,21 °C y un mínimo anual en el año 2018 cuando la temperatura registró un valor de 17,26 °C.

Tabla 66. Temperatura mínima anual, estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	18,62	2008	18,12
1997	19,08	2009	18,88
1998	18,82	2010	18,60
1999	17,88	2011	18,23
2000	18,17	2012	18,52
2001	18,59	2013	18,78
2002	18,90	2014	18,96
2003	18,79	2015	19,21
2004	18,54	2016	18,90
2005	18,70	2017	18,10
2006	18,68	2018	17,26
2007	18,46	2019	17,67

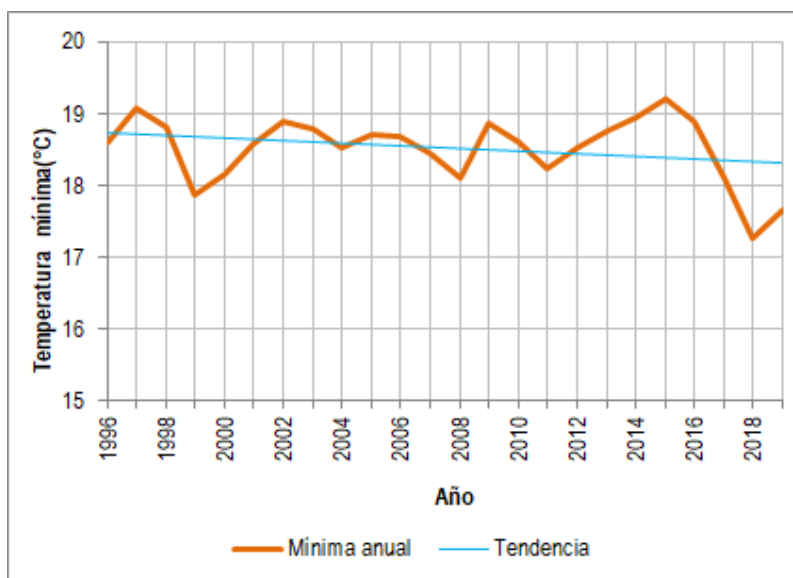


Figura 66. Variación de temperatura máxima anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2019.

- San Marcos

En la estación San Marcos la media mensual de las temperaturas mínimas diarias varía entre 19,30 °C del mes de enero y agosto y 20,20 °C del mes de mayo, la temperatura mínima tiene un valor promedio de 19,70 °C. El registro más alto de temperatura mínima diaria se presentó en septiembre de 2015 con un valor de 28,00 °C y el más bajo se registró en febrero y agosto de 2013 y 1997 respectivamente con un valor de 14,60 °C. Ver Tabla 67 y Figura 67.

Tabla 67. Temperatura mínima diaria estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	19,30	19,50	19,80	20,10	20,20	19,90	19,40	19,30	19,60	19,70	19,90	19,70
Máximo diario multianual	24,20	23,40	24,80	24,80	25,20	24,00	23,40	22,80	28,00	25,20	24,20	24,20
Mínimo diario multianual	15,20	14,60	15,60	17,00	16,80	15,40	15,00	14,60	15,40	16,40	16,60	15,20

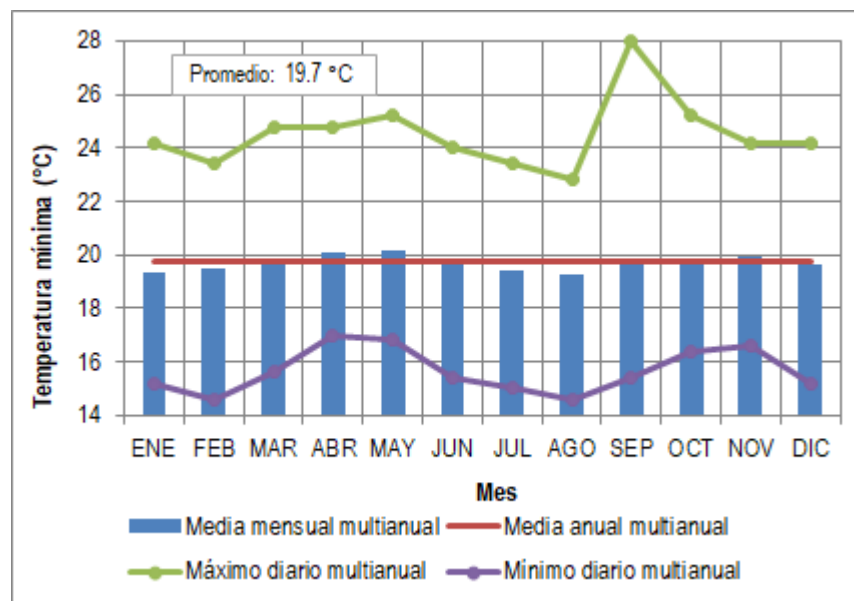


Figura 67. Temperatura mínima diaria estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 68 y Figura 68 se presenta la variación de la temperatura mínima anual en la estación San Marcos, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2016 en donde la temperatura máxima se ubicó en 20,24 °C y un mínimo anual en el año 2000 cuando la temperatura se registró en 19,07 °C.

Tabla 68. Temperatura mínima anual, estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	19,09	2008	19,96
1997	19,21	2009	20,21
1998	19,78	2010	20,24
1999	19,16	2011	19,57
2000	19,07	2012	19,42
2001	19,24	2013	19,75
2002	19,60	2014	19,59
2003	19,76	2015	20,08
2004	20,02	2016	20,24
2005	20,16	2017	19,43
2006	19,89	2018	19,37
2007	19,80	2019	20,06

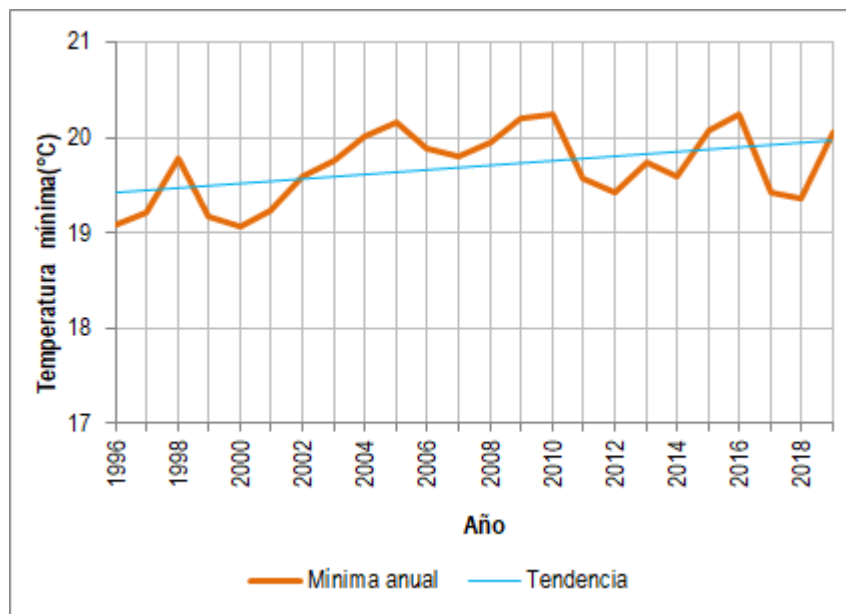


Figura 68. Variación de temperatura máxima anual en la estación San Marcos. Periodo 1996-2019.

- San José Palmar

En la estación San José Palmar la media mensual de las temperaturas mínimas diarias varía entre 19,40 °C que se registra en varios meses y 19,90 °C del mes de mayo, la temperatura mínima tiene un valor promedio de 19,60 °C. El registro más alto de temperatura mínima diaria se presentó en agosto de 2015 con un valor de 23,40 °C y el más bajo se dio en diferentes meses de diferentes años con un valor de 17,00 °C. Ver Tabla 69 y Figura 69.

Tabla 69. Temperatura mínima diaria estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	19,40	19,50	19,60	19,80	19,90	19,80	19,70	19,80	19,70	19,40	19,40	19,60
Máximo diario multianual	22,40	23,00	22,20	23,20	23,00	23,20	22,40	23,40	22,40	22,20	22,20	23,20
Mínimo diario multianual	17,00	17,00	17,40	17,80	17,60	17,00	17,00	17,00	17,40	17,00	17,00	17,60

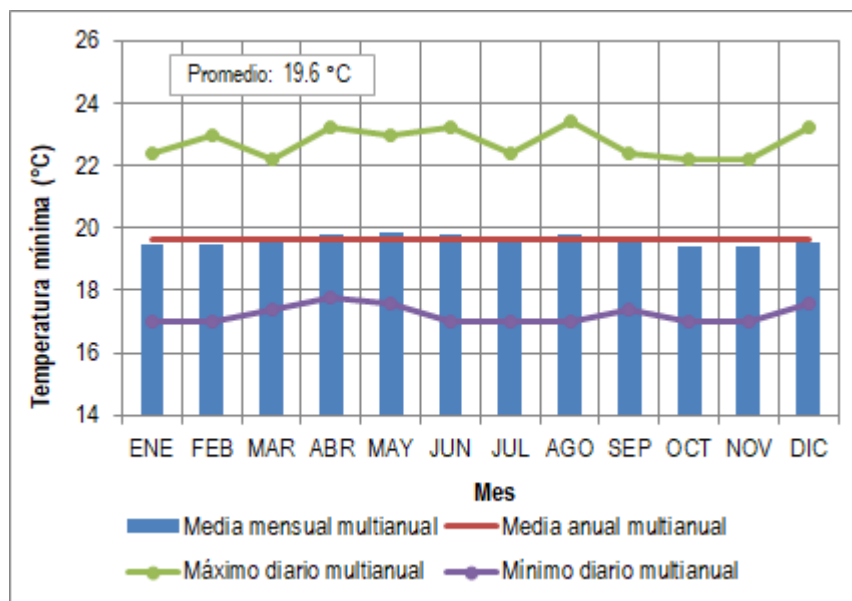


Figura 69. Temperatura mínima diaria estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 70 y Figura 70 se presenta la variación de la temperatura mínima anual en la estación San José Palmar, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual en el año 2015 en donde la temperatura máxima se ubicó en 20,72 °C y un mínimo anual en el año 1996 registrando 18,90 °C.



Tabla 70. Temperatura mínima anual, estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	19,09	2008	19,26
1997	19,65	2009	19,83
1998	19,63	2010	19,79
1999	18,90	2011	19,15
2000	19,22	2012	19,41
2001	19,62	2013	19,43
2002	19,66	2014	19,59
2003	19,46	2015	20,72
2004	19,45	2016	20,62
2005	19,43	2017	20,38
2006	19,48	2018	19,79
2007	19,42	2019	20,16

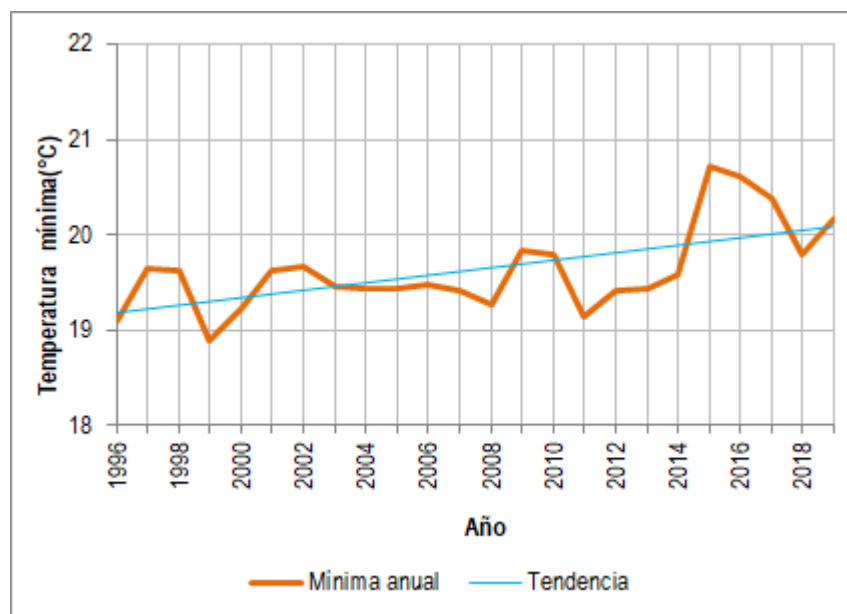


Figura 70. Variación de temperatura máxima anual en la estación San José Palmar. Periodo 1996-2019.

- Santa Isabel

Los valores promedio mensual de temperatura mínima diaria en la estación Santa Isabel tienen un rango de variación 1 °C, el registro promedio más bajo se presentó en el mes de enero con un valor de 10,70 °C, mientras que, el mes con el registro promedio mensual de temperatura mínima más alto es junio con 11,70 °C. La estación tiene un valor promedio mensual de temperatura mínima diaria de 11,20 °C.

El registro máximo diario se presentó en el mes de abril y julio de 2016 y 2015 respectivamente, el registro mínimo en enero de 2011 y 2012 con valores de 15,20 °C y 7,20 °C respectivamente. Ver Tabla 71 y Figura 71.

Tabla 71. Temperatura mínima diaria estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	10,70	10,80	11,00	11,30	11,60	11,70	11,40	11,30	11,20	11,10	11,10	11,10
Máximo diario multianual	14,40	14,60	14,60	15,20	14,80	15,00	15,20	14,80	14,00	14,20	14,40	14,40
Mínimo diario multianual	7,20	6,60	7,60	8,00	9,00	8,20	8,60	8,60	8,60	8,50	8,60	8,00

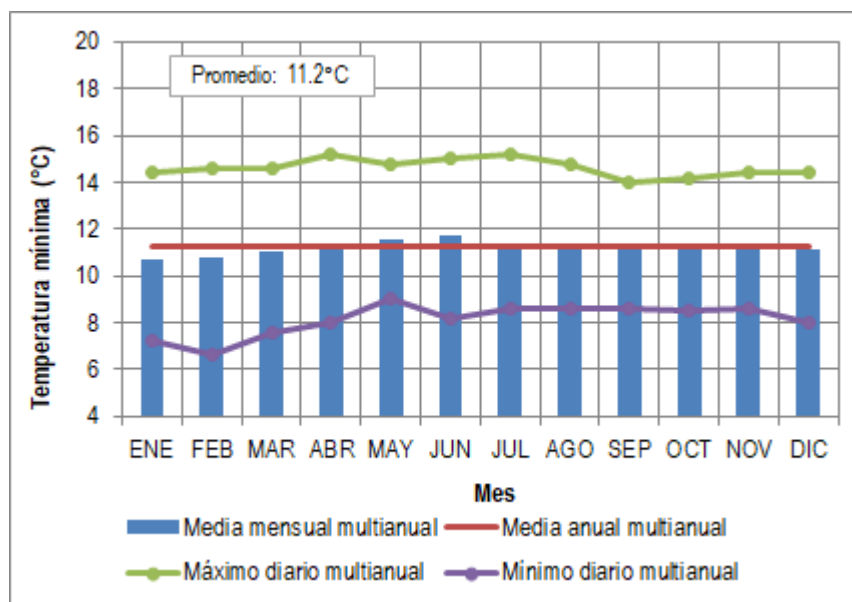


Figura 71. Temperatura mínima diaria estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

En la Tabla 72 y Figura 72 se relaciona la variación de la temperatura mínima anual en la estación Santa Isabel, la temperatura tiene una tendencia creciente con un máximo anual

en el año 2002 en donde la temperatura máxima se ubicó en 11,86 °C y un mínimo anual en el año 1996 cuando el parámetro registró un valor de 9,99 °C.

Tabla 72. Temperatura mínima anual, estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

Año	Temperatura Media Anual	Año	Temperatura Media Anual
1996	9,99	2008	10,76
1997	10,39	2009	11,15
1998	10,63	2010	11,31
1999	11,20	2011	10,93
2000	10,99	2012	11,16
2001	11,55	2013	11,27
2002	11,86	2014	11,22
2003	11,65	2015	11,73
2004	11,50	2016	11,77
2005	11,46	2017	11,66
2006	10,97	2018	11,59
2007	10,69	2019	11,50

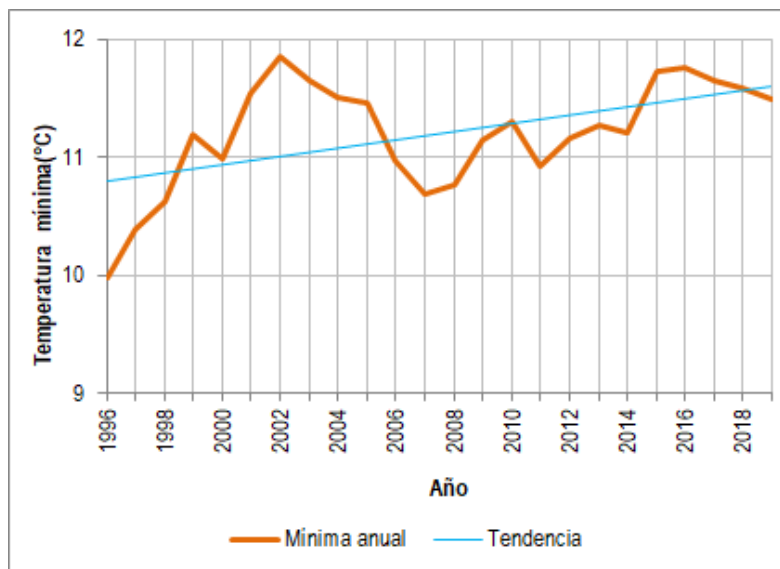


Figura 72. Variación de temperatura máxima anual en la estación Santa Isabel. Periodo 1996-2019.

### 5.1.11.1.2.2. Presión atmosférica promedio mensual

La presión atmosférica para el área de estudio se estimó a partir de la relación que existe entre la temperatura media del sitio y la elevación del lugar utilizando la Ecuación 1.

$$p = p_o \times e^{\left(\frac{-g \times z}{R_{da} \times T_m}\right)}$$

Ecuación 1. Presión atmosférica en sitios de interés.

Donde:

- p es la presión atmosférica en el sitio de interés, mmHg
- p<sub>o</sub> es la presión atmosférica al nivel del mar, 760 mmHg (1013 mbar)
- g = aceleración de la gravedad, 9,81m/s<sup>2</sup>
- z = altitud de instalación de la estación analizada
- R<sub>da</sub> = constante de gas del aire seco, 289 J/Kg-K
- T<sub>m</sub> = temperatura media en el sitio del proyecto, K

Los resultados de presión atmosférica estimada para cada estación con registros de temperatura se presentan en la Tabla 73; en general se observa un comportamiento de la presión casi constante.

Tabla 73. Presión atmosférica mensual estimada para el área de estudio.

ESTACIÓN	UNIDADES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Apto. A. Bonilla	(mmHg)	680,6	680,6	680,6	680,6	680,6	680,6	680,6	680,7	680,6	680,5	680,5	680,5	680,6
	mbar	907,2	907,3	907,2	907,2	907,2	907,2	907,2	907,3	907,2	907,1	907,1	907,1	907,2
Apto. Matecana	(mmHg)	650,5	650,6	650,5	650,4	650,4	650,4	650,5	650,6	650,5	650,3	650,3	650,4	650,4
	mbar	867,1	867,2	867,1	867,0	867,0	867,0	867,1	867,2	867,1	866,8	866,8	867,0	867,0
Barragán	(mmHg)	530,9	531,0	531,1	531,2	531,3	531,2	531,0	531,0	531,1	530,8	530,7	530,9	531,0
	mbar	707,7	707,8	707,9	708,0	708,2	708,0	707,8	707,9	707,9	707,6	707,5	707,7	707,8
La Bohemia	(mmHg)	681,1	681,1	681,1	681,0	681,0	681,0	681,1	681,2	681,1	680,9	680,9	681,0	681,0
	mbar	907,9	907,9	907,9	907,8	907,7	907,8	907,9	908,0	907,9	907,7	907,6	907,7	907,8
Cumbarco	(mmHg)	622,6	622,6	622,5	622,5	622,6	622,6	622,8	622,8	622,7	622,4	622,4	622,5	622,6
	mbar	829,9	829,9	829,8	829,8	829,9	830,0	830,2	830,2	830,1	829,7	829,7	829,8	829,9

ESTACIÓN	UNIDADES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Mateguadua	(mmHg)	669,8	669,8	669,8	669,8	669,8	669,8	669,8	669,9	669,9	669,7	669,7	669,8	669,8
	mbar	892,8	892,9	892,9	892,8	892,8	892,9	892,9	893,0	892,9	892,8	892,7	892,8	892,8
Palmira ICA	(mmHg)	678,7	678,8	678,7	678,7	678,7	678,7	678,8	678,8	678,8	678,6	678,6	678,6	678,7
	mbar	904,7	904,8	904,7	904,7	904,7	904,7	904,8	904,9	904,8	904,6	904,6	904,6	904,7
Riomanso	(mmHg)	598,4	598,5	598,5	598,6	598,6	598,5	598,5	598,6	598,6	598,6	598,4	598,4	598,5
	mbar	797,7	797,8	797,8	797,9	797,9	797,9	797,8	797,9	798,0	797,9	797,7	797,7	797,8
San Antonio Quinta	(mmHg)	645,4	645,5	645,5	645,4	645,5	645,5	645,6	645,7	645,7	645,4	645,2	645,3	645,5
	mbar	860,3	860,4	860,4	860,4	860,4	860,5	860,5	860,7	860,7	860,3	860,1	860,2	860,4
San Marcos	(mmHg)	678,6	678,6	678,6	678,6	678,6	678,5	678,6	678,7	678,7	678,5	678,5	678,5	678,6
	mbar	904,6	904,6	904,6	904,6	904,5	904,5	904,6	904,7	904,6	904,5	904,4	904,5	904,6
San José Palmar	(mmHg)	671,9	672,0	672,1	672,2	672,3	672,2	672,3	672,3	672,2	672,1	672,0	672,0	672,1
	mbar	895,7	895,8	895,9	896,0	896,1	896,1	896,2	896,2	896,1	895,9	895,7	895,7	895,9
Santa Isabel	(mmHg)	544,9	545,0	545,0	545,3	545,5	545,5	545,4	545,3	545,3	545,1	545,0	545,1	545,2
	mbar	726,4	726,5	726,5	726,9	727,1	727,1	727,0	726,9	726,9	726,6	726,5	726,6	726,8

#### 5.1.11.1.2.3. Precipitación

- Distribución temporal

A partir de los registros de 31 estaciones analizadas se determinó la precipitación total promedio multianual para el periodo entre 1975 a 2019; con estos datos se caracterizó el régimen de precipitación y se construyeron las isoyetas a nivel mensual y anual para la zona de estudio (En el capítulo 5.1 Medio abiótico - 5.1.6. Hidrología, se presenta el análisis de información de las estaciones utilizadas).

En la Figura 73 se observa que el régimen anual de lluvias presenta un comportamiento de tipo bimodal, con periodos secos predominantes entre diciembre - febrero y junio - agosto y periodos húmedos predominantes entre marzo - mayo y septiembre - noviembre.

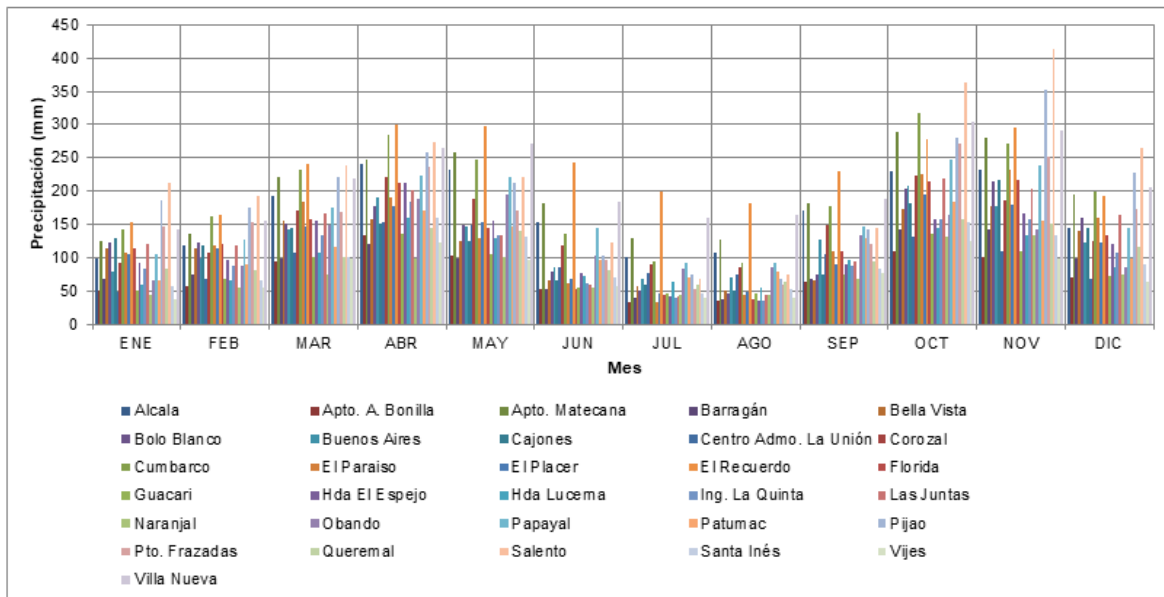


Figura 73. Distribución temporal de la precipitación total mensual en las estaciones analizadas. Periodo 1975-2019.

El mes más húmedo es octubre con un promedio de 204 mm, y el mes más seco es agosto con un promedio de 68 mm; la precipitación media mensual multianual oscila en 134 mm y el promedio de la precipitación total multianual es 1605 mm.

En la Tabla 74 se presentan los valores totales promedio de la precipitación mensual multianual de las 31 estaciones analizadas (Anexo C4 Hidrología/C.4.4. Complementación registros precipitación).

Tabla 74. Precipitación total mensual multianual en mm en las estaciones analizadas. Periodo 1975-2019.

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	TOTAL
Alcalá	98	118	193	242	233	153	102	106	170	229	233	144	168	2021
Apto. A. Bonilla	51	57	94	133	103	52	33	36	64	110	100	69	75	901
Apto. Matecana	126	136	220	247	258	182	128	128	182	289	280	194	198	2371
Barragán	68	74	99	120	98	52	39	37	69	143	143	98	87	1040
Bella Vista	113	114	156	158	124	65	58	51	66	174	178	141	117	1399
Bolo Blanco	122	122	151	177	148	80	50	46	75	204	215	160	129	1550
Buenos Aires	79	98	142	189	148	86	67	69	126	208	177	123	126	1513
Cajones	129	119	144	152	125	67	60	50	74	181	218	145	122	1462

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM	TOTAL
Centro Adm. La Unión	49	67	107	153	149	85	78	74	105	132	109	67	98	1175
Corozal	91	107	171	220	188	118	89	86	148	224	187	126	146	1756
Cumbarco	142	162	233	284	249	137	94	93	178	317	272	199	197	2358
El Paraiso	108	118	184	191	128	61	34	44	110	225	233	160	133	1596
El Placer	106	113	147	177	153	69	46	48	90	194	179	123	120	1444
El Recuerdo	153	164	241	300	298	244	199	182	230	279	296	193	231	2778
Florida	115	120	157	213	144	53	43	38	110	215	217	133	130	1559
Guacarí	50	68	102	136	105	55	46	45	75	137	111	72	83	1001
Hda El Espejo	92	95	155	211	155	76	42	35	89	157	167	121	116	1396
Hda Lucerna	59	66	107	160	128	73	64	55	96	145	133	85	98	1172
Ing. La Quinta	84	89	135	184	134	61	39	36	87	158	159	107	106	1271
Las Juntas	120	119	166	200	134	58	41	44	95	220	203	163	130	1563
Naranjal	44	55	75	98	100	54	43	43	68	131	133	74	77	918
Obando	66	88	149	189	195	103	83	85	133	165	141	86	124	1483
Papayal	105	127	175	224	222	146	93	91	147	247	238	144	163	1959
Patumac	66	89	116	170	148	97	71	78	130	185	155	98	117	1403
Pijao	186	176	222	258	212	102	75	68	141	281	351	227	192	2299
Pto. Frazadas	147	154	168	237	171	97	53	59	120	271	252	172	159	1903
Queremal	83	82	101	144	141	82	59	63	94	158	152	117	106	1275
Salento	213	193	238	274	221	122	69	75	144	364	413	264	216	2591
Santa Inés	58	65	102	160	131	70	46	53	84	153	134	90	95	1145
Vijes	38	55	99	122	96	57	40	39	76	125	99	63	76	910
Villa Nueva	143	156	219	264	272	184	160	163	188	304	292	206	213	2552
Promedio	100	109	154	193	165	95	69	68	115	204	199	134	134	1605

Nota: El valor resaltado en azul corresponde al mes más seco y el valor resaltado en amarillo corresponde al mes más húmedo.

- Distribución espacial

Se realizó la distribución espacial de la precipitación a nivel mensual multianual y anual con el método de Kriging y el software Surfer, la distribución espacial a nivel anual se presenta en la Figura 74.



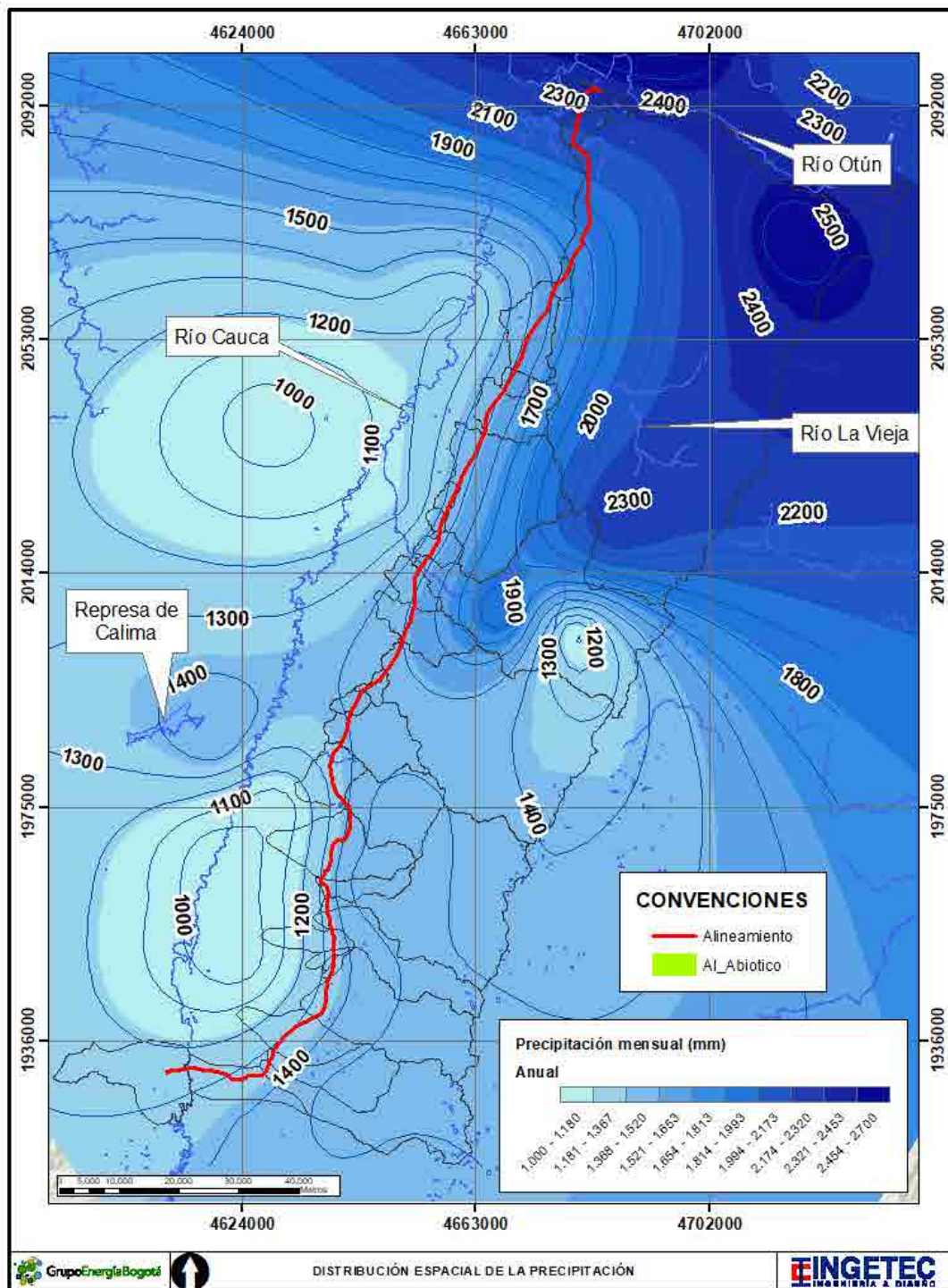


Figura 74. Distribución espacial de la precipitación total en anual.

#### 5.1.11.1.2.4. Humedad relativa

La caracterización de la humedad relativa se realizó a partir de los registros de las estaciones Apto. Farfan, Palmira ICA y San Antonio Quinta. Las estaciones cuentan con registros desde el año 1996 hasta el año 2016 como se observa en la Tabla 75. En la Figura 75 se presenta la variación temporal de la humedad relativa para las tres estaciones, en general los meses con registros más altos son de marzo a junio y de octubre a diciembre y los meses restantes son de registros más bajos.

Tabla 75. Humedad relativa (%) en las estaciones cercanas al área de estudio.

Mes	Apto.Farfan	Palmira ICA	San Antonio
ENE	77,00	74,00	75,00
FEB	77,30	73,60	75,40
MAR	79,10	75,40	77,30
ABR	79,30	77,10	78,80
MAY	79,40	77,20	77,30
JUN	79,30	75,60	74,30
JUL	76,40	72,30	70,30
AGO	75,90	70,50	66,50
SEP	76,70	71,70	67,00
OCT	77,60	74,90	75,10
NOV	79,50	76,70	80,50
DIC	78,70	76,70	78,70
ANUAL	78,00	74,60	74,70



Figura 75. Distribución temporal de la humedad relativa promedio mensual.

- Humedad relativa media
- Aeropuerto Farfan

La humedad relativa en la estación Apto. Farfan presenta valores más altos que el promedio en los meses de mayo y noviembre, los registros muestran que se han presentado máximos diarios del 100% y que el registro mínimo diario se presentó en enero de 2005 con un valor del 48,30%. La media anual multianual es de 78,00%. Ver la Figura 76 y la Tabla 76.

Tabla 76. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	77,00	77,30	79,10	79,30	79,40	79,30	76,40	75,90	76,70	77,60	79,50	78,70
Máximo diario multianual	95,30	94,70	100,00	95,70	97,30	95,70	93,30	95,00	93,70	99,30	96,00	95,70
Mínimo diario multianual	48,30	60,70	60,70	60,70	61,30	64,00	57,30	52,30	58,30	63,00	56,30	59,70

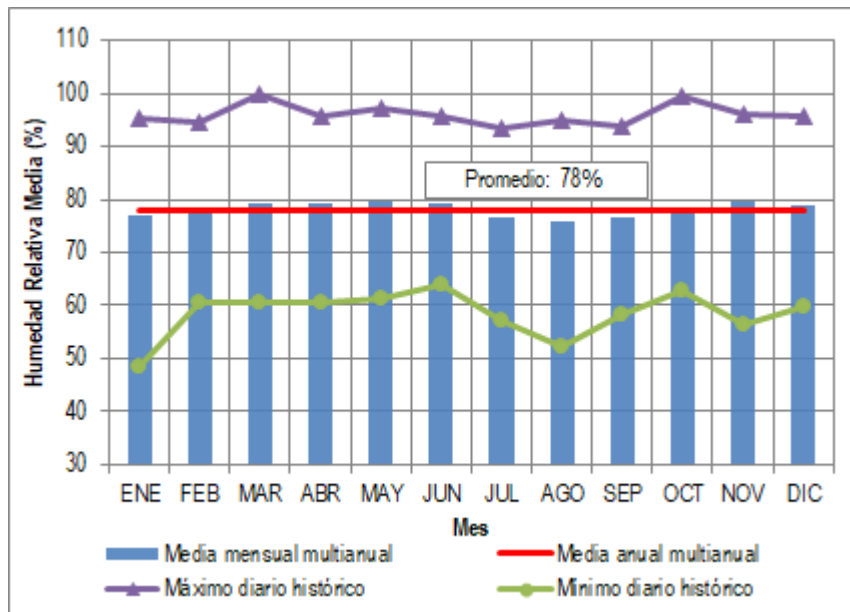


Figura 76. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

En la Tabla 77 y Figura 77 se presentan los registros medios anuales de humedad relativa media, a nivel general los datos siguen una tendencia decreciente, el valor máximo se registró en el año 1996 de 85,61%, el valor mínimo se registró en el año 2007 de 71,40%. De acuerdo con el análisis de media móvil para 5 años la serie de humedad relativa anual presentó un decrecimiento hasta el año 2009 y posteriormente una tendencia creciente hasta el año 2014.

Tabla 77. Media anual de Humedad Relativa media, estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Año	Humedad relativa media Anual	Año	Humedad relativa media Anual
1996	85,61	2007	71,40
1997	80,24	2008	74,56
1998	78,85	2009	77,61
1999	78,95	2010	79,91
2000	79,33	2011	80,70
2001	77,39	2012	80,11
2002	74,00	2013	79,72

Año	Humedad relativa media Anual	Año	Humedad relativa media Anual
2003	76,40	2014	78,02
2004	77,35	2015	77,89
2005	76,01	2016	77,86
2006	76,60		

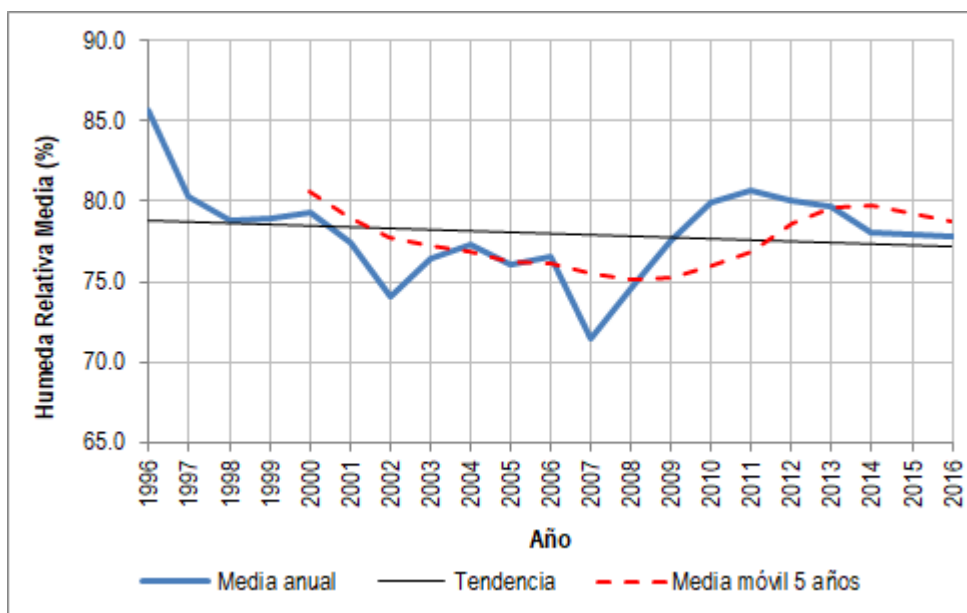


Figura 77. Variación de la humedad relativa media anual en la estación Aeropuerto Farfan. Periodo 1996-2016.

- Palmira ICA

La humedad relativa en la estación Palmira ICA presenta valores entre el rango de 74% y 76,70%, los mayores corresponden al periodo comprendido entre noviembre y diciembre, el máximo valor diario registrado fue de 100% en diciembre de 1997 y el registro mínimo diario se presentó en marzo de 2002 con un valor del 26,70%. La media anual multianual es de 74,60%. Ver la Figura 78 y la Tabla 78.

Tabla 78. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	74,00	73,60	75,40	77,10	77,20	75,60	72,30	70,50	71,70	74,90	76,70	76,70
Máximo diario multianual	92,70	96,70	95,70	95,30	96,00	95,70	97,30	89,30	92,30	94,30	95,70	100,00
Mínimo diario multianual	53,70	59,00	26,7	62,70	64,70	56,30	54,30	56,00	55,00	56,70	58,70	63,70

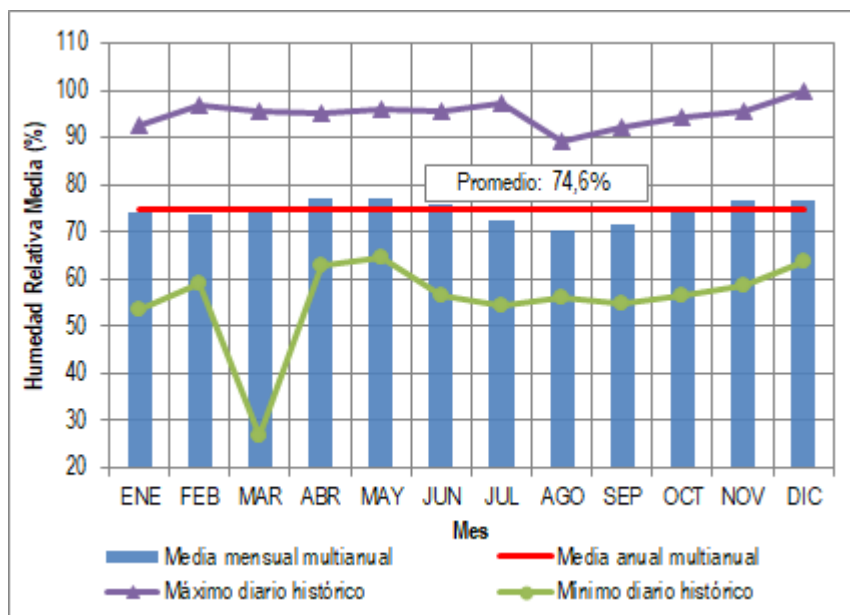


Figura 78. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

En la Tabla 79 y Figura 79 se presentan los registros medios anuales de humedad relativa en la estación Palmira ICA, a nivel general los datos muestran una tendencia decreciente, el valor máximo se registró en el año 1996 con un valor de 77,33%, el valor mínimo se registró en el año 20015 con un valor de 71,65%. De acuerdo con el análisis de media móvil para cinco años la serie de humedad relativa anual presentó un decrecimiento hasta el año 2005 y posteriormente una tendencia creciente hasta el año 2009.

Tabla 79. Media anual de Humedad Relativa (%), estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Año	Humedad relativa media Anual	Año	Humedad relativa media Anual
1996	77,33	2007	75,57
1997	74,00	2008	76,83
1998	76,33	2009	71,84
1999	76,68	2010	75,91
2000	75,83	2011	75,26
2001	72,14	2012	72,84
2002	73,53	2013	74,55
2003	73,61	2014	73,62
2004	75,08	2015	71,65
2005	74,74	2016	74,87
2006	75,33		

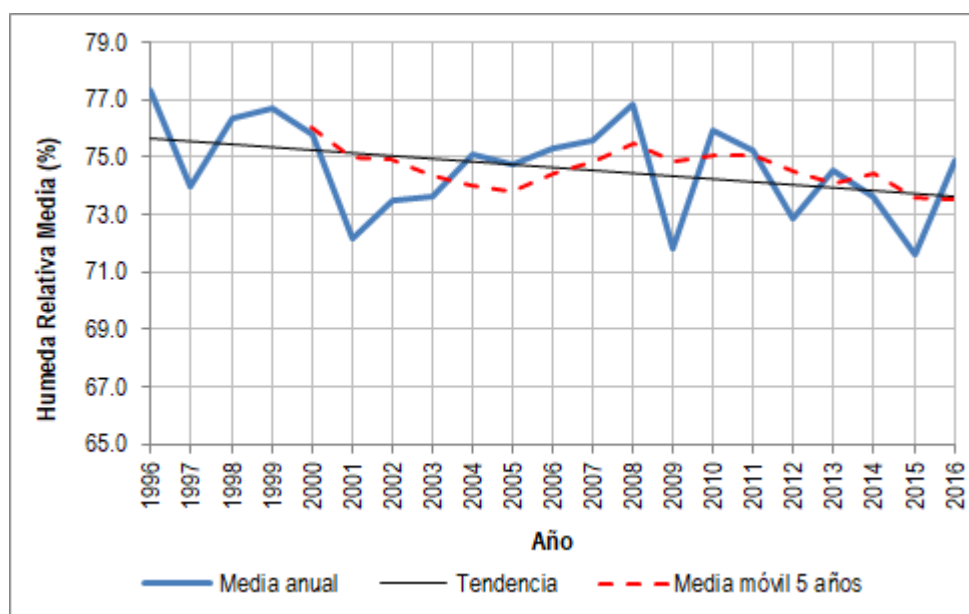


Figura 79. Variación de la humedad relativa media anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.



- San Antonio Quinta

La humedad relativa media en la estación San Antonio Quinta presenta valores en un rango de 70,30% y 80,50%, los mayores registros corresponden a los meses de abril y diciembre, el máximo valor diario registrado fue de 98% en diferentes meses y el registro mínimo diario se presentó en agosto de 2014 con un valor del 42%. La media anual multianual es de 74,70%. Ver Tabla 80 y Figura 80.

Tabla 80. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	75,00	75,40	77,30	78,80	77,30	74,30	70,30	66,50	67,00	75,10	80,50	78,70
Máximo diario multianual	96,00	97,00	96,70	98,00	96,70	98,70	94,30	90,30	91,00	96,70	98,00	98,00
Mínimo diario multianual	46,00	48,30	49,00	52,30	55,70	55,00	48,00	42,00	37,30	44,30	54,70	50,30

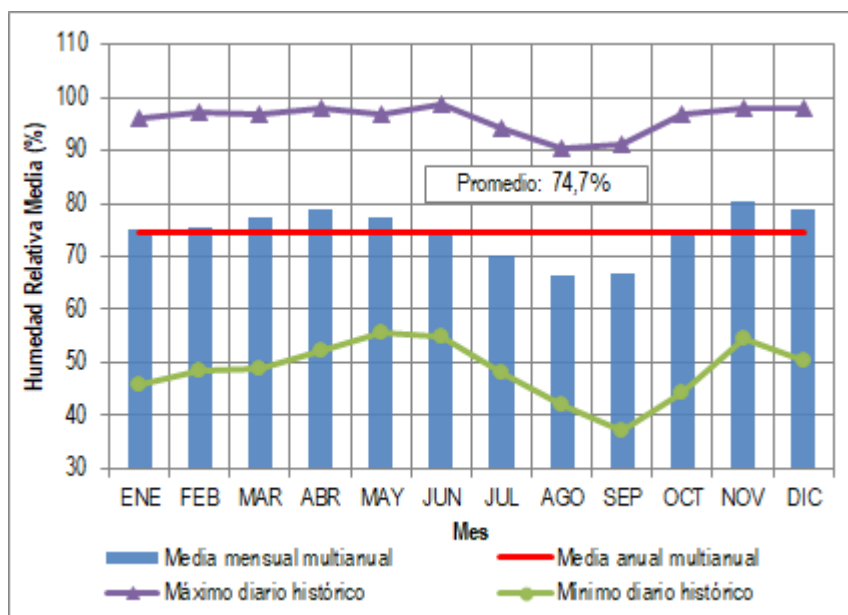


Figura 80. Humedad relativa, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

En la Tabla 81 y Figura 81 se presentan los registros medios anuales de humedad relativa en la estación San Antonio Quinta, a nivel general los datos siguen una tendencia decreciente, el valor máximo se registró en el año 2000 y tuvo un valor de 81,05% y el

valor mínimo se registró en el año 2015 y tuvo un valor de 67,94%. De acuerdo con el análisis de media móvil para cinco años la serie de humedad relativa anual presentó dos crecimientos uno hasta el año 2002 y el otro en el año 2011.

Tabla 81. Media anual de Humedad Relativa (%), estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Año	Humedad relativa media Anual	Año	Humedad relativa media Anual
1996	72,36	2007	75,70
1997	69,77	2008	79,38
1998	74,83	2009	75,58
1999	79,17	2010	76,81
2000	81,05	2011	78,08
2001	75,82	2012	73,16
2002	75,82	2013	73,68
2003	70,22	2014	72,62
2004	72,88	2015	67,94
2005	73,73	2016	73,10
2006	76,83		

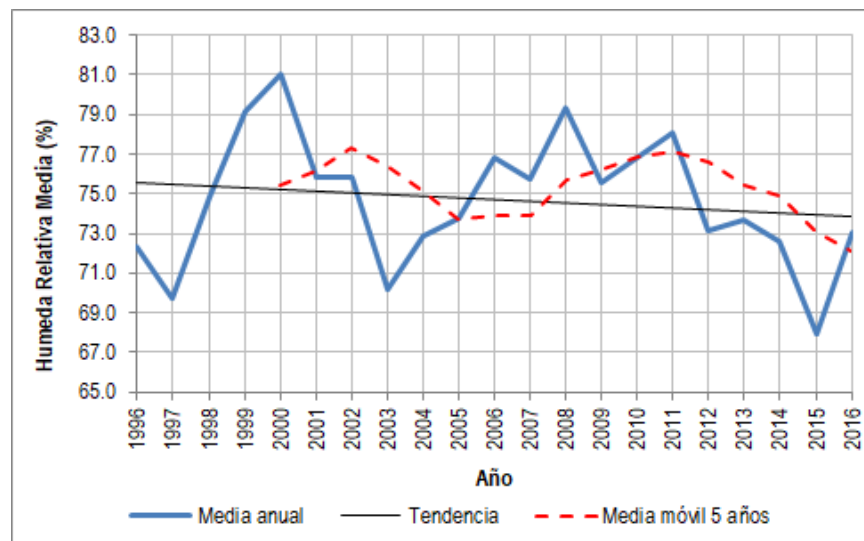


Figura 81. Variación de la humedad relativa media anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

- Humedad relativa máxima
- Aeropuerto Farfan

La humedad relativa máxima en la estación Apto. Farfan presenta valores entre el 92,60% y 94,50%, los registros más altos se presentan en los meses de noviembre y diciembre, los registros muestran que se han presentado máximos diarios del 100% en todos los meses y que el registro mínimo diario se presentó en enero de 2005 con un valor del 58,00%. La media anual multianual es de 93,80%. Ver la Figura 82 y la Tabla 82.

Tabla 82. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	93,10	93,20	94,20	94,30	94,40	94,40	92,60	92,80	93,70	93,90	94,50	94,50
Máximo diario multianual	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mínimo diario multianual	58,00	73,00	74,00	71,00	76,00	78,00	68,00	65,00	74,00	75,00	74,00	61,00

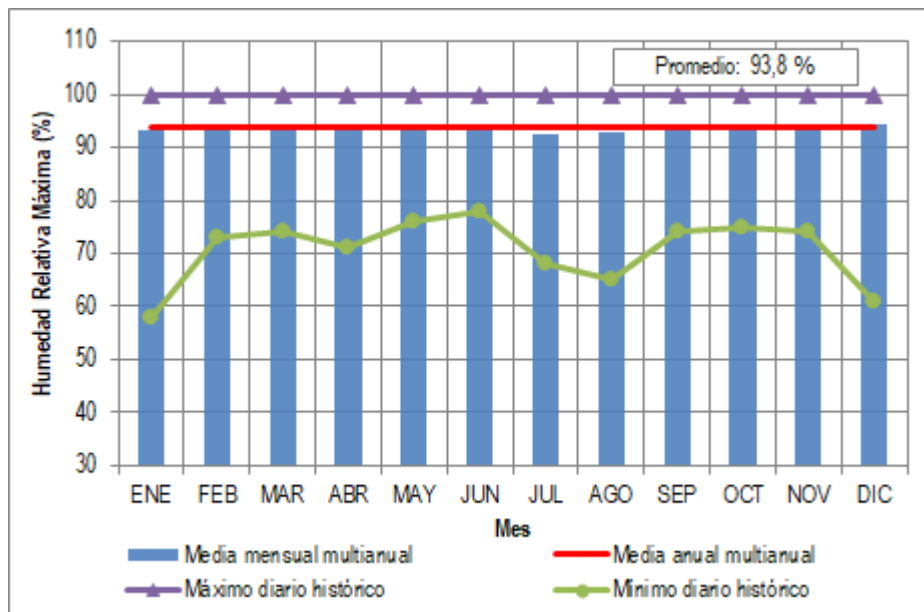


Figura 82. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

En la Tabla 83 y Figura 83 se presentan los registros medios anuales de humedad relativa máxima, a nivel general los datos siguen una tendencia decreciente, el valor máximo se registró en el año 2011 de 97,12%, el valor mínimo se registró en el año 2002 de 89,75%. De acuerdo con el análisis de media móvil para 5 años la serie de humedad relativa anual presentó un decrecimiento hasta el año 2006 y posteriormente una tendencia creciente hasta el año 2013.

Tabla 83. Media anual de Humedad Relativa máxima, estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

<b>Año</b>	<b>Humedad relativa máxima Anual</b>	<b>Año</b>	<b>Humedad relativa máxima Anual</b>
1996	95,37	2007	93,28
1997	92,09	2008	94,97
1998	91,91	2009	94,15
1999	92,61	2010	95,48
2000	93,58	2011	97,12
2001	93,42	2012	96,22
2002	89,75	2013	96,83
2003	92,61	2014	93,79
2004	92,79	2015	94,03
2005	92,40	2016	94,69
2006	92,62		

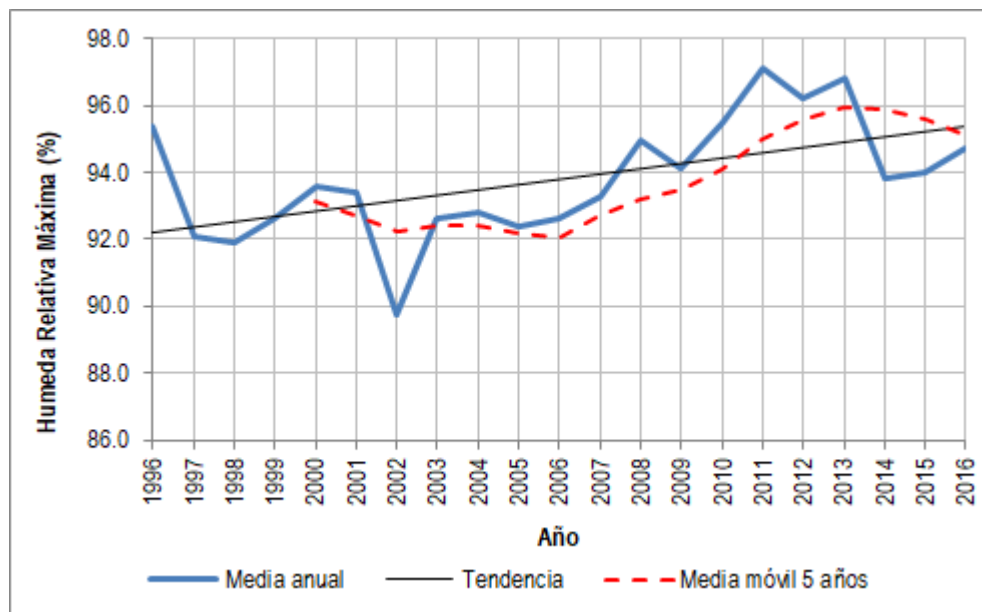


Figura 83. Variación de la humedad relativa máxima anual en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

- Palmira ICA

La humedad relativa máxima en la estación Palmira ICA presenta valores entre el rango de 89,60% y 93,50%, los mayores registros corresponden al periodo comprendido entre noviembre y diciembre, el máximo valor diario registrado fue de 100% en todos los meses y el registro mínimo diario se presentó en agosto de 2002 con un valor del 60,00%. La media anual multianual es de 92,30%. Ver la Figura 84 y la Tabla 84.

Tabla 84. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	92,60	92,20	93,50	94,10	93,40	92,70	90,80	89,60	90,10	91,90	93,20	93,50
Máximo diario multianual	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mínimo diario multianual	77,00	69,00	71,00	73,00	75,00	69,00	65,00	60,00	71,00	66,00	72,00	77,00

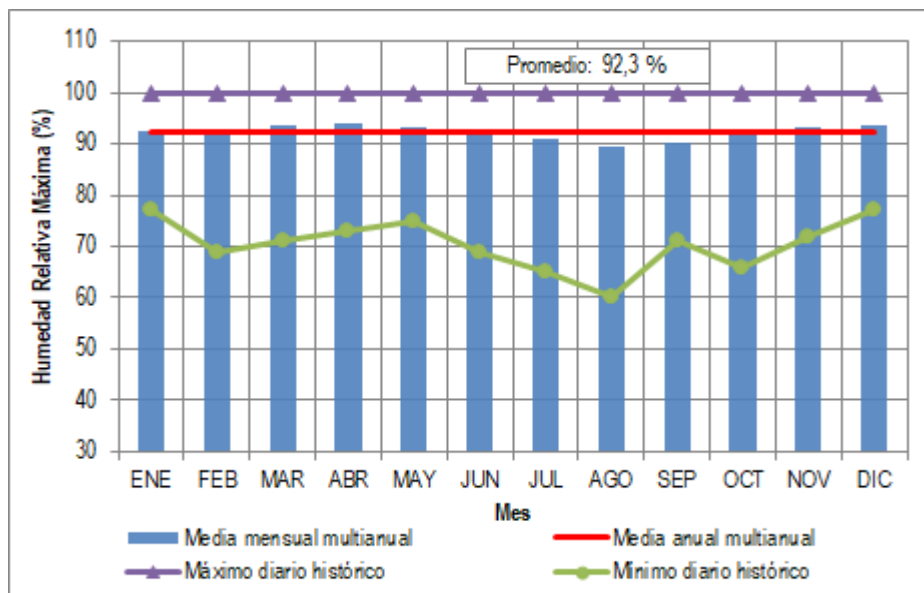


Figura 84. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

En la Tabla 85 y Figura 85 se presentan los registros medios anuales de humedad relativa en la estación Palmira ICA, a nivel general los datos muestran una tendencia decreciente, el valor máximo se registró en el año 2008 con un valor de 94,63%, el valor mínimo se registró en el año 2001 con un valor de 90,30%. De acuerdo con el análisis de media móvil para cinco años la serie de humedad relativa anual presentó un decrecimiento hasta el año 2005 y posteriormente una tendencia creciente hasta el año 2011.

Tabla 85. Media anual de Humedad Relativa máxima (%), estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Año	Humedad relativa máxima Anual	Año	Humedad relativa máxima Anual
1996	93,60	2007	93,63
1997	90,75	2008	94,63
1998	92,46	2009	90,70
1999	93,70	2010	93,10
2000	93,34	2011	93,66
2001	90,30	2012	92,08
2002	91,26	2013	92,78
2003	90,41	2014	92,92

Año	Humedad relativa máxima Anual	Año	Humedad relativa máxima Anual
2004	92,56	2015	91,26
2005	91,19	2016	92,50
2006	91,48		

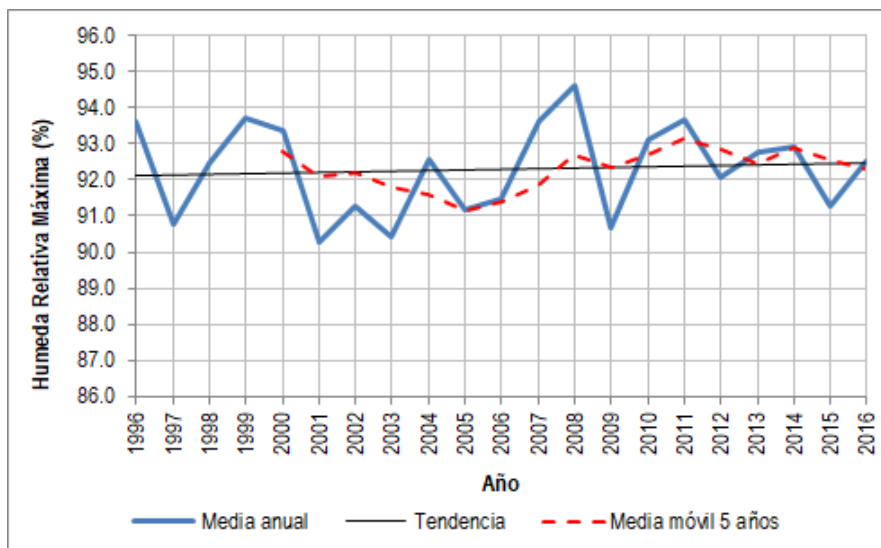


Figura 85. Variación de la humedad relativa máxima anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

- San Antonio Quinta

La humedad relativa máxima en la estación San Antonio Quinta presenta valores en un rango de 79,80% y 90,70%, los mayores registros corresponden a los meses de abril y noviembre, el máximo valor diario registrado fue de 100% en todos los meses y el registro mínimo diario se presentó en agosto de 1997 con un valor del 50%. La media anual multianual es de 86,10%. Ver Tabla 86 y Figura 86.

Tabla 86. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	86,40	86,90	88,10	89,60	88,10	85,10	82,60	79,80	80,00	87,40	90,70	88,90



Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Máximo diario multianual	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mínimo diario multianual	61,00	62,00	62,00	62,00	63,00	64,00	59,00	50,00	52,00	54,00	65,00	62,00

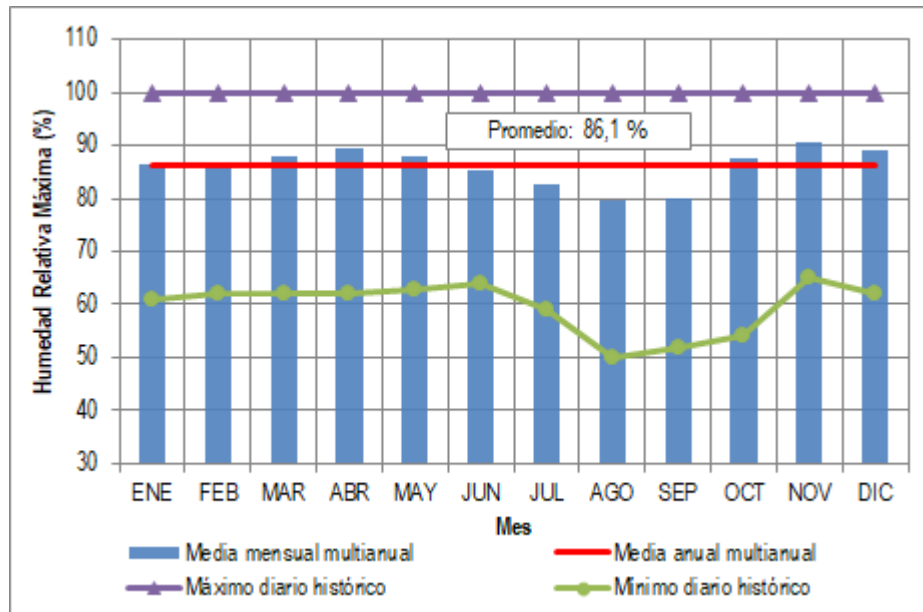


Figura 86. Humedad relativa máxima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

En la Figura 87 y en la Tabla 87 se presentan los registros medios anuales de humedad relativa máxima en la estación San Antonio Quinta, a nivel general los datos siguen una tendencia decreciente, el valor máximo se registró en el año 2000 y tuvo un valor de 91,90% y el valor mínimo se registró en el año 2015 y tuvo un valor de 80,25%. De acuerdo con el análisis de media móvil para cinco años la serie de humedad relativa anual presentó un decrecimiento uno hasta el año 2005 y posteriormente una tendencia decreciente hasta el año 2011.

Tabla 87. Media anual de Humedad Relativa máxima (%), estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Año	Humedad relativa máxima Anual	Año	Humedad relativa máxima Anual
1996	87,73	2007	85,61
1997	84,92	2008	88,92
1998	87,92	2009	86,57

Año	Humedad relativa máxima Anual	Año	Humedad relativa máxima Anual
1999	91,56	2010	87,57
2000	91,90	2011	88,19
2001	86,59	2012	84,43
2002	85,54	2013	84,33
2003	83,19	2014	83,88
2004	84,09	2015	80,25
2005	84,68	2016	84,58
2006	86,29		

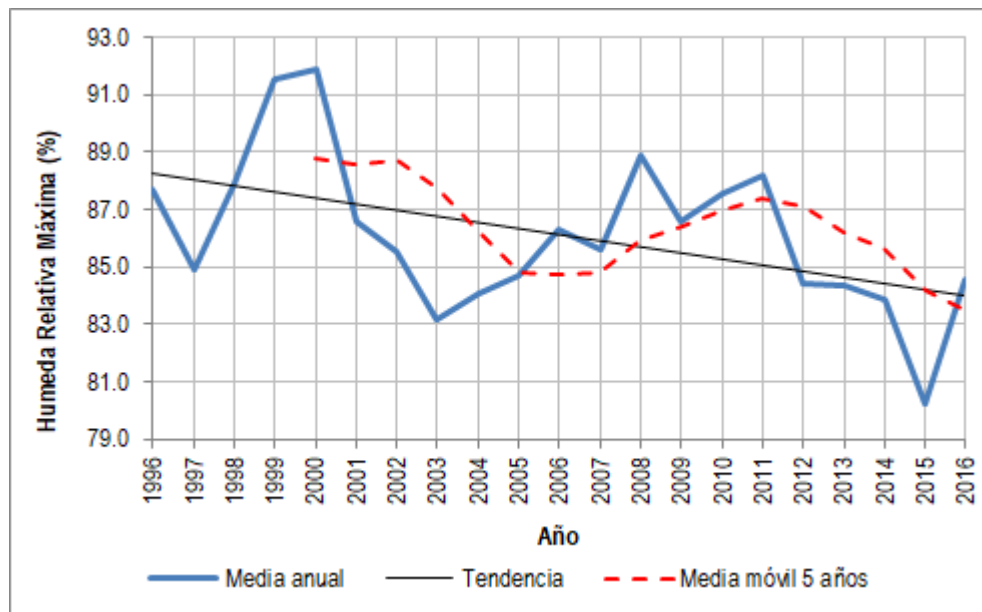


Figura 87. Variación de la humedad relativa máxima anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

- Humedad relativa mínima

- Aeropuerto Farfan

La humedad relativa mínima en la estación Apto. Farfan presenta valores entre el 51,20% y 58,30%, los registros más altos se presentan en los meses de abril, mayo y noviembre, los registros muestran que se han presentado máximos diarios del 100% en el mes de marzo de 2016 y que el registro mínimo diario se presentó en febrero de 1996 con un valor de 18,00%. La media anual multianual es de 55,30%. Ver la Figura 88 y la Tabla 88.

Tabla 88. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	54,80	55,00	56,40	57,30	58,30	57,20	52,70	51,20	52,30	55,30	57,30	56,40
Máximo diario multianual	91,00	89,00	100,00	94,00	96,00	90,00	88,00	92,00	89,00	98,00	96,00	94,00
Mínimo diario multianual	26,00	18,00	35,00	34,00	39,00	39,00	31,00	33,00	31,00	32,00	38,00	40,00

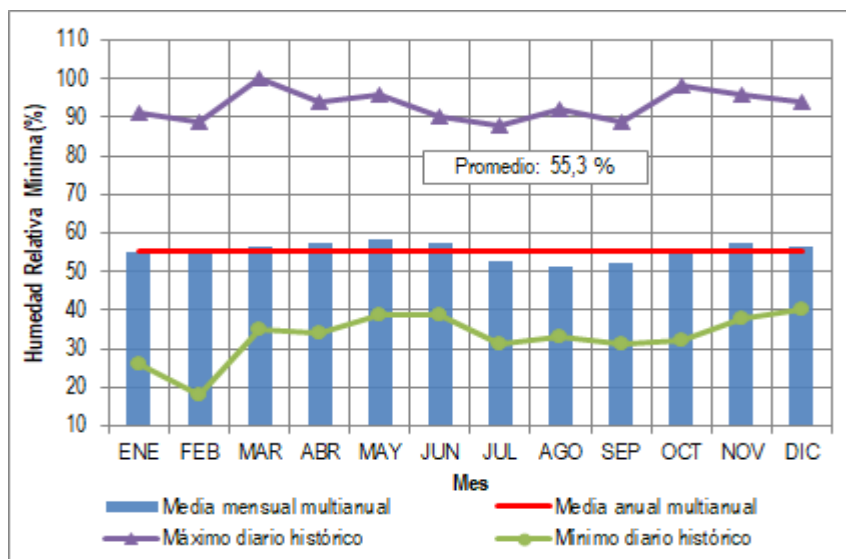


Figura 88. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

En la Tabla 89 y Figura 89 se presentan los registros medios anuales de humedad relativa mínima, a nivel general los datos siguen una tendencia decreciente, el valor máximo se

registró en el año 1996 de 72,26%, el valor mínimo se registró en el año 2007 de 51,83%. De acuerdo con el análisis de media móvil para 5 años la serie de humedad relativa anual presentó un decrecimiento a lo largo del periodo de tiempo.

Tabla 89. Media anual de Humedad Relativa mínima, estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

Año	Humedad relativa mínima Anual	Año	Humedad relativa mínima Anual
1996	72,26	2007	51,83
1997	64,90	2008	56,00
1998	60,68	2009	53,13
1999	59,80	2010	56,48
2000	63,94	2011	53,32
2001	58,76	2012	53,23
2002	56,29	2013	51,83
2003	57,23	2014	57,69
2004	60,63	2015	56,05
2005	57,01	2016	54,83
2006	55,08		

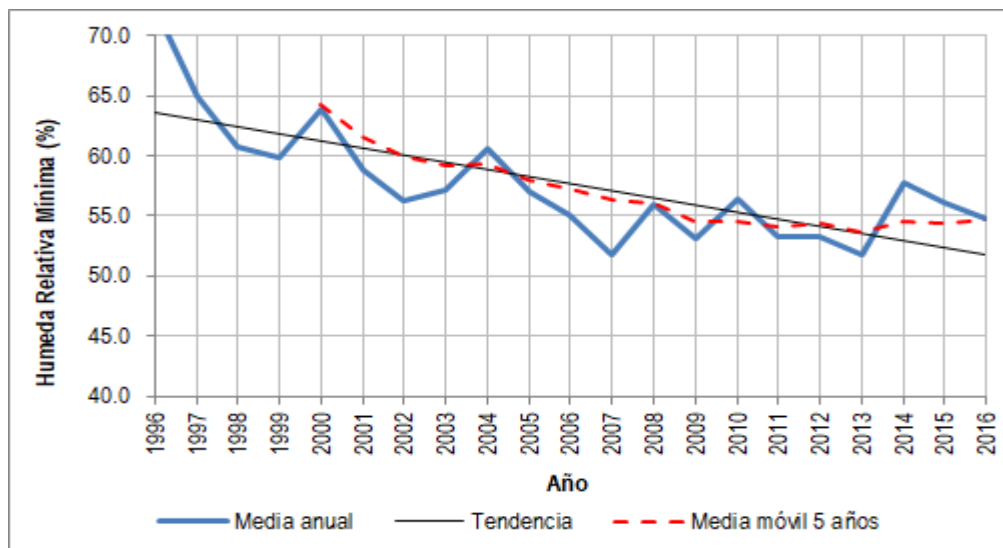


Figura 89. Variación de la humedad relativa mínima anual en la estación Apto. Farfan. Periodo 1996-2016.

- Palmira ICA

La humedad relativa mínima en la estación Palmira ICA presenta valores entre el rango de 50,70% y 56,70%, los mayores registros corresponden a los meses de abril y noviembre, el máximo valor diario registrado fue de 100% en el mes de diciembre de 1997 y el registro mínimo diario se presentó en agosto de 2002 con un valor del 29,00%. La media anual multianual es de 54,10%. (Tabla 90 y Figura 90).

Tabla 90. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	53,00	52,90	54,60	56,60	57,30	55,70	51,50	49,40	50,70	54,70	56,70	56,50
Máximo diario multianual	92,00	96,00	92,00	90,00	94,00	91,00	92,00	84,00	89,00	91,00	94,00	100,00
Mínimo diario multianual	37,00	36,00	36,00	34,00	43,00	34,00	31,00	29,00	23,00	34,00	36,00	42,00

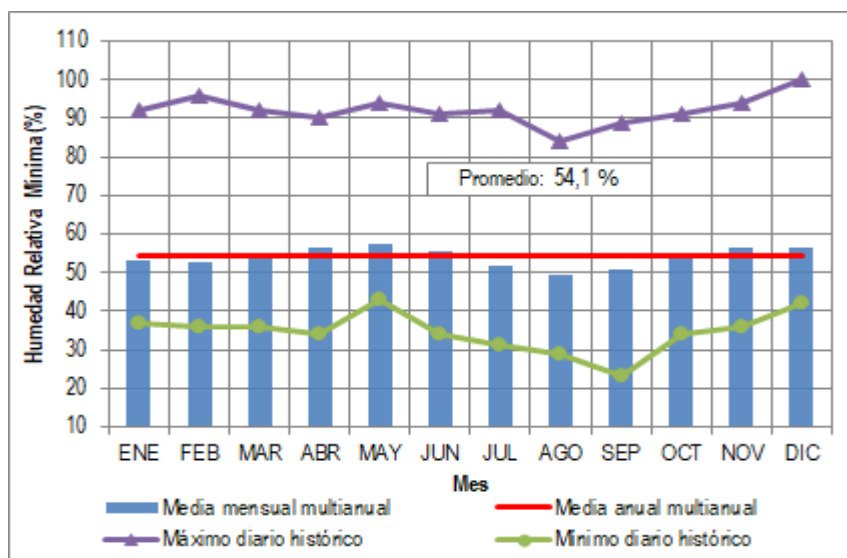


Figura 90. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

En la Tabla 91 y en la Figura 91 se presentan los registros medios anuales de humedad relativa en la estación Palmira ICA, a nivel general los datos muestran una tendencia decreciente, el valor máximo se registró en el año 1996 con un valor de 59,85%, el valor mínimo se registró en el año 2015 con un valor de 52,35%. De acuerdo con el análisis de

media móvil para cinco años la serie de humedad relativa anual presentó un decrecimiento a lo largo del periodo de tiempo.

Tabla 91. Media anual de Humedad Relativa mínima (%), estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

Año	Humedad relativa mínima Anual	Año	Humedad relativa mínima Anual
1996	59,85	2007	56,78
1997	56,88	2008	58,59
1998	58,87	2009	53,23
1999	58,31	2010	58,76
2000	57,73	2011	56,62
2001	53,11	2012	54,09
2002	54,94	2013	56,21
2003	55,20	2014	54,62
2004	56,45	2015	52,35
2005	57,35	2016	57,05
2006	57,36		

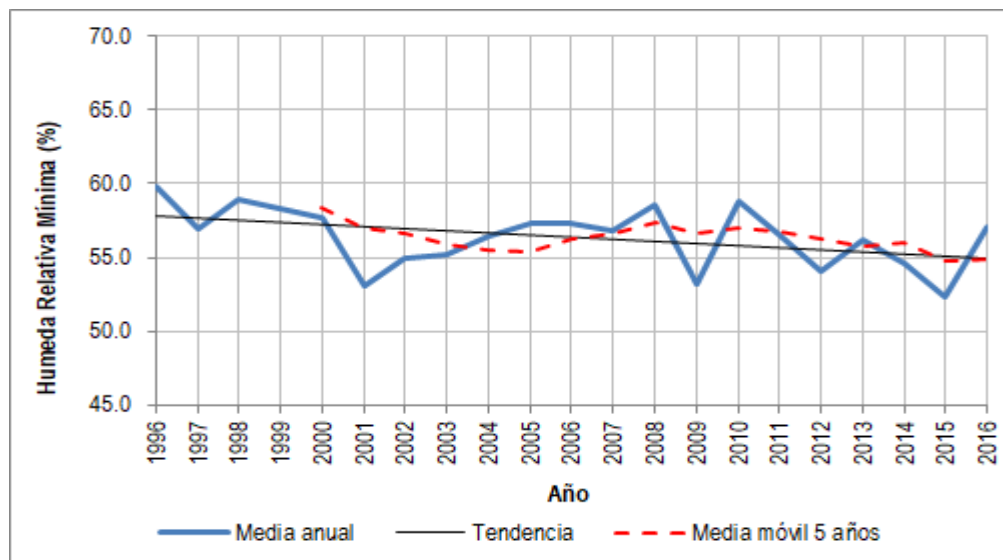


Figura 91. Variación de la humedad relativa mínima anual en la estación Palmira ICA. Periodo 1996-2016.

- San Antonio Quinta

La humedad relativa mínima en la estación San Antonio Quinta presenta valores en un rango de 52,90% y 67,40%, los mayores registros corresponden al periodo de noviembre y diciembre, el máximo valor diario registrado fue de 98% en el mes de junio de 2010 y el registro mínimo diario se presentó en marzo de 1998 con un valor de 22,00%. La media anual multianual es de 61,00%. (Tabla 92 y Figura 92).

Tabla 92. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media mensual multianual	61,00	61,70	63,80	65,20	63,70	60,90	57,00	52,90	52,90	60,40	67,40	65,60
Máximo diario multianual	92,00	95,00	94,00	97,00	96,00	98,00	90,00	83,00	85,00	94,00	96,00	96,00
Mínimo diario multianual	30,00	37,00	22,00	36,00	38,00	39,00	33,00	24,00	18,00	29,00	39,00	28,00

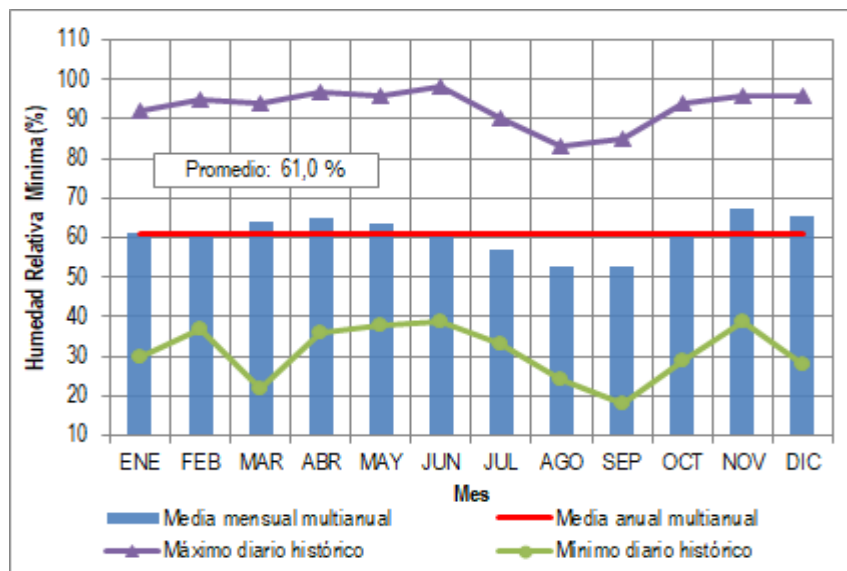


Figura 92. Humedad relativa mínima, máximos y mínimos diarios multianuales (%) en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

En la Tabla 93 y Figura 93 se presentan los registros medios anuales de humedad relativa en la estación San Antonio Quinta, a nivel general los datos siguen una tendencia decreciente, el valor máximo se registró en el año 2008 y tuvo un valor de 67,97% y el valor mínimo se registró en el año 1996 y tuvo un valor de 49,44%. De acuerdo con el



análisis de media móvil para cinco años la serie de humedad relativa anual presentó dos crecimientos uno hasta el año 2001 y el otro hasta el año 2011.

Tabla 93. Media anual de Humedad Relativa mínima (%), estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

Año	Humedad relativa mínima Anual	Año	Humedad relativa mínima Anual
1996	49,44	2007	64,08
1997	49,56	2008	67,97
1998	59,02	2009	63,28
1999	63,21	2010	64,41
2000	67,76	2011	66,11
2001	63,13	2012	60,85
2002	64,45	2013	61,40
2003	54,56	2014	59,77
2004	60,28	2015	54,73
2005	61,56	2016	60,20
2006	65,97		

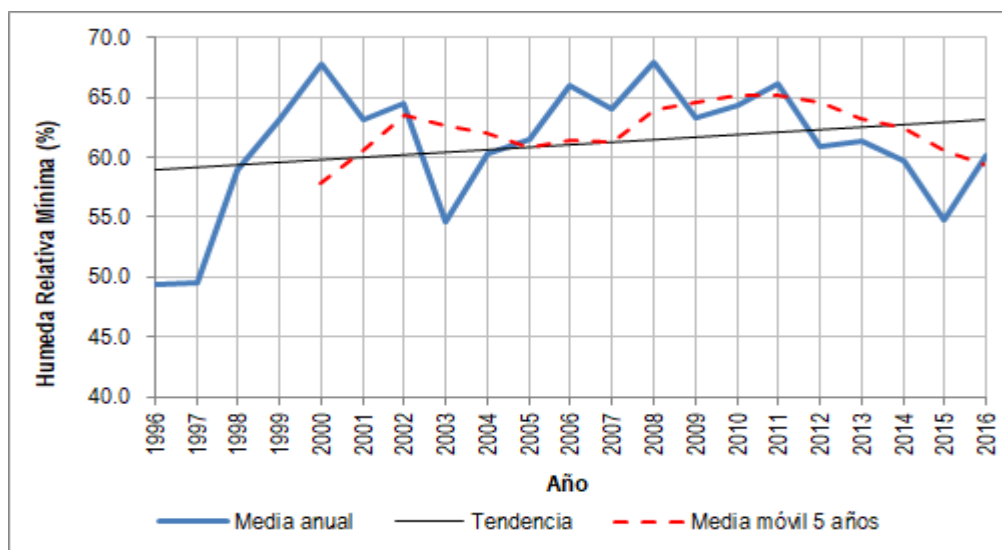


Figura 93. Variación de la humedad relativa mínima anual en la estación San Antonio Quinta. Periodo 1996-2016.

#### 5.1.11.1.2.5. Dirección y velocidad del viento

Para caracterizar la dirección y velocidad del viento en el área de análisis, se utilizaron los registros de las estaciones Aeropuerto Alfonso Bonilla y Palmira ICA localizadas en la zona sur de la línea de transmisión, la estación Aeropuerto Farfán y Centro Administrativo La Unión localizadas en la zona intermedia de la línea y la estación Aeropuerto Matecaña ubicada en la zona norte del proyecto como se presenta en la Figura 94.

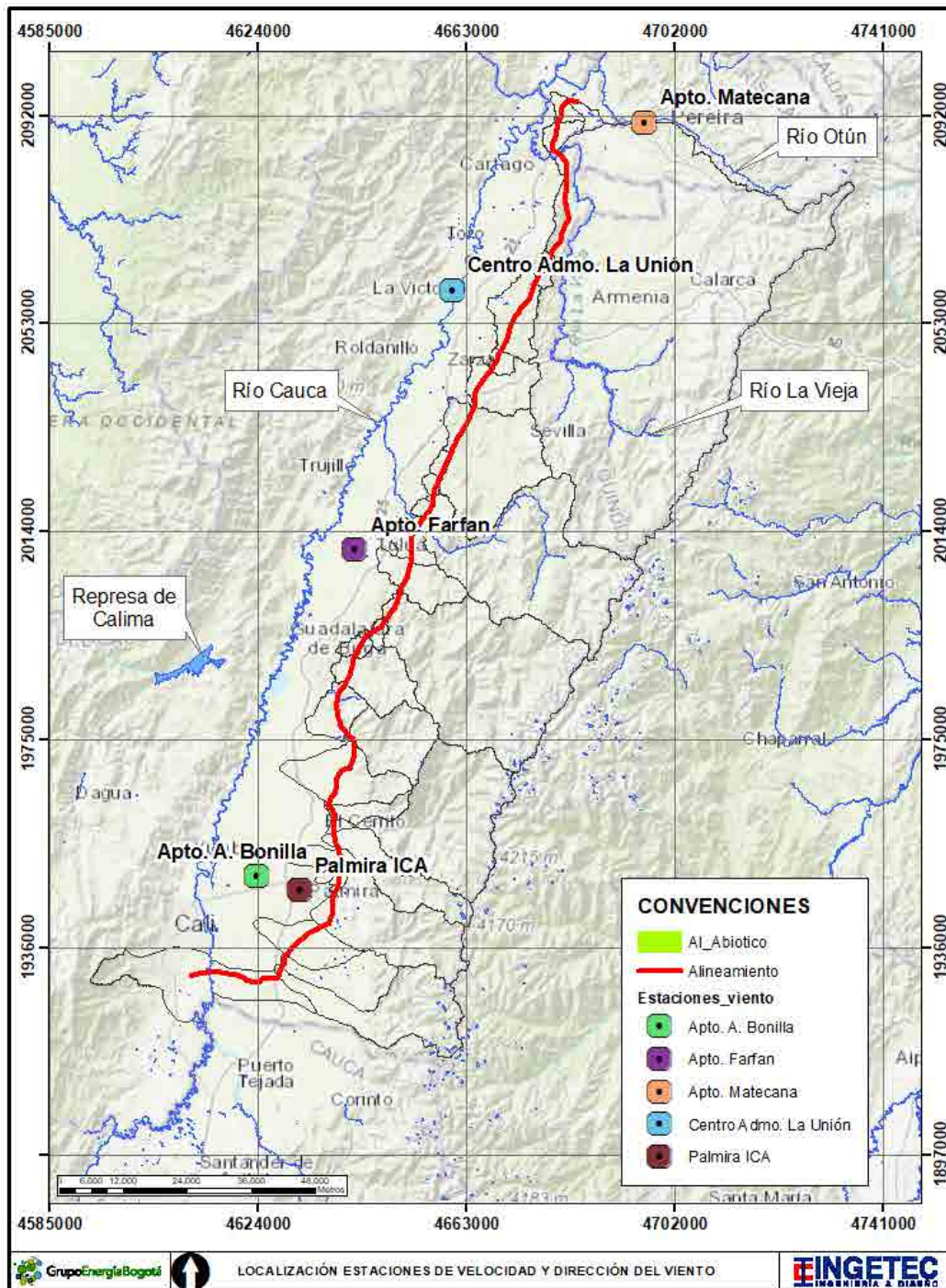


Figura 94. Localización de estaciones utilizadas para caracterizar la dirección y velocidad del viento.

El análisis de velocidad del viento se realizó para el periodo disponible en cada estación, dado que la información utilizada está a escala horaria lo cual permite realizar un ejercicio detallado del comportamiento de la velocidad. Para la zona sur, la velocidad varía entre 1,53 m/s y 1,90 m/s según lo registrado en la estación Palmira ICA y en la estación Aeropuerto Alfonso Bonilla respectivamente. En la zona intermedia la estación Aeropuerto Farfán registra una velocidad de 1,58 m/s y la estación Centro Administrativo La Unión 1,53 m/s, y para la zona norte del proyecto la estación Aeropuerto Matecaña registra 1,90 m/s de velocidad como se presenta en la Tabla 94 y en la Figura 95.

Tabla 94. Velocidad del viento (m/s) en las estaciones analizadas.

Periodo	Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1977-2018	Aeropuerto A. Bonilla	2,33	2,29	2,40	2,23	2,23	2,25	2,32	2,42	2,46	2,25	2,30	2,16	2,30
1974-2012	Aeropuerto Farfan	1,53	1,62	1,69	1,66	1,50	1,40	1,54	1,65	1,68	1,68	1,54	1,46	1,58
1977-2019	Aeropuerto Matecaña	1,91	1,96	2,01	1,93	1,86	1,81	1,85	1,88	1,88	1,91	1,87	1,92	1,90
1977-2012	Centro Administrativo La Unión	1,63	1,79	1,69	1,39	1,31	1,32	1,51	1,72	1,68	1,58	1,37	1,37	1,53
1972-2014	Palmira ICA	1,58	1,63	1,54	1,42	1,34	1,37	1,55	1,71	1,69	1,57	1,46	1,43	1,53

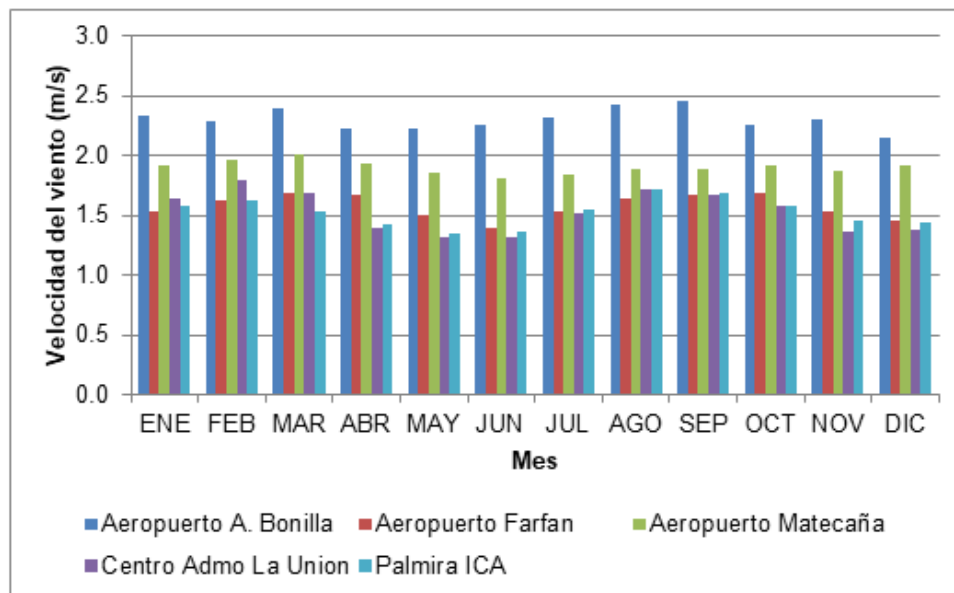


Figura 95. Velocidad del viento en m/s en las estaciones analizadas.

La clasificación de vientos se realizó empleando la escala de Beaufort presentada en la Tabla 95.

Tabla 95. Clasificación del viento a partir del rango de velocidades

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO DEL VIENTO	RANGO DE VELOCIDADES (m/s)
Calma	Calma, el humo asciende verticalmente	0 – 0,2
Aire ligero	El humo indica la dirección del viento	0,3 – 1,5
Brisa ligera	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos	1,6 – 3,3
Brisa suave	Se agitan las hojas, ondulan las banderas	3,4 – 5,4
Brisa moderada	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles	5,5 – 7,9
Brisa fresca	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada	8,0 – 10,8
Brisa fuerte	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas	10,9 – 13,8
Viento casi temporal	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento	13,9 – 16,9
Viento temporal	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa	17,0 – 20,5
Viento temporal fuerte	Daños en árboles, imposible andar contra el viento	20,6 – 24,1
Tormenta	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones	24,2 – 28,3
Tormenta violenta	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles	28,4 – 32,6
Huracán	Destrucción total	> 32,7

Fuente: NOAA, 2008

De manera general, la velocidad predominante registrada en las estaciones se clasifican como vientos de aire ligero a excepción de la estación Aeropuerto Matecaña donde predominan los vientos de brisa ligera (Figura 96 y Tabla 96).

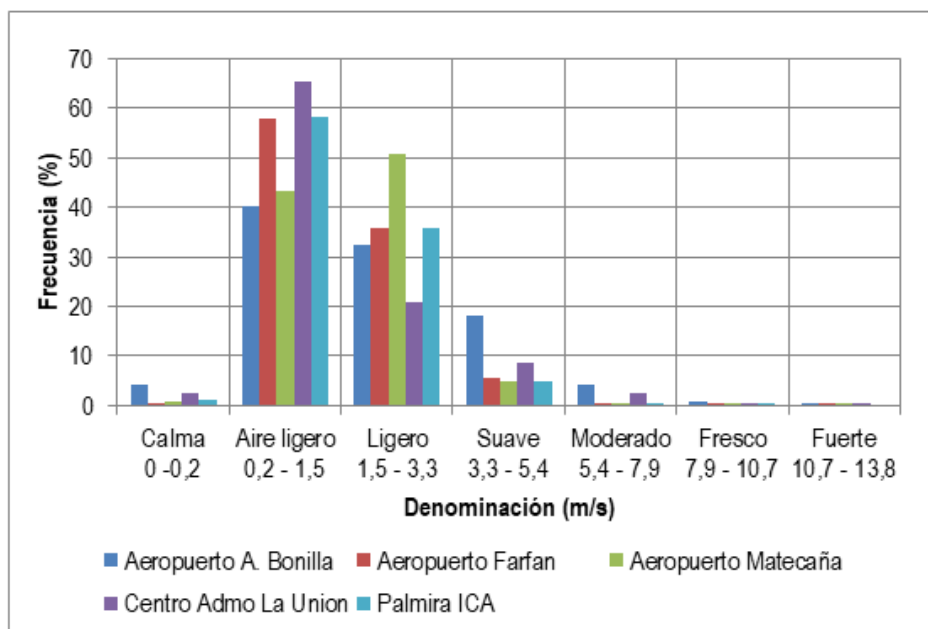


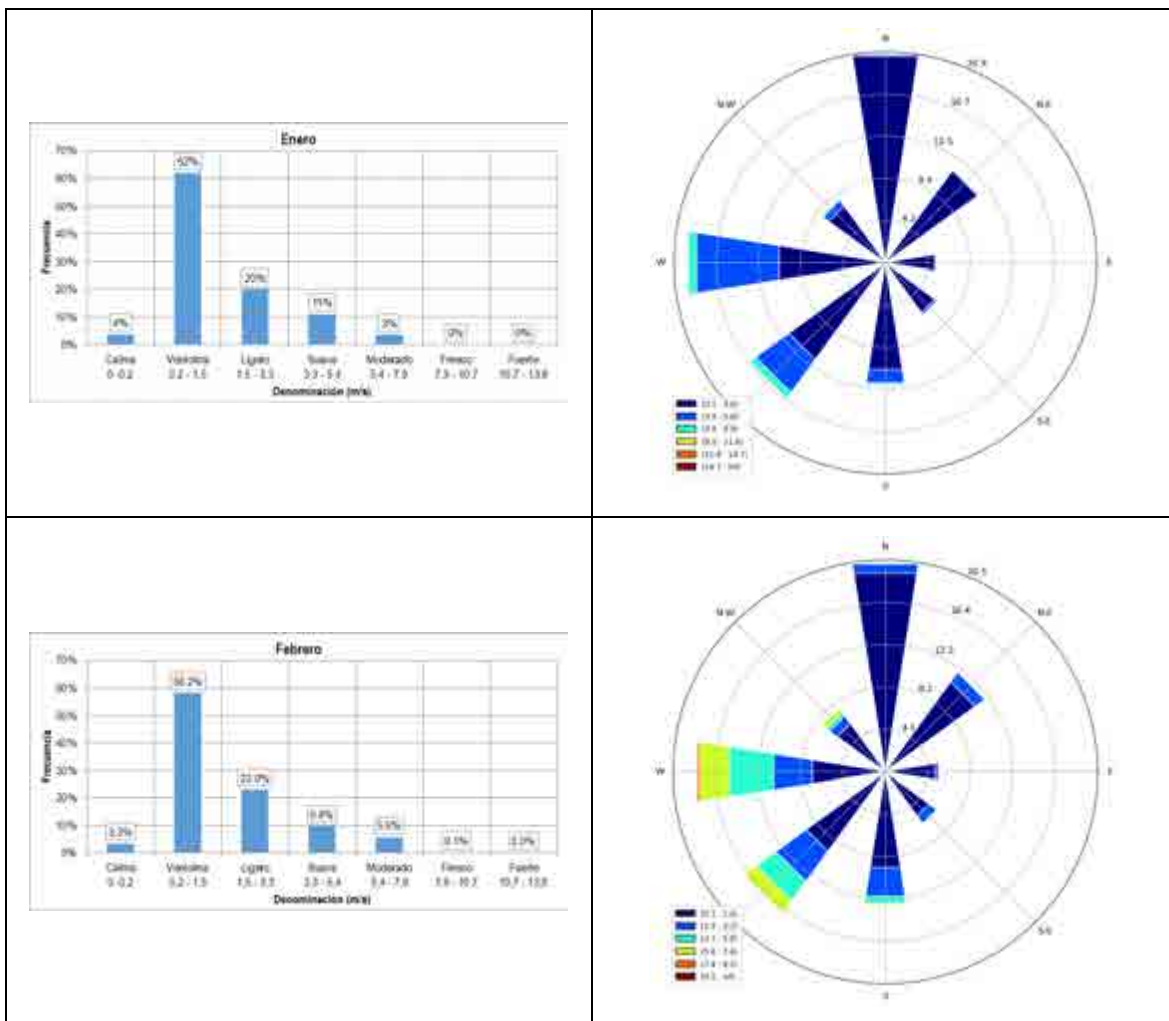
Figura 96. Velocidad del viento en m/s en las estaciones analizadas.

Tabla 96. Clasificación del viento a partir del rango de velocidades en las estaciones analizadas.

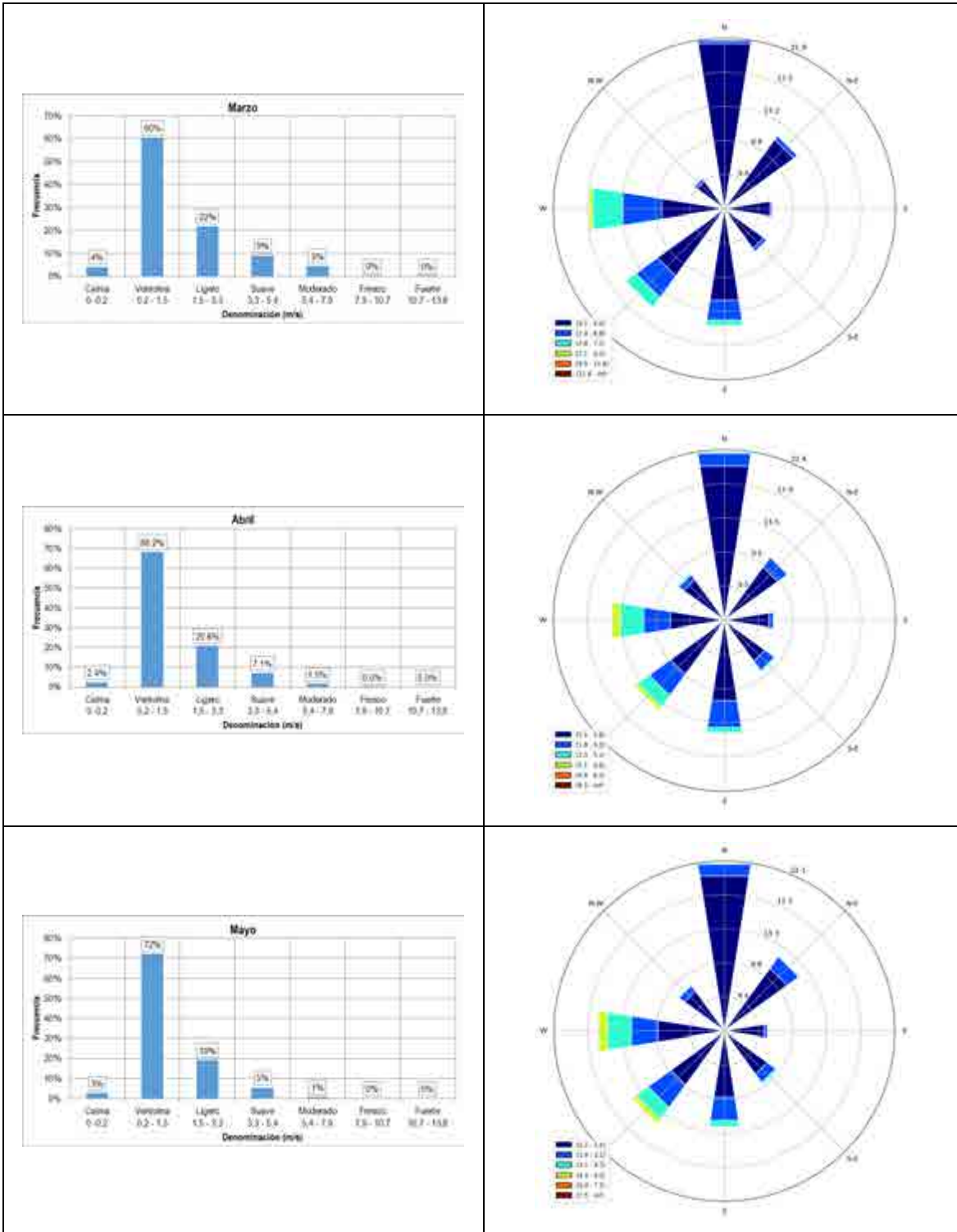
Denominación	Aeropuerto A, Bonilla	Aeropuerto Farfan	Aeropuerto Matecaña	Centro Admo. La Unión	Palmira ICA
Calma	4,25	0,03	0,67	2,57	1,24
Aire ligero	40,15	57,93	43,12	65,42	58,16
Ligero	32,47	35,97	50,90	20,93	35,77
Suave	18,01	5,65	5,04	8,62	4,71
Moderado	4,29	0,37	0,25	2,42	0,12
Fresco	0,80	0,03	0,03	0,05	0,01
Fuerte	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Muy fuerte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ventarrón	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ventarrón Fuerte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temporal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Borrasca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Huracán	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

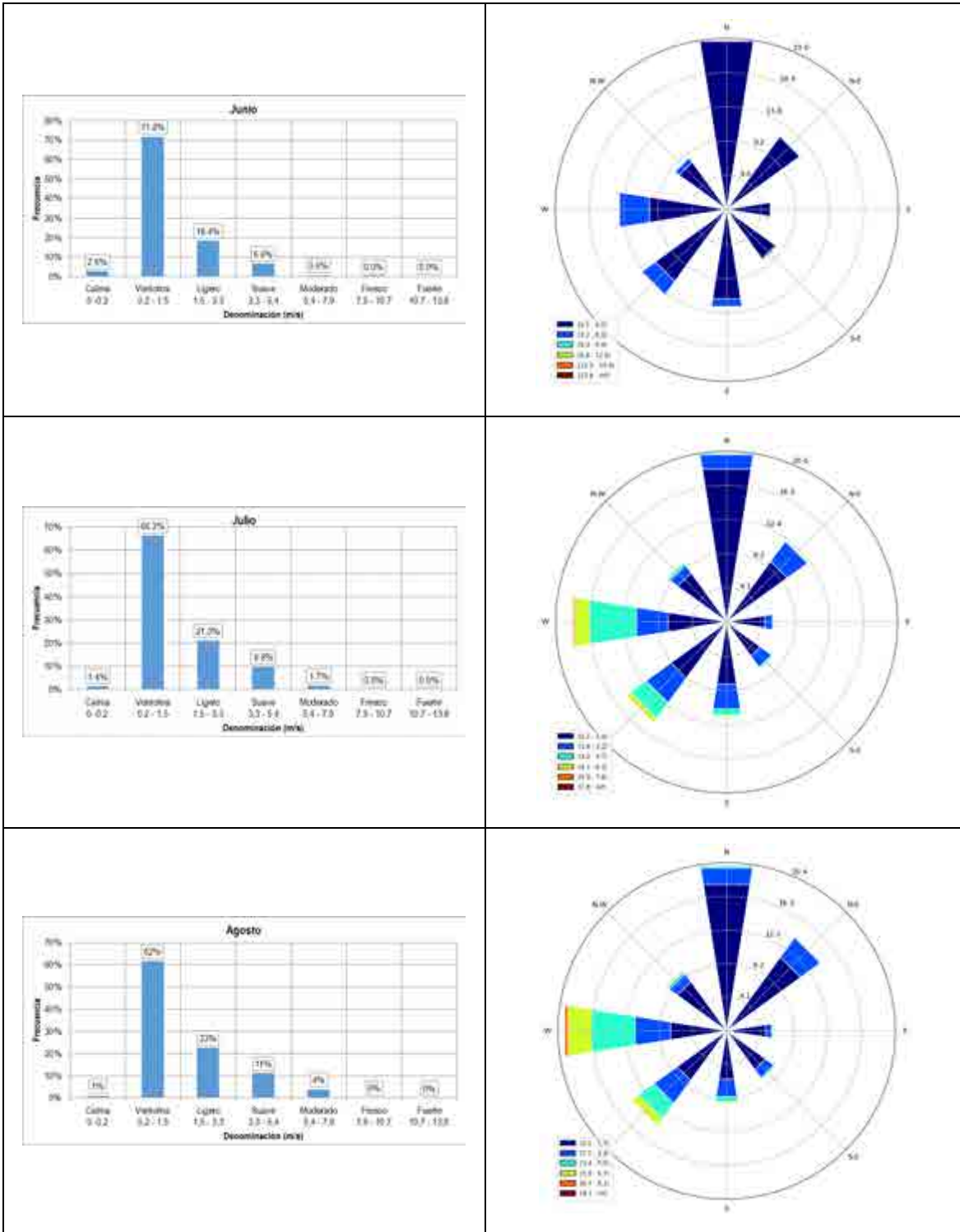
- Rosa de vientos mensuales

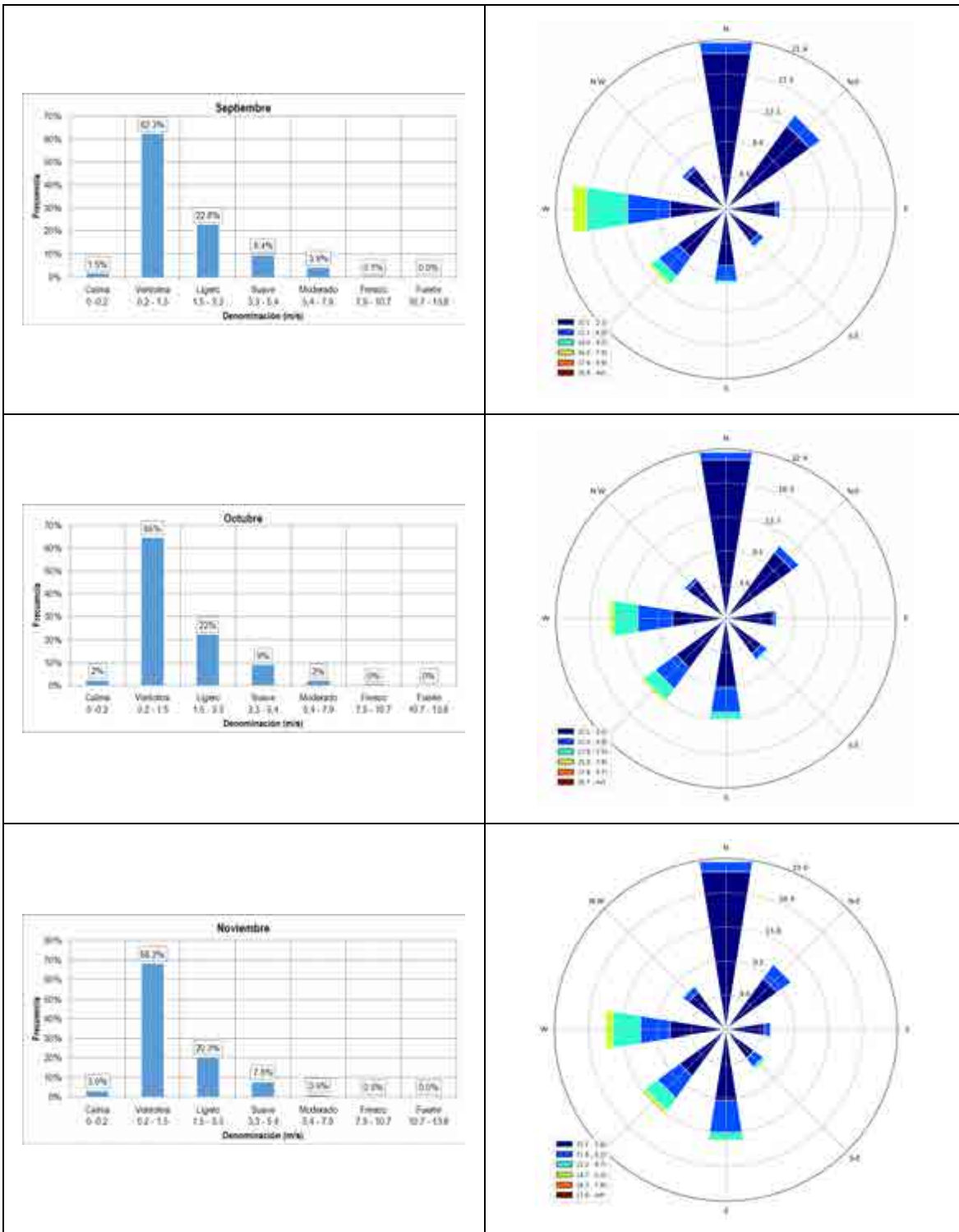
En la Figura 97 se presenta como ejemplo el análisis de rosa de vientos a nivel mensual para la estación Centro Administrativo La Unión. Se observa que de manera general predominan los vientos del Norte seguidos por los vientos del Oeste. Para todo los meses predomina la velocidad como vientos de aire ligero seguidos por vientos de brisa ligera. La rosa de vientos para las demás estaciones se presenta en el Anexo D9 - Información meteorológica/D.9.2 Parámetros.











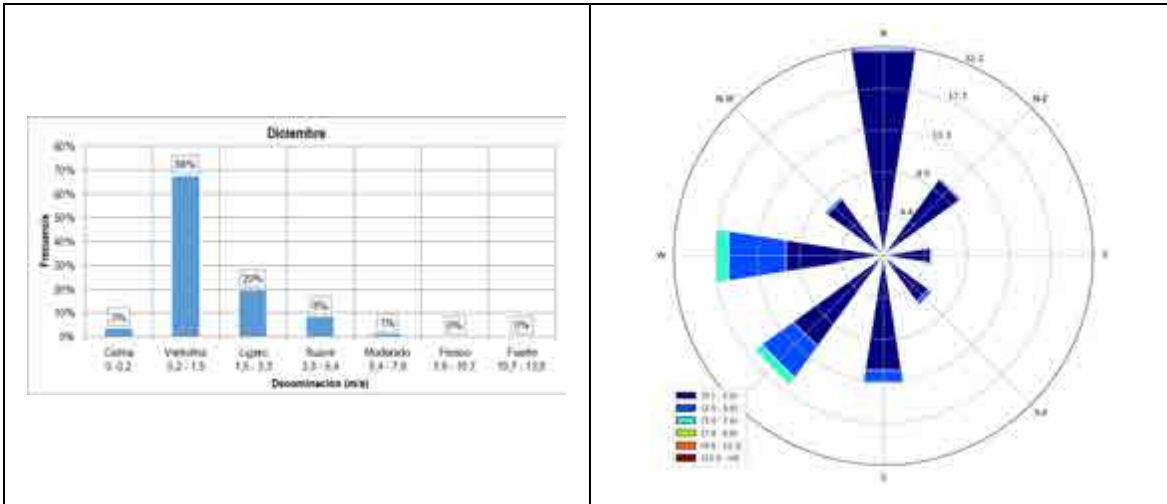


Figura 97. Rosa de vientos a nivel mensual para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1977 a 2012.

- Rosa de vientos diurna

En la Figura 98 y Figura 99 se observa que en la estación Centro Administrativo La Unión, en el día desde las 6 am hasta las 6 pm, los vientos que se presentan con mayor frecuencia son provenientes del Oeste seguidos por los vientos del Noreste y las velocidades más frecuentes se clasifican como aire ligero con un 53,8% seguidas por brisa ligera con un 25,2%.

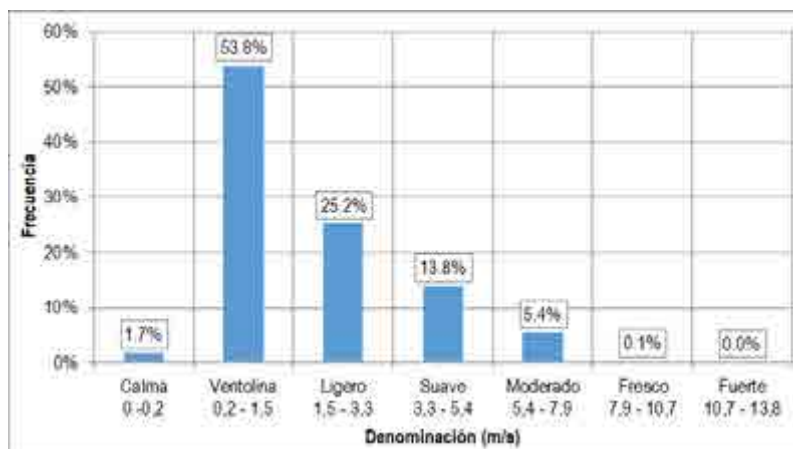


Figura 98. Velocidad del viento diurna para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1978 a 2012.

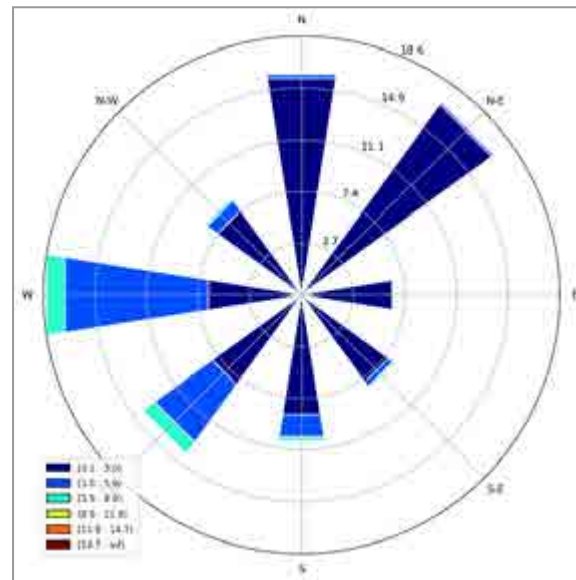


Figura 99. Rosa de vientos diurna para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1978 a 2012.

- Rosa de vientos nocturna

En la Figura 100 y Figura 101 se observa que en la estación Centro Administrativo La Unión, en la noche desde las 6 pm hasta las 6 am, los vientos que se presentan con mayor frecuencia son provenientes del Norte seguidos por los vientos del Oeste y las velocidades más frecuentes se clasifican como aire ligero con un 70,9% seguidas por brisa ligera con un 14,1%.

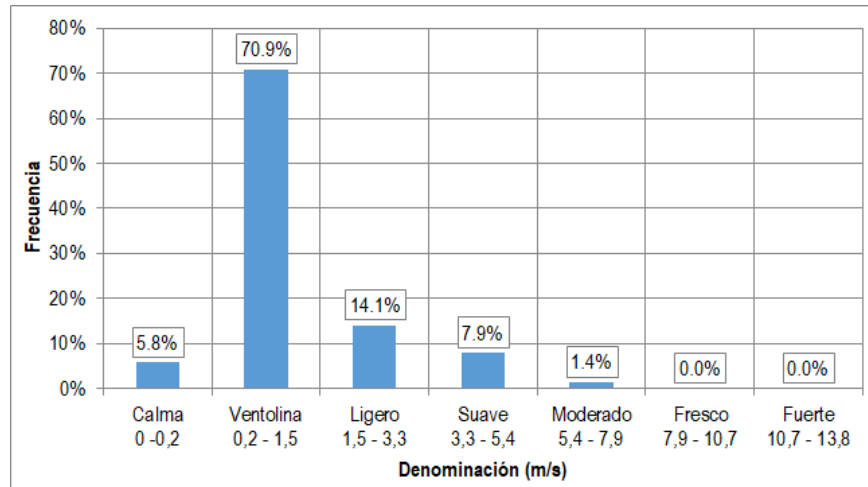


Figura 100. Velocidad del viento nocturna para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1978 a 2012.

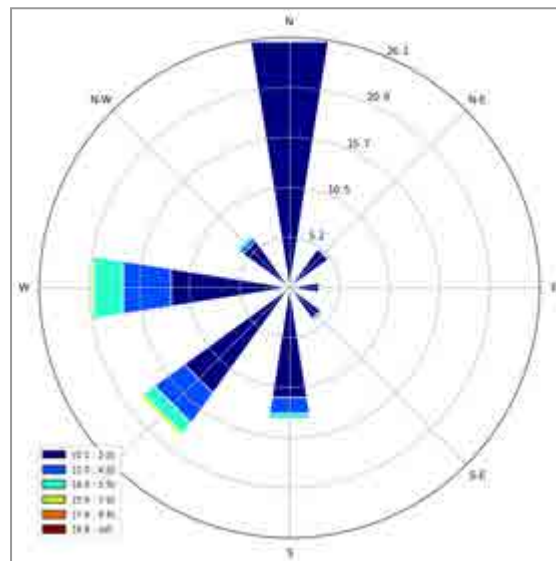


Figura 101. Rosa de vientos nocturna para la estación Centro Administrativo La Unión para el periodo 1978 a 2012.

- Comportamiento de la velocidad del viento en 24 horas

Los registros horarios de las estaciones analizadas permitieron realizar la caracterización de la velocidad del viento en 24 horas. En la Figura 102 se observa que el



comportamiento de la velocidad del viento en las estaciones Aeropuerto Bonilla, Centro Administrativo La Unión y Palmira ICA es similar, presentando la velocidad máxima en la hora 16:00. En las estaciones Aeropuerto Farfán y Aeropuerto Matecaña la velocidad máxima se presenta en la hora 15:00.

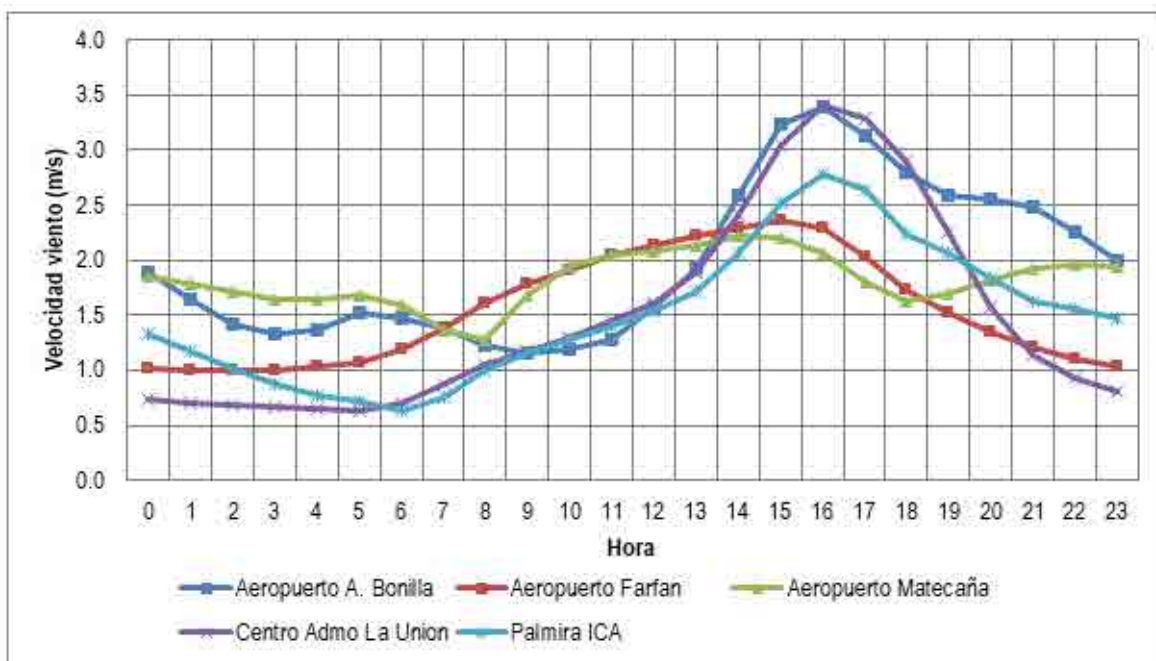


Figura 102. Comportamiento del viento en 24 horas en las estaciones analizadas.

#### 5.1.11.1.2.6. Radiación solar

Los datos asociados a la radiación solar fueron tomados del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)<sup>2</sup>, donde se encontraron dos estaciones cercanas al área de estudio, siendo estas, la estación Aeropuerto Matecaña con un periodo de registro desde 1990 hasta 1996, y la estación Univalle con un periodo de registro de 2006 al 2016.

En los datos registrados por las estaciones se puede observar un comportamiento bimodal de la radiación solar diaria acumulada, los valores máximos se registran entre los meses de julio a agosto (Tabla 97).

<sup>2</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y de Estudios Ambientales (IDEAM). Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia. 2017.



Tabla 97. Promedio de radiación solar diaria acumulada (Wh/m<sup>2</sup>) registrada en las estaciones cercanas al área de influencia.

Estación	Aeropuerto Matecaña	Univalle
Periodo	1990-1996	2006-2016
ENE	4279,40	4568,80
FEB	4406,30	4564,60
MAR	4283,90	4526,20
ABR	4099,70	4436,40
MAY	3805,10	4313,30
JUN	3940,50	4488,60
JUL	4243,60	4762,90
AGO	4362,00	4829,90
SEP	4273,20	4794,90
OCT	4338,60	4474,30
NOV	4183,30	4224,70
DIC	4315,40	4267,70
ANUAL	4210,90	4521,00

Fuente: Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia, IDEAM.

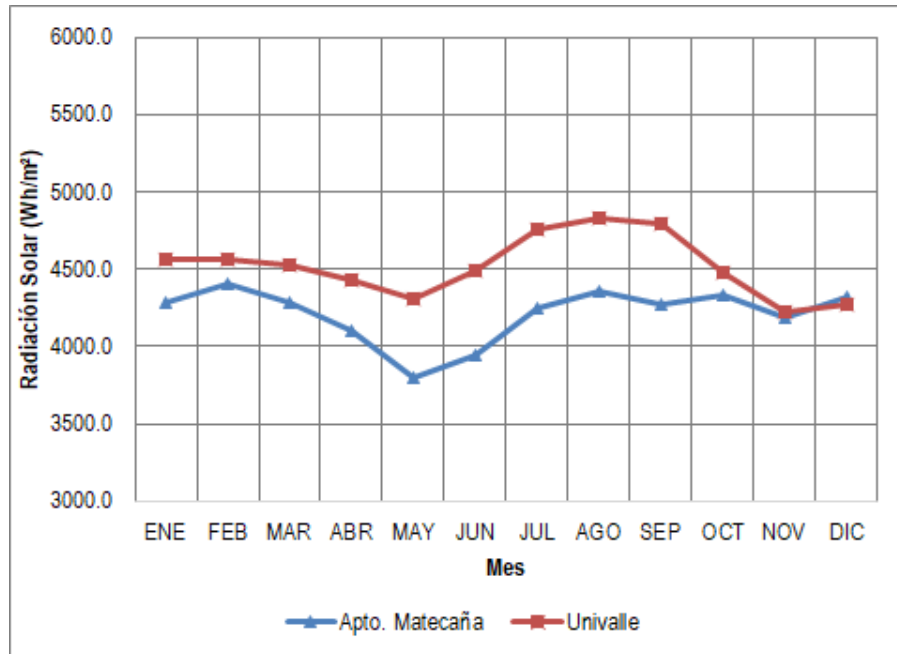


Figura 103. Promedio de radiación solar diaria acumulada (Wh/m<sup>2</sup>) registrada en las estaciones cercanas al área de influencia.

- Univalle

Para la estación Univalle se reportaron registros del promedio horario mensual de la radiación global media (Wh/m<sup>2</sup>), los cuales se pueden observar en la Tabla 98, en dichos registros se puede observar que entre las 11:00 am y las 12:00 pm se presenta el máximo valor de radiación.

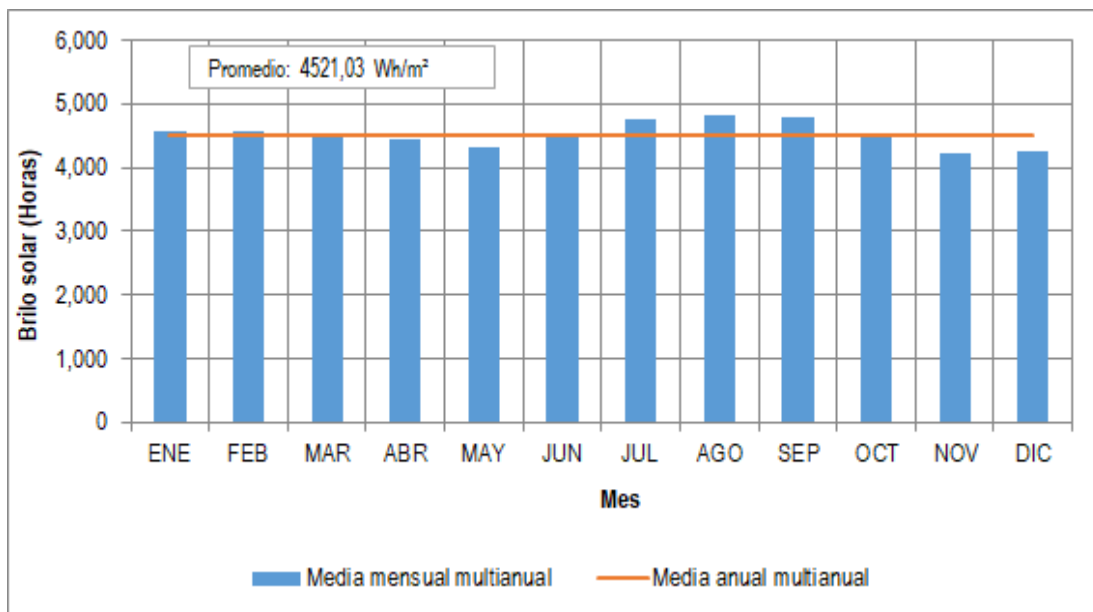
Tabla 98. Promedio horario mensual de la radiación global media (Wh/m<sup>2</sup>)

PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m2)													
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
0-1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2
1-2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3
2-3	0,5	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
3-4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
4-5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
5-6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,7	0,7	0,5	0,4	0,8	1,6	1,2	0,6	0,7

PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m <sup>2</sup> )													
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
6-7	19,0	17,3	23,9	32,5	40,4	37,3	31,9	32,0	43,4	51,0	42,0	28,9	33,3
7-8	108,9	101,5	114,9	136,6	141,1	149,7	145,1	151,5	166,7	174,9	150,1	129,7	139,2
8-9	262,8	250,9	268,7	302,6	288,0	311,5	312,2	318,1	363,0	347,3	324,4	287,3	303,1
9-10	470,0	443,0	459,3	478,3	466,7	489,0	494,1	508,2	558,9	534,7	494,8	474,2	489,3
10-11	630,9	628,7	625,5	619,3	607,3	615,1	636,4	658,8	701,2	655,3	607,0	614,9	633,4
11-12	707,3	687,3	706,9	682,9	655,6	658,8	693,9	706,4	748,2	688,0	647,2	662,2	687,1
12-13	690,2	697,1	690,8	672,7	643,9	640,5	697,2	698,3	708,3	667,5	620,8	658,2	673,8
13-14	608,4	634,4	602,1	584,8	571,0	570,0	626,8	642,7	568,0	555,6	542,4	548,0	587,9
14-15	479,0	498,4	463,0	437,9	431,0	451,1	477,9	495,2	434,9	403,7	395,3	409,7	448,1
15-16	349,5	342,3	332,5	293,9	276,7	326,5	352,0	338,4	298,7	257,3	259,1	283,5	309,2
16-17	190,5	201,2	181,7	151,1	149,5	181,2	219,3	212,8	162,8	116,1	120,2	141,7	169,0
17-18	50,5	59,5	54,3	42,8	40,7	55,9	73,2	65,5	39,7	20,9	20,2	28,5	46,0
18-19	1,2	2,5	2,0	0,6	0,5	1,4	2,4	1,6	0,3	0,2	0,1	0,2	1,1
19-20	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
20-21	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
21-22	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
22-23	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
23-0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Acumulada diaria</b>	<b>4568,8</b>	<b>4564,6</b>	<b>4526,2</b>	<b>4436,4</b>	<b>4313,3</b>	<b>4488,6</b>	<b>4762,9</b>	<b>4829,9</b>	<b>4794,9</b>	<b>4474,3</b>	<b>4224,7</b>	<b>4267,7</b>	

Fuente: Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia, IDEAM.

En la se Figura 104 presenta el registro promedio mensual de radiación solar diaria acumulada (Wh/m<sup>2</sup>) en la estación Univalle, el cual varía entre 4829,90 y 4224,70, el mayor registro se da en el mes de agosto, y la estación tiene un promedio de radiación solar diaria acumulada 4521,03 Wh/m<sup>2</sup>.

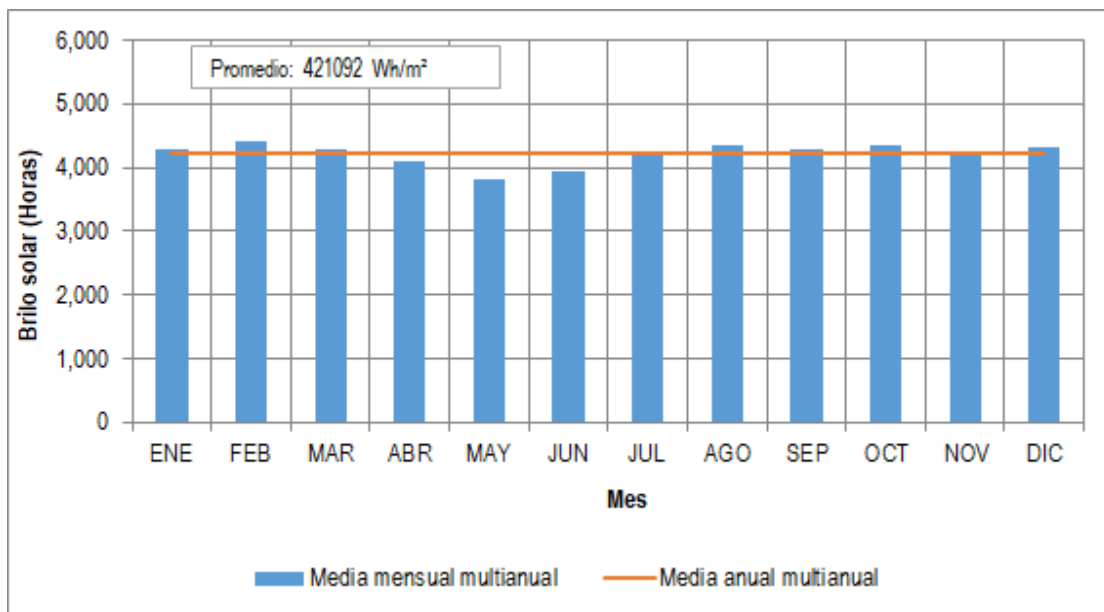


Fuente: Tomado y adaptado de atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia, IDEAM.

Figura 104. Promedio mensual de radiación solar diaria acumulada (Wh/m²) estación Univalle.

- **Aeropuerto Matecaña**

En la Figura 105 se presenta el registro promedio mensual de radiación solar diaria acumulada (Wh/m²) en la estación Aeropuerto Matecaña, el cual varía entre 4406,30 y 3805,10, el mayor registro se da en el mes de agosto, y la estación tiene un promedio de radiación solar diaria acumulada 4210,92 horas.



Fuente: Tomada y adaptada de atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia, IDEAM.

Figura 105. Promedio mensual de radiación solar diaria acumulada (Wh/m²) estación Apto. Matecaña

#### 5.1.11.1.2.7. Brillo solar

Se analizó la variación mensual del brillo solar registrado en las estaciones Apto. Bonilla y Apto Farfan. La estación Apto. Farfan registra el mayor número de horas de brillo solar en un periodo de datos registrados entre 1980 y 2019, mientras que la estación Apto. Bonilla presenta una menor cantidad de vacíos entre el periodo de 1994-2019. El promedio de horas de brillo solar mensuales registradas para cada estación se observan en la Tabla 99.

Tabla 99. Horas de brillo solar registradas en las estaciones analizadas.

Estación	Apto. A. Bonilla	Apto. Farfan
Periodo	1994-2019	1980-2019
ENE	177	188
FEB	161	161
MAR	157	153

Estación	Apto. A. Bonilla	Apto. Farfan
ABR	147	132
MAY	142	136
JUN	148	151
JUL	177	183
AGO	189	188
SEP	165	154
OCT	159	144
NOV	146	149
DIC	161	168

Los meses con mayor brillo solar corresponden a julio y agosto y los meses en que se registraron menos horas de brillo solar fueron abril y mayo. Como se observa en la Figura 106, la estación Aeropuerto Alfonso Bonilla y Aeropuerto Farfan, presentan una distribución temporal similar.

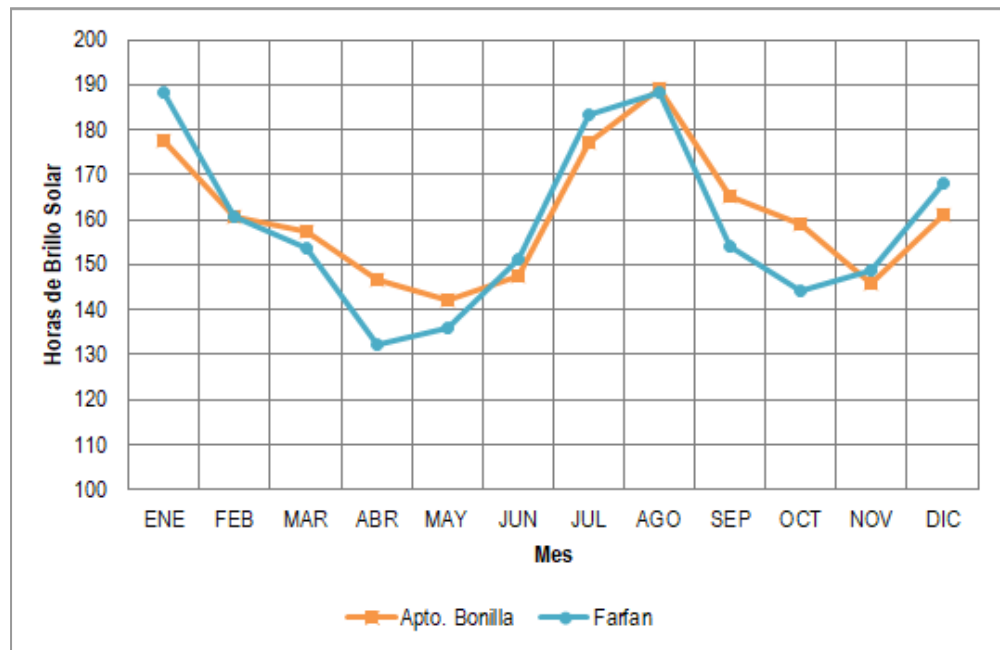


Figura 106. Horas de brillo solar mensuales registradas

- **Aeropuerto Alfonso Bonilla**

En la Figura 107 se presenta el registro promedio diario de horas de brillo solar en la estación Aeropuerto Alfonso Bonilla, el cual varía entre 142,19 y 189,18, el mayor registro se da en el mes de agosto, y la estación tiene un promedio de horas de brillo solar de 160,77 horas.

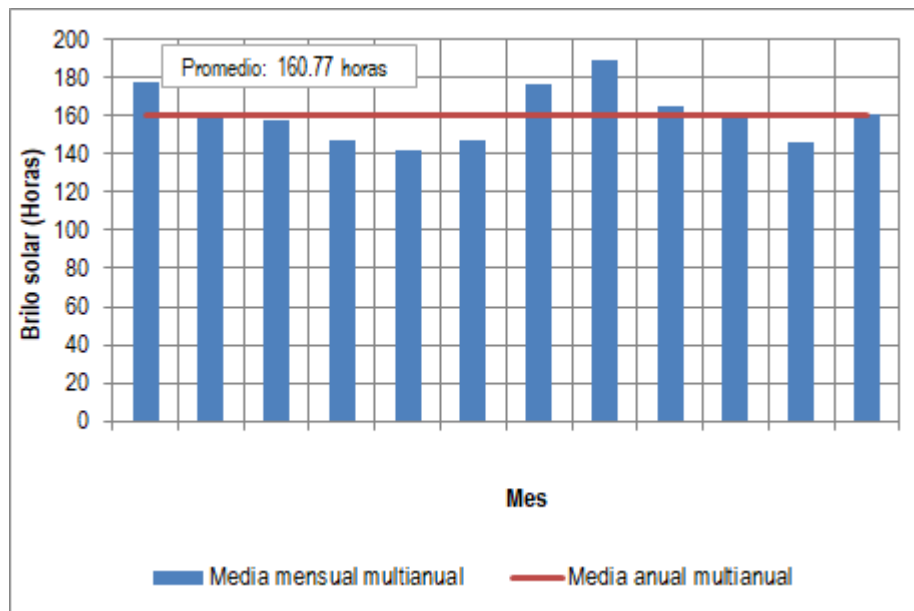


Figura 107. Promedio de horas diarias de brillo solar en la estación Aeropuerto Bonilla.

- **Aeropuerto Farfan**

En la Figura 108 se presenta el registro promedio diario de horas de brillo solar en la estación Aeropuerto Farfán, el cual varía entre 132,39 y 188,17, el mayor registro se da en el mes de agosto, y la estación tiene un promedio de horas de brillo solar de 159,05 horas.



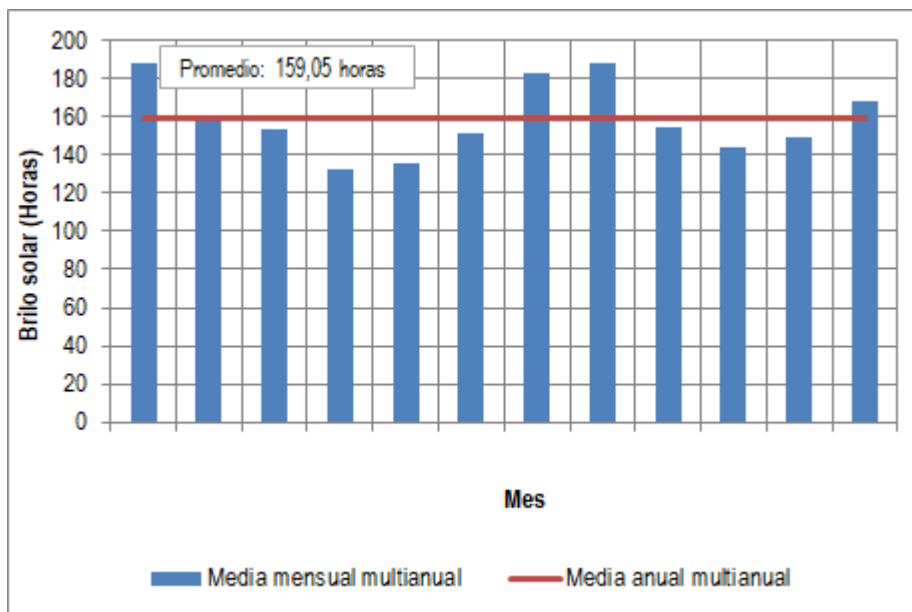


Figura 108. Promedio de horas diarias de brillo solar en la estación Aeropuerto Farfán.

#### 5.1.11.1.2.8. Evaporación

Para caracterizar la evaporación se cuenta con información en la estación Centro Administrativo La Unión, Palmira ICA y San Antonio Quinta. De acuerdo con los registros, el valor promedio de evaporación total mensual varía entre 111,4 mm y 147,9 mm. Como se muestra en la Figura 109 los valores de evaporación media máxima se presentan en los meses de julio y agosto. En la Tabla 100, se presentan los valores de evaporación media en cada estación.

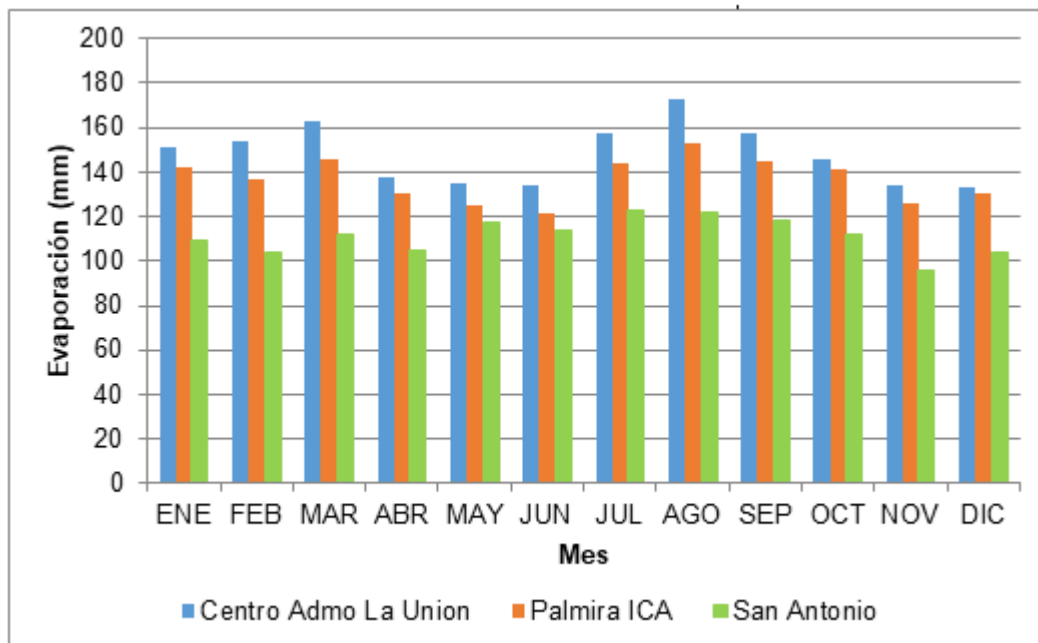


Figura 109. Variabilidad de la evaporación media mensual multianual en las estaciones analizadas.

Tabla 100. Evaporación media mensual multianual en las estaciones analizadas.

Periodo	Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
1983-2019	Centro Admo. La Unión	151,5	154,0	162,6	137,7	134,7	134,0	157,9	172,6	157,1	145,9	134,2	133,1	147,9
1983-2019	Palmira ICA	142,4	136,5	145,9	130,9	125,0	121,3	144,2	152,9	145,0	141,0	125,6	130,7	136,8
1985-2019	San Antonio Quinta	109,3	104,1	112,3	104,4	117,5	113,7	123,0	121,9	118,6	112,3	95,6	104,1	111,4

#### 5.1.11.1.2.9. Evapotranspiración

Para determinar el comportamiento de la evapotranspiración potencial o la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación que se desarrolla en óptimas condiciones, se calculó la Evapotranspiración Potencial mediante el método de Thornthwaite y de Tanque Evaporímetro propuesto por la FAO.

Para este análisis, se utilizaron los registros de la estación Centro Administrativo La Unión instalada a una elevación de 909 msnm y la estación Palmira ICA a una elevación de 990 msnm. La estación Palmira ICA cuenta con los registros de evaporación, velocidad del viento, humedad relativa y temperatura necesarios para aplicar las metodologías mencionada, mientras que la estación Centro Administrativo La Unión solo cuenta con registros de evaporación y velocidad del viento, por lo tanto, se utilizaron los registros de temperatura media de la estación La Bohemia y los registros de humedad relativa de la estación Aeropuerto Farfán.

- Metodología de Thornthwaite

Relaciona la evapotranspiración potencial con la temperatura media mensual multianual, y realiza una corrección en función de la duración astronómica del día dependiendo de la latitud y del número de días de cada mes, los resultados se presentan en la Tabla 101 y Tabla 102.

A continuación, se presenta el procedimiento para el cálculo:

- Se calcula el índice de calor mensual ( $i$ ) a partir de la temperatura media mensual de acuerdo con la Ecuación 2.

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$$

Fuente: Monsalve, 1999.

Ecuación 2. Índice de calor.

Donde:

$i$  es el índice de calor mensual

$T$  es la temperatura media mensual en °C

- Se calcula el índice de calor anual ( $I$ ) como la suma de los 12 valores de ( $i$ ).
- Se calcula la ETP mensual sin corregir mediante la Ecuación 3.

$$ETP_{sin\ corregir} = 16 \left(\frac{10T}{I}\right)^a$$

Fuente: Monsalve, 1995.

Ecuación 3. Evapotranspiración potencial sin corregir.

Donde:

ETP sin corregir es la evapotranspiración mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol.

T es la temperatura media mensual en °C

I es el índice de calor anual

El coeficiente *a* se calcula mediante la Ecuación 4.

$$a = 6,75E - 07 * I^3 - 7,71E - 05 * I^2 + 1,79E - 02 * I + 0,49$$

Fuente: Monsalve, 1995.

Ecuación 4. Coeficiente *a*.

Donde:

I es el índice de calor anual

Se realizó la corrección para el número de días del mes (d) y número de horas de sol (N) como se presenta en la Ecuación 5.

$$ETP = ETP_{sin\ corregir} \times \frac{N}{12} \times \frac{d}{30}$$

Fuente: Monsalve, 1995.

Ecuación 5. Evapotranspiración potencial corregida.

Donde:

ETP sin corregir es la evapotranspiración mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol.

ETP es la evapotranspiración mensual en mm/mes corregida

N es el número de días en el mes

d es el número de horas de sol en el día

Tabla 101. Evapotranspiración potencial estación Centro Administrativo La Unión.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
Temperatura	24,7	24,7	24,7	24,3	24,3	24,4	24,8	25,0	24,7	24,0	23,9	24,2	
Índice de calor	11,2	11,2	11,2	11,0	10,9	11,0	11,3	11,4	11,2	10,8	10,7	10,9	
Coeficiente a	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	
ETP	108,4	108,9	108,4	103,6	103,1	105,1	109,9	113,3	108,7	100,1	98,7	102,7	1270,9

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
n° días mes	31,0	28,3	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	
n° horas luz	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	
ETP corregida	110,2	101,9	112,0	104,5	108,3	106,9	115,4	118,0	108,7	102,6	97,1	104,3	1289,9

Tabla 102. Evapotranspiración potencial estación Palmira ICA.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
Temperatura	23,8	24,1	23,9	23,8	23,8	23,8	24,1	24,3	24,1	23,6	23,5	23,6	
Índice de calor	10,6	10,8	10,7	10,6	10,6	10,6	10,8	11,0	10,8	10,5	10,4	10,5	
Coefficiente a	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	
ETP	99,1	102,1	100,2	99,2	98,9	98,6	102,8	105,2	103,0	97,2	95,1	96,8	1198,2
n° días mes	31,0	28,3	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	
n° horas luz	11,9	11,5	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	
ETP corregida	101,2	91,9	103,5	99,6	103,5	99,8	107,5	109,6	103,0	100,0	93,9	98,8	1212,3

- Metodología del tanque evaporímetro

Utiliza la evaporación registrada en el tanque evaporímetro y la afecta por un coeficiente  $K_p$  que depende de la velocidad del viento, la distancia al cultivo y la humedad relativa. El coeficiente del tanque evaporímetro se definió bajo las ecuaciones presentadas en la Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (FAO, 2006). Esta metodología está definida bajo la Ecuación 6.

$$ET_o = K_p * E_{pan}$$

Fuente: FAO, 2006.

Ecuación 6. Evapotranspiración de referencia.

Donde:

ET<sub>o</sub> es la evapotranspiración de referencia en mm/mes

K<sub>p</sub> es el coeficiente del tanque evaporímetro

E<sub>pan</sub> es la evaporación del tanque evaporímetro mm/mes

$$K_p = 0,108 - 0,0286 u_2 + 0,0422 \ln(\text{BORDE}) + 0,1434 \ln(\text{HR}_{\text{media}}) - 0,000631[\ln(\text{BORDURA})]^2 \ln(\text{HR}_{\text{media}})$$

Fuente: FAO, 2006.

Ecuación 7. Coeficiente de campo evaporímetro.

Donde:

$K_p$  es el coeficiente del tanque evaporímetro

$u$  es la velocidad media del viento en m/s y debe estar entre 1,0 m/s y 8,0 m/s.

Borde es la distancia al borde de la superficie identificada (Predominancia de pasto) el cual debe estar entre 1 m y 1000 m.

$HR_{\text{media}}$  es la humedad relativa media expresada en porcentaje.

Para el área de análisis, se tuvieron en cuenta los registros de la estación Palmira ICA la cual indica que la humedad relativa es de 74,6% y la velocidad del viento de 1,5 m/s y los registros de humedad relativa de la estación Aeropuerto Farfan (78,0%) y la velocidad registrada en la estación Centro Administrativo La Unión (1,53 m/s). Se supone que el tanque se localiza sobre una superficie cultivada y a una distancia de 1 m, siendo el coeficiente de 0,7.

La evaporación mensual registrada en la estación Centro Administrativo La Unión y Palmira ICA se multiplicó por el coeficiente del tanque evaporímetro para obtener los valores de evapotranspiración potencial mensual. Los resultados se presentan en la Tabla 103 y Tabla 104.

Tabla 103. Evapotranspiración potencial en mm Centro Administrativo La Unión.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
E (mm)	151,5	154,0	162,6	137,7	134,7	134,0	157,8	172,6	157,1	145,9	134,2	133,0	1775,1
ETP (mm)	106,1	107,8	113,8	96,4	94,3	93,8	110,5	120,8	109,9	102,1	93,9	93,1	1242,6

Tabla 104. Evapotranspiración potencial en mm Palmira ICA.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
E (mm)	142,4	136,5	145,9	130,9	125,0	121,2	144,2	152,9	145,0	141,0	125,6	130,7	1641,3
ETP (mm)	97,3	93,2	99,6	89,4	85,3	82,8	98,4	104,4	99,0	96,3	85,8	89,3	1120,8

En la Tabla 105 se presentan los resultados de la evapotranspiración potencial estimada por los dos métodos mencionados para las dos estaciones.

Tabla 105. Resultados obtenidos de evapotranspiración potencial en mm.

<b>Estación</b>	<b>Centro Admo. La Unión</b>	<b>Palmira ICA</b>
Thornthwaite	1289,9	1212,3
Tanque evaporímetro	1242,6	1120,8

#### 5.1.11.1.2.10. Nubosidad

Se analizó la variación de nubosidad registrada en las estaciones Apto. Bonilla, Apto. Matecaña, Palmira ICA y San Antonio, para el periodo común comprendido entre 1998 y 2019. El promedio mensual de octas registradas para cada una de las estaciones se presenta en la Tabla 106.

Tabla 106. Nubosidad (Octas) registrada en las estaciones analizadas.

<b>Estación</b>	<b>Apto. Bonilla</b>	<b>Apto. Matecaña</b>	<b>Palmira ICA</b>	<b>San Antonio</b>
ENE	2,45	2,29	2,85	1,83
FEB	2,47	2,33	2,98	1,84
MAR	2,59	2,50	2,97	1,89
ABR	2,59	2,51	3,00	1,86
MAY	2,62	2,54	2,98	1,85
JUN	2,54	2,44	2,97	1,73
JUL	2,49	2,35	2,89	1,73
AGO	2,43	2,38	2,87	1,66
SEP	2,49	2,41	2,97	1,70
OCT	2,57	2,47	2,98	1,90
NOV	2,59	2,47	2,98	2,02
DIC	2,47	2,42	3,00	1,91
ANUAL	2,53	2,43	2,95	1,83

Los meses con mayor nubosidad corresponden al periodo de marzo a mayo y los meses en que se registró menos nubosidad son julio y agosto. Como se observa en la Figura 110, las estaciones analizadas presentan un comportamiento similar.



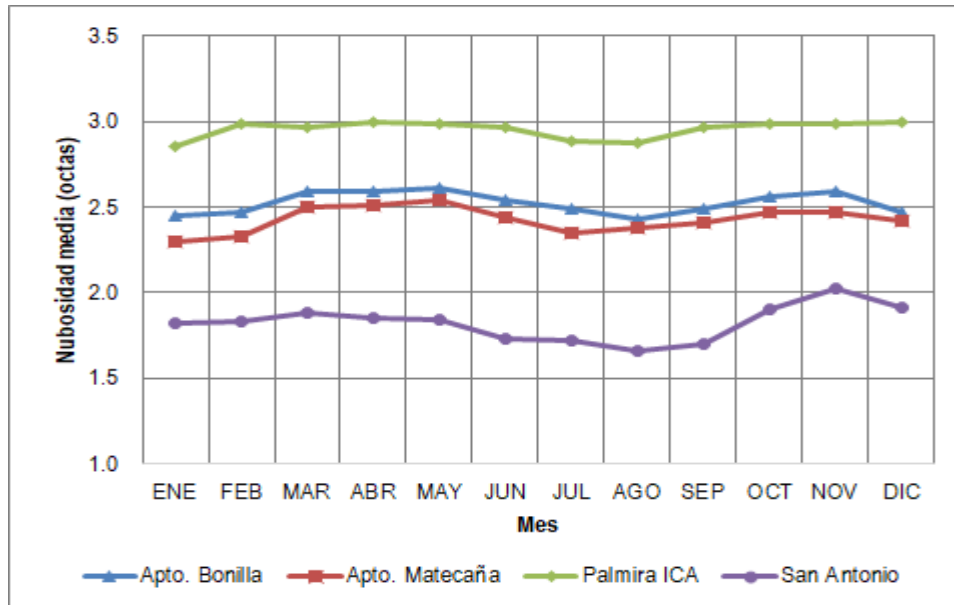


Figura 110. Octas de nubosidad promedio mensuales registrada en las estaciones cercanas al área de influencia

Teniendo en cuenta que la nubosidad se mide en octas de cielo cubierto, se realizó una clasificación para las cuatro estaciones analizadas según los valores que se observan en la Tabla 107.

Tabla 107. Clasificación de la nubosidad

Nubosidad	Clasificación
No hay nubes	Cielo despejado
1 octa	
2 octas	
3 octas	Cielo parcialmente cubierto
4 octas	
5 octas	
6 octas	
7 octas	Cielo cubierto
8 octas	
> 8 octas	Cielo oculto

Fuente: IDEAM. (2001).

Los valores registrados en las cuatro estaciones varían entre 1,66 y 3,00 octas, lo que clasifica la nubosidad entre cielo despejado y cielo parcialmente nublado.

- Aeropuerto Alfonso Bonilla

En la Figura 111 se presenta el registro promedio de la nubosidad en la estación Aeropuerto Alfonso Bonilla, el cual varía entre 2,43 y 2,62 octas, el mayor registro se da en el mes de mayo, y la estación tiene un promedio de nubosidad de 2,53 octas.

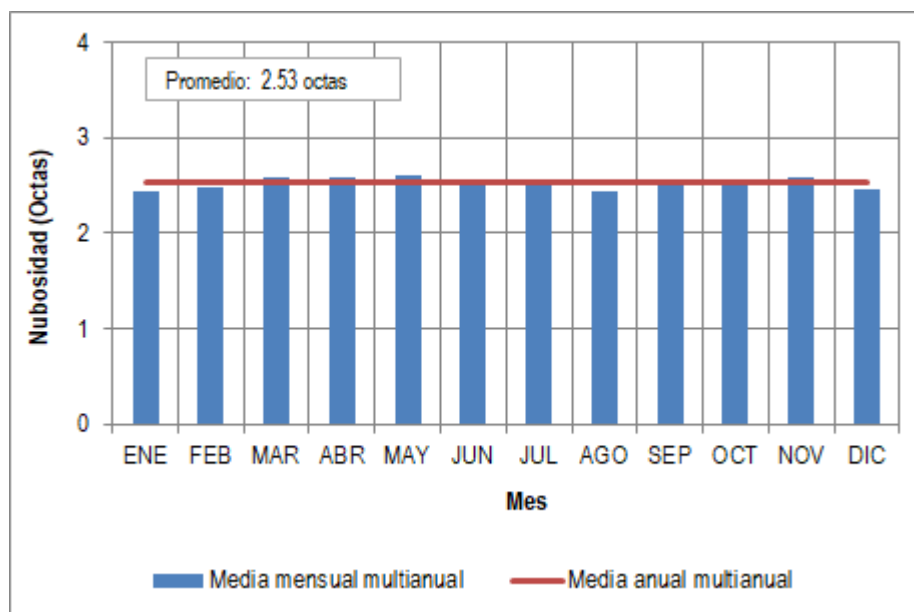


Figura 111. Nubosidad promedio mensual estación Aeropuerto Alfonso Bonilla.

- Aeropuerto Matecaña

En la Figura 112 se presenta el registro promedio de la nubosidad en la estación Aeropuerto Matecaña, el cual varía entre 2,29 y 2,54 octas, el mayor registro se da en el mes de mayo, y la estación tiene un promedio de nubosidad de 2,43 octas.

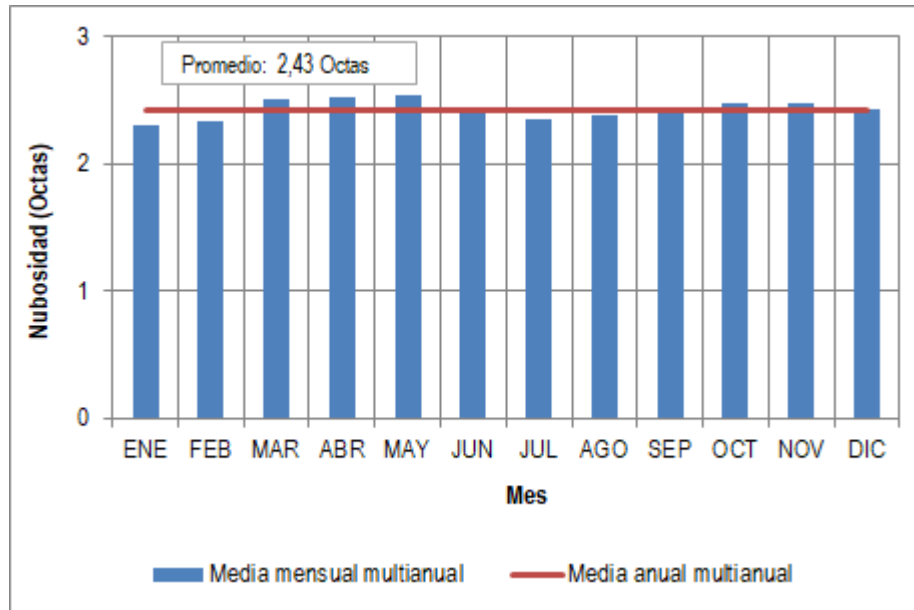


Figura 112. Nubosidad promedio mensual estación Aeropuerto Matecaña.

- Palmira ICA

En la Figura 113 se presenta el registro promedio de la nubosidad en la estación Palmira ICA, el cual varía entre 2,85 y 3,00 octas, el mayor registro se da en el mes de mayo, y la estación tiene un promedio de nubosidad de 2,95 octas.

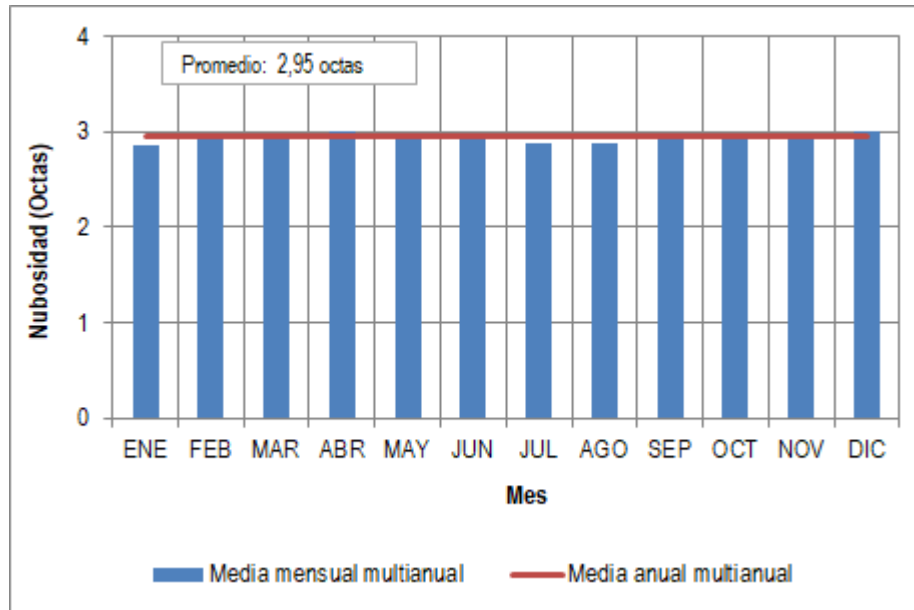


Figura 113. Nubosidad promedio mensual estación Palmira ICA.

- San Antonio

En la Figura 114 se presenta el registro promedio de la nubosidad en la estación San Antonio, el cual varía entre 1,66 y 2,02 octas, el mayor registro se da en el mes de mayo, y la estación tiene un promedio de nubosidad de 1,83 octas.

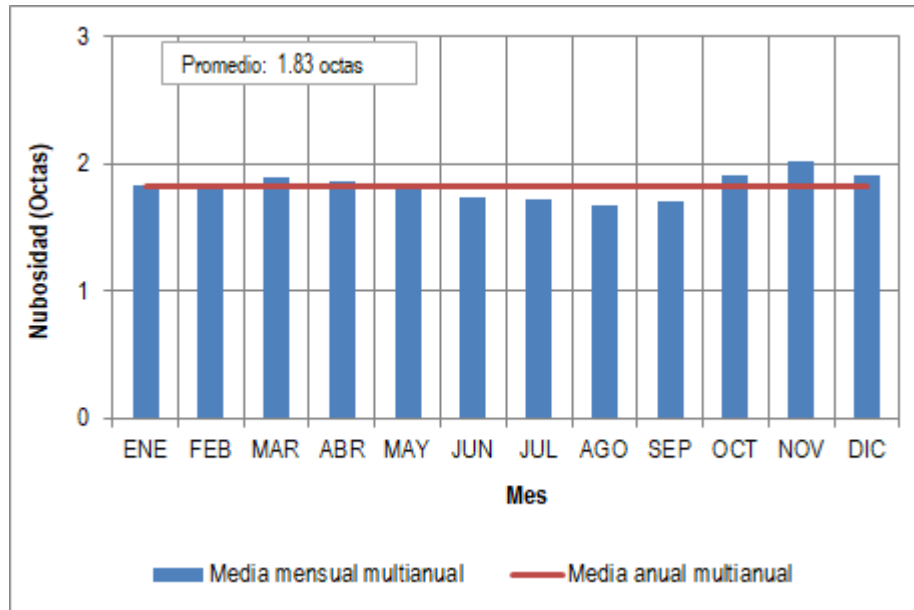


Figura 114. Nubosidad promedio mensual estación San Antonio.

#### 5.1.11.1.3. Zonificación climática

Para la caracterización de la zonificación climática en el área de influencia atmosférica, se utilizó la información disponible en el Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC, el cual cuenta con información espacializada en formato shape de la clasificación climática para el territorio nacional según el sistema de Clasificación Climática de Caldas-Lang elaborada por el IDEAM en el año 2014.

La clasificación establecida por Caldas y aplicada al trópico americano, se basó sólo en los valores de temperatura, pero con respecto a la variación altitudinal y no latitudinal (Tabla 108). Por su parte, Lang fijó los límites de su clasificación teniendo en cuenta una sencilla relación entre la precipitación y la temperatura (Tabla 109). Ninguno de los dos sistemas, por sí solos, tiene aplicabilidad o funcionalidad aceptable, por lo cual Schaufelberger en 1962 propuso su unificación e implementó el sistema de clasificación climática CALDAS-LANG que, por lo mismo, utiliza la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación que muestra la humedad<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT. Clasificaciones Climáticas. Bogotá, 1991 p. 4.

Tabla 108. Resumen climático del modelo de CALDAS.

Piso térmico	Rango de altura (m)	Temperatura (°C)	Variación de altitud por condiciones locales
Cálido	0 a 1000	$T \geq 24$	Límite superior 400
Templado	1001 a 2000	$24 > T \geq 17,5$	Límite superior 500 Límite inferior 500
Frío	2001 a 3000	$17,5 > T \geq 12$	Límite superior 400 Límite inferior 400
Páramo Bajo	3200 a 3700	$12 > T$	-
Páramo Alto	3701 a 4200	$T > 7$	-

Fuente: Clasificaciones Climáticas - HIMAT.

Tabla 109. Clases de clima según LANG.

Coefficiente P/T	Clase de clima
0 a 20,0	Desértico
20,1 a 40,0	Árido
40,1 a 60,0	Semiárido
60,1 a 100,0	Semihúmedo
100,1 a 160,0	Húmedo
Mayor a 160,0	Superhúmedo

Fuente: Clasificaciones Climáticas - HIMAT.

En la Tabla 110 se presentan los tipos de clima según el sistema de CALDAS-LANG.

Tabla 110. Tipos climáticos sistema CALDAS - LANG.

Cálido superhúmedo	Cálido húmedo	Cálido semihúmedo	Cálido semiárido	Cálido árido	Cálido desértico
Templado superhúmedo	Templado húmedo	Templado semihúmedo	Templado semiárido	Templado árido	Templado desértico
Frío superhúmedo	Frío húmedo	Frío semihúmedo	Frío semiárido	Frío árido	Frío desértico
Páramo superhúmedo	Páramo húmedo	Páramo semihúmedo	Páramo semiárido	Páramo árido	Páramo desértico
Nieves perpetuas					

Fuente: Clasificaciones Climáticas - HIMAT.

En el área de influencia abiótica, se identificaron los climas: cálido semiárido, templado semiárido y templado semihúmedo. El 80,32% del área de influencia se encuentra en la categoría templado semihúmedo seguido por la categoría cálido semiárido con el 12,48%.

Tabla 111. Tipos climáticos presentes en el área de influencia abiótica.

<b>Tipo climático</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje %</b>
Cálido Semiárido	156,77	12,48
Templado Semiárido	90,52	7,21
Templado Semihúmedo	1008,95	80,32

El rango altitudinal de los dos pisos térmicos identificados (Cálido y templado) varía entre 0 y 2000 msnm, siendo la temperatura mayor a 17,5°C y el rango de precipitación anual entre 1000 mm y 2000 mm. Desde la Figura 115 hasta la Figura 117 se presenta la zonificación climática para tres tramos del área de influencia y en el anexo D9.3. Zonificación climática se presentan las figuras para toda el área de influencia.



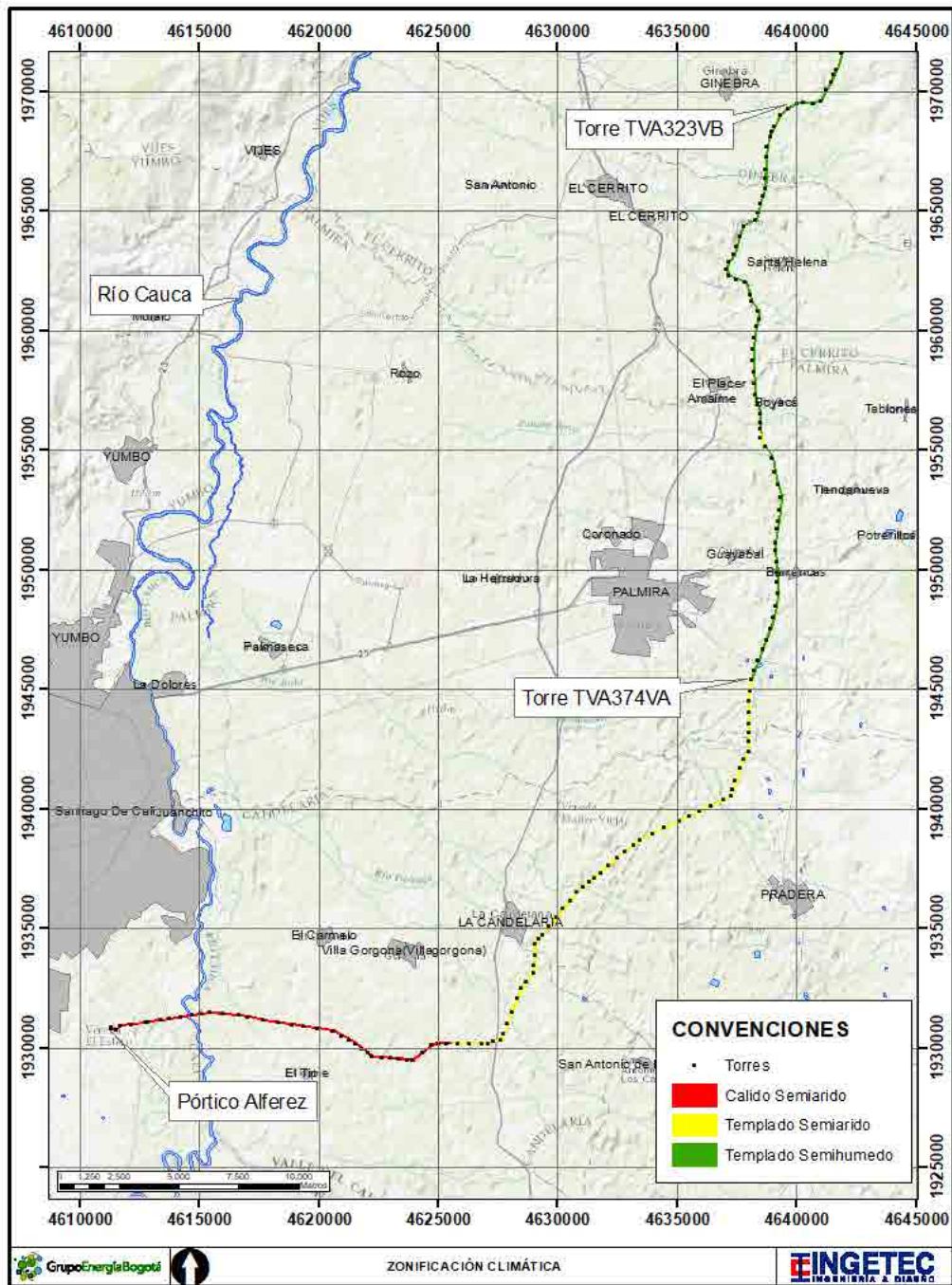


Figura 115. Zonificación climática en el área de influencia abiótica. Pórtico Alferez a torre TVA323VB.

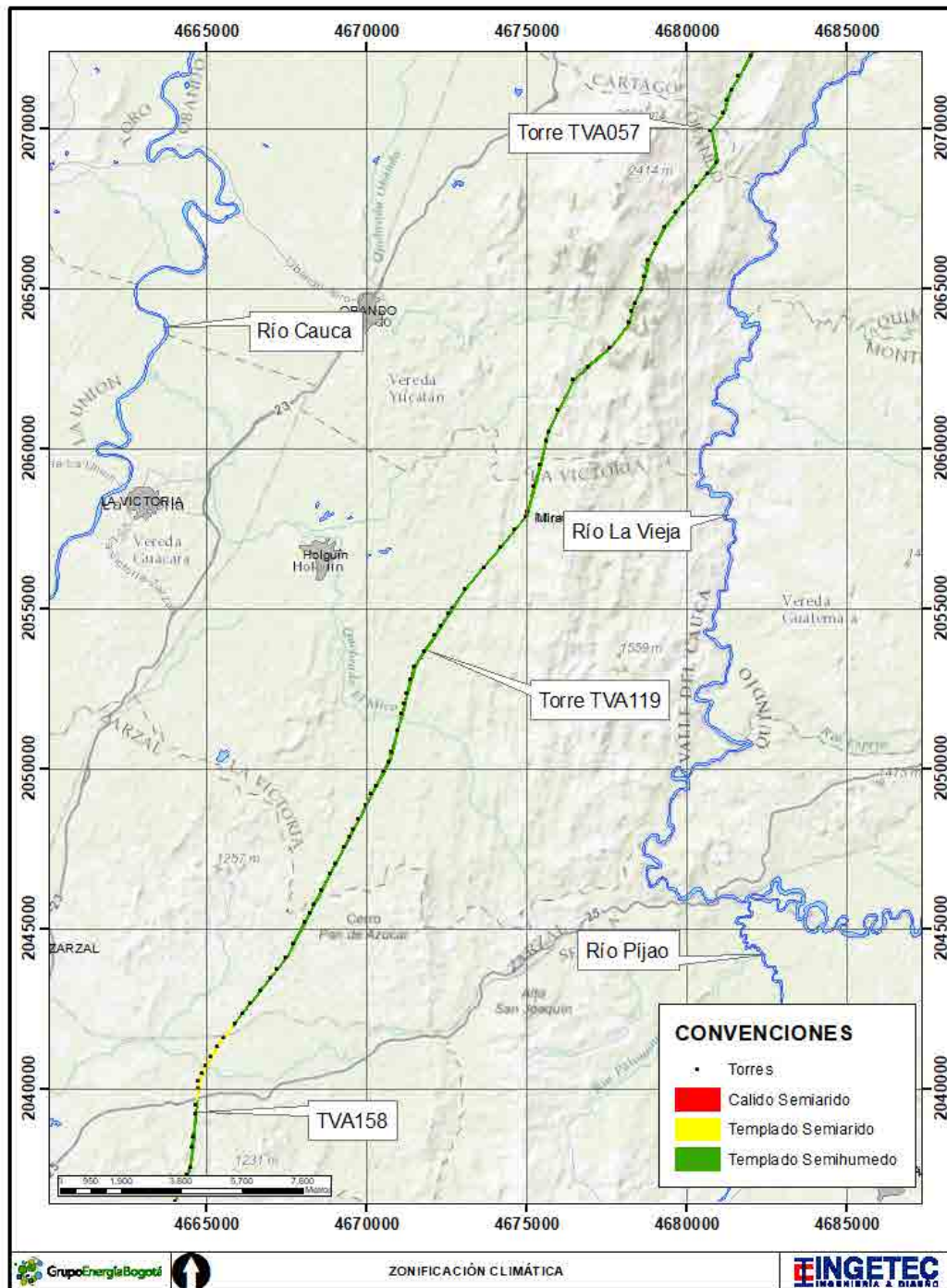


Figura 116. Zonificación climática en el área de influencia abiótica. Torre TVA158 a torre TVA057.



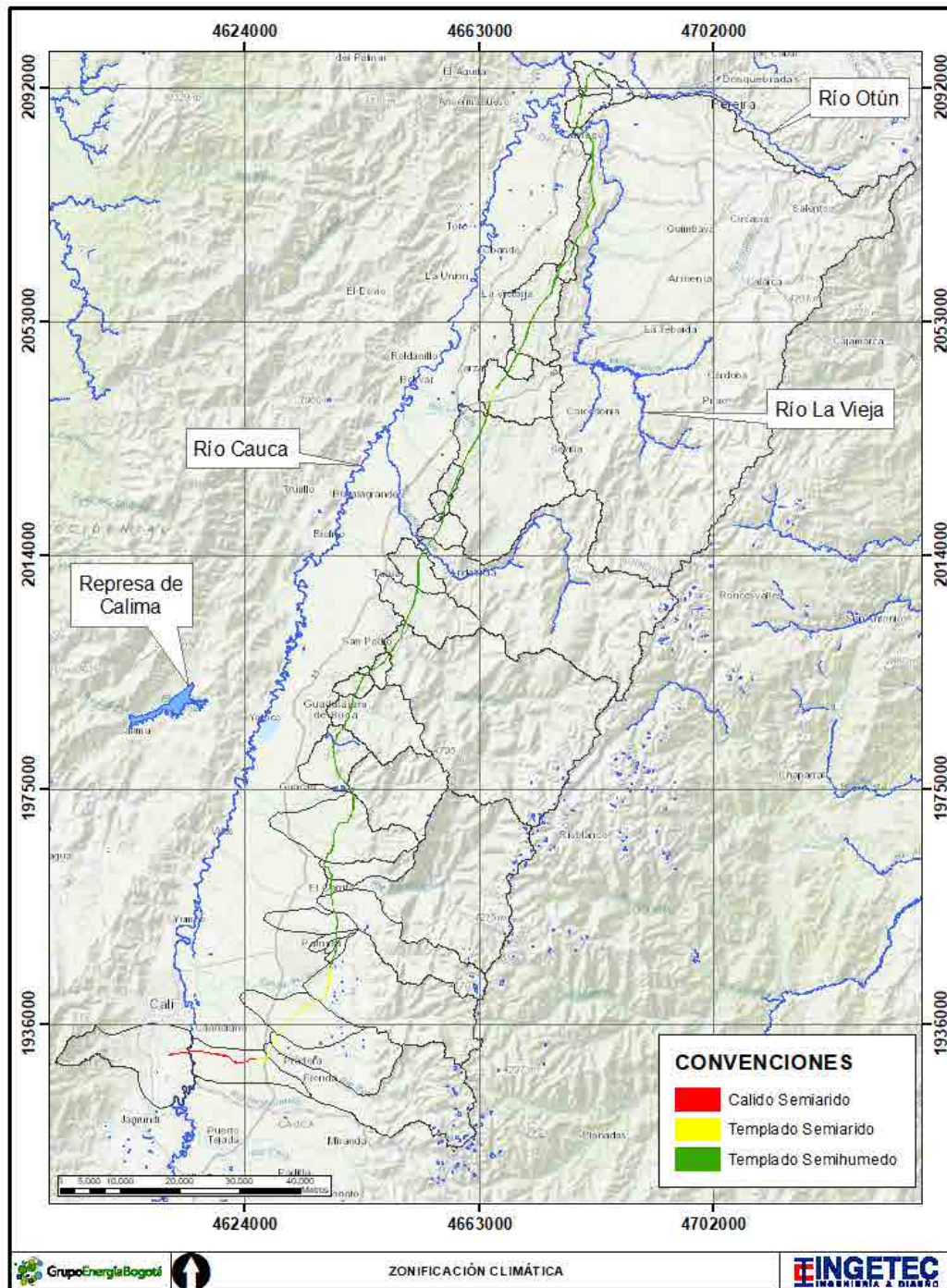


Figura 117. Zonificación climática en el área de influencia abiótica. Pórtico Virginia a pórtico Alfárez.

#### 5.1.11.2. Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas

Un inventario de emisiones es la base de datos de las fuentes de emisiones atmosféricas, las cuales tienen asociadas diferentes variables y características que las clasifican. Esta herramienta permite identificar, georreferenciar, clasificar, consolidar, cuantificar y caracterizar las emisiones atmosféricas existentes en un área de estudio para la toma de decisiones en procesos de regulación, modelación o gestión de calidad del aire.

De acuerdo con los requerimientos de los Términos de Referencia del Proyecto, el inventario debe contener los trazados lineales y fuentes móviles en el área de influencia, así como los potenciales receptores sensibles de interés, que puedan ser impactados por la construcción del Proyecto.

Como información secundaria, la identificación de fuentes de emisiones atmosféricas se construyó de inventarios formales de fuentes de emisiones existentes en el área de influencia. Estos fueron consultados ante la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER) y el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) de Santiago de Cali. Otra fuente de información utilizada fue el inventario de fuentes de emisiones atmosféricas, el cual fue realizado por GEB en el 2018 en la misma área de estudio.

Las fuentes lineales y móviles fueron caracterizadas con el objeto de conocer la dinámica vehicular (flujo, clasificación, fluctuación, usuarios) del territorio. La caracterización se realizó por medio de aforos vehiculares en los principales accesos establecidos a los sitios de torre del Proyecto. Los resultados de los aforos vehiculares fueron procesados utilizando modelos de emisiones móviles, con el objeto de conocer los niveles de contaminación en el área de influencia.

Como información primaria del inventario, se realizó un recorrido por los accesos y el área de servidumbre, comprendiendo el área de influencia preliminar del componente atmosférico. En este se georreferenciaron las fuentes fijas dispersas y puntuales del territorio y que potencialmente generan contaminación atmosférica. Las fuentes lineales se caracterizaron por medio de aforos vehiculares utilizando un conteo manual en día hábil y día festivo por 24 horas, siguiendo los lineamientos de los términos de referencia del proyecto.

#### 5.1.11.2.1. Inventario de fuentes de emisión atmosférica información secundaria

En primera instancia, se realizó la consulta ante entidades y autoridades del territorio sobre los documentos de ordenamiento territorial y gestión de recursos, como lo son los Planes de Ordenamiento Territorial (o esquemas o planes básicos correspondientes), Planes de Desarrollo y Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográficas. Las entidades consultadas fueron la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), la Corporación autónoma Regional de Risaralda (CARDER), el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) de Santiago de Cali y las alcaldías municipales de los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca.

Los documentos de planeación permiten determinar las principales actividades industriales y comerciales que emiten emisiones atmosféricas en los municipios objeto de estudio. Lo anterior son las bases para la estrategia de la identificación de fuentes de emisión en el recorrido en campo. De la consulta de los documentos de planeación, se identificó que el sector secundario y terciario son los principales sectores económicos del área de estudio. En el sector primario se resaltan los cultivos de caña panelera y azucarera, café, plátano, cacao, aguacate, banano, maíz, leguminosas, hortalizas y algunas frutas cítricas. También existe una fuerte dependencia de las actividades pecuarias, en especial la producción ganadera y porcina. En el sector terciario se resalta el transporte por vía terrestre, las actividades inmobiliarias y la prestación de servicios comerciales, mientras que en el sector secundario la actividad manufacturera es la principal actividad, asociada principalmente a la agroindustria de caña y café.

Lo anterior permite deducir una amplia gama de industrias y fuentes de emisión en el territorio, como lo son los trapiches de caña, ingenios azucareros, molienda y beneficio del café, el uso de cultivos transitorios, extensas áreas pecuarias y la prestación de servicios públicos. En la Tabla 112 se presenta, en resumen, las principales actividades económicas y las emisiones de contaminantes atmosféricos asociadas:

Tabla 112. Descripción de las principales fuentes de emisión de partículas y gases en el área de influencia

Tipo de Fuentes	Tipo de Emisor	Sector	Principales Contaminantes
Fuentes de área	Agropecuario	Agricultura tradicional: Cultivos de uva, café, plátano, maracuyá y naranja.	Agroquímicos (plaguicidas, insecticidas). Gases y Material Particulado, por las quemas a cielo abierto de tierras para apertura de campos.
		Pecuario.	Bioquímicos (gas metano).

Tipo de Fuentes	Tipo de Emisor	Sector	Principales Contaminantes
		Porcicultura.	Metano, amoníaco, dióxido de carbono y olores generados por la degradación biológica de las sustancias contenidas en las excretas).
		Avícola.	Olores, gases y material particulado por la quema de residuos generados por la operación de los galpones.
	Agroindustrial	Cultivos de caña de azúcar.	Agroquímicos (plaguicidas, insecticidas). Gases y material particulado, por quemas para apertura de campos.
	Antrópico	Quema de residuos sólidos.	Gases y material particulado, por las quemas a cielo abierto de residuos domésticos en áreas rurales.
	Extracción de materiales	Cantera.	Material particulado principalmente por movimiento de suelo y gases por la operación de la maquinaria.
Fuentes fijas puntuales	Agroindustrial	Producción de alimento concentrado. Trapiches	Gases liberados por medio de chimeneas, durante el desarrollo de los diferentes procesos.
Fuentes móviles	Transporte terrestre y/o aéreo	Servicio público.	Gases generados por la quema de combustibles fósiles (gasolina y/o diésel), por la utilización de automóviles y vehículos, durante el transporte de insumos, materias primas, productos o personas. Adicionalmente para los cultivos se puede presentar emisión de gases durante el uso de las avionetas o drones de fumigación.
		Agricultura tradicional, pecuario, porcicultura y avícola.	
		Cultivos de caña de azúcar y sus derivados.	
		Canteras	
Fuentes lineales	Antrópico	Vial / fuentes móviles	Material particulado, por el levantamiento de suelo en vías destapadas al circular los vehículos por éstas. Gases generados por la combustión de diferentes tipos de vehículos.

Fuente: GEB. (2018).

Por otro lado, las autoridades ambientales competentes (CARDER y CVC) respondieron, mediante los oficios con radicado GEB-0574-04956-2020-S y 063-633932020 respectivamente, a la solicitud de información sobre inventario de fuentes de emisiones atmosféricas, estudios de calidad del aire y de modelación de contaminación atmosférica en el área de influencia del proyecto. Ninguna corporación ha realizado estudios de

modelación de contaminación atmosférica, pero sí cuentan con monitoreos de calidad del aire y con inventario de emisiones atmosféricas. A continuación, se presentan los resultados de la información consultada:

- **CARDER**

La CARDER realizó un estudio de síntesis ambiental en el informe Plan de Acción Vigencia 2016-2019<sup>4</sup>. En este informe, la corporación indica que en el departamento de Risaralda se han identificado al menos 126 fuentes fijas, de las cuales 45 cuentan con su respectivo permiso de emisiones atmosféricas, mientras que las 78 restantes no requieren permiso de emisiones, más si cuentan con un seguimiento de cumplimiento ambiental por parte de la autoridad.

De las fuentes identificadas en el estudio, la mayoría corresponde a tintorerías y lavanderías, seguido de canteras, ladrilleras y plantas de asfalto. Otras fuentes que vale la pena resaltar son los procesamientos de animales, las vidrieras y los crematorios. Los combustibles más usados en las fuentes fijas son el gas natural y combustibles maderables. En el informe no se especifica ubicación o cantidad de las fuentes de emisión.

Además del estudio entregado por la corporación, en el geoportal de la misma disponen información de libre consulta sobre monitoreo de calidad del aire y fuentes fijas del departamento. El geoportal permite consultar una descripción breve y una ubicación de referencia por cada fuente fija. De acuerdo con el trazado definido del proyecto, se identificaron 6 fuentes fijas cercanas, descritas en la Tabla 113 e ilustradas en la Figura 118:

Tabla 113. Fuentes fijas reportadas en el geoportal de CARDER

ID	Nombre	Actividad económica	Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único	
			Este	Norte
FE1	Ladrillera El Paraíso	Fabricación de materiales en arcilla para la construcción	4678668,27	2084696,76
FE2	Ladrillera La Esmeralda	Fabricación de materiales en arcilla para la construcción	4682265,5	2087780,26

<sup>4</sup> CARDER. Plan de Acción Vigencia 2016-2019 “Risaralda Biodiversa, Sostenible y en Paz”. 2015.



ID	Nombre	Actividad económica	Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único	
			Este	Norte
FE3	Sercofun Los Olivos	Cremaciones-Inhumaciones	4682986,22	2088544,15
FE4	Triturados y Concretos LTDA - Planta Zabaletas	Construcción de carreteras y vías férreas	4677634,91	2096238,28
FE5	SP INGENIEROS	Construcción de carreteras y vías férreas	4676307,53	2097070,55
FE6	CONALVIAS	Construcción de carreteras y vías férreas	4681904,67	2099472,31

Fuente: CARDER. (2017).

- CVC

Con respecto a la CVC, la corporación indicó que se realizaron estudios de inventarios de emisiones atmosféricas en los municipios de Buga, Cartago, Jamundí y Tuluá en el 2018. Estos estudios fueron realizados por el laboratorio K2 y la CVC con el propósito de actualizar el inventario de emisiones del departamento y los mapas de ruido de las principales cabeceras municipales<sup>5</sup>. A continuación, se relacionan los principales resultados y datos de cada inventario:

La economía del Municipio de Buga se basa en el comercio, la agricultura, la ganadería, el turismo y la industria. La fertilidad de sus suelos permite cultivar algodón, soya, maíz, millo, café, cebada, caña de azúcar, cebolla, plátano, frijol, papa, yuca, cacao, sorgo, hortalizas y frutas. El sector turístico está muy desarrollado y cuenta con buena infraestructura que acoge la gran afluencia de peregrinos a la centenaria Basílica donde se venera la imagen del Cristo Milagroso, además de los atractivos naturales, la arquitectura colonial, las ferias y fiestas y los eventos culturales. En la industria bugueña sobresalen la cristalería, la producción de concentrados para animales, aceite y grasa y café, y la producción avícola.

En total para buga se encuentran matriculados 288 establecimientos con tamaño grande, mediano, pequeño y microempresa con actividad productiva del sector manufacturero, donde se tiene 4 empresas grandes, 5 medianas y 11 pequeñas. Los sectores económicos que aportan contaminación atmosférica en el municipio son el sector de

<sup>5</sup> CVC. ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA Y LOS MAPAS DE RUIDO DE LOS MUNICIPIOS DE BUGA, TULUÁ, CARTAGO Y JAMUNDÍ. 2018.

alimentos y bebidas, crematorios, agroindustria, minerales no metálicos, papel y cartón y comercio de combustibles. En la siguiente tabla se presentan los resultados del inventario de emisiones por sector económico:

Tabla 114. Resultados inventario de emisiones municipio de Buga

Sector Productivo	CH <sub>4</sub> (ton/año)	N <sub>2</sub> O (ton/año)	PM (ton/año)	NO <sub>x</sub> (ton/año)	CO (ton/año)	SO <sub>x</sub> (ton/año)	COVs (ton/año)	CO <sub>2</sub> (ton/año)
Agroindustria	31,49	0,25	38,93	57,31	1.731,96	234,30	0,00	38.865,24
Alimentos y bebidas	30,22	3,38	155,38	1.157,95	1.964,56	8.899,19	0,20	41.606,51
Comercio combustibles	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,96	0,00
Crematorios	0,000728	0,000696	0,000024	0,029734	0,012653	0,000190	0,000470	37,957861
Minerales no metálicos	0,40	0,38	1,31	16,15	6,87	0,10	0,94	20.614,32
Otros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Papel y cartón	0,12	0,12	0,06	4,99	2,12	0,03	0,08	6.365,32
Residencial	0,14	0,13	0,46	5,67	2,41	0,04	0,33	7.236,70
<b>TOTAL</b>	<b>62,37</b>	<b>4,26</b>	<b>196,14</b>	<b>1.242,09</b>	<b>3.707,94</b>	<b>9.133,65</b>	<b>23,52</b>	<b>114.726,06</b>

Fuente: CVC. (2018).

Como se puede observar, el sector de Alimentos y Bebidas, es el mayor generador de material particulado, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, óxidos de azufre y dióxido de carbono, principalmente por el uso de carbón y diésel como combustible. Respecto a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, el 93% de las emisiones son generadas en las estaciones de servicio por el comercio de combustibles. El monóxido de carbono es generado principalmente por el sector Alimentos y Bebidas por el consumo de carbón y diésel, seguido por el sector de Agroindustria, igualmente por el consumo de carbón. Los óxidos de nitrógeno al igual que el material particulado, son emitidos principalmente por el sector Alimentos y Bebidas, y por el sector de Agroindustria y en una menor proporción por el sector de Minerales no metálicos. Las emisiones de óxidos de azufre, al igual que las emisiones de monóxido de carbono, están asociadas al sector Alimentos y Bebidas por el uso de combustible diésel principalmente, seguido por el sector de Agroindustria, por el consumo de carbón.

Con respecto al municipio de Cartago, la economía se basa principalmente en la agricultura, la ganadería, el comercio y la pequeña industria. El sector agropecuario del municipio de Cartago cuenta con gran variedad en la producción de cultivos y de especies pecuarias. Entre los principales cultivos agrícolas se encuentran los de caña de azúcar, maíz, café, plátano, banano, soya, cítricos y aguacate; por otro lado, en cuanto a especies pecuarias cuenta con ganadería bovina, porcicultura, avicultura y piscicultura deportiva. En el municipio se realizan 3 tipos de actividades de procesamiento o transformación de la

producción agropecuaria que son: la agroindustria (concentrados para alimentos de animales), el procesamiento lácteo y cárnico, y diferentes artesanías hechas a partir de guadas.

En total para Cartago se encuentran registradas en la cámara de comercio 588 establecimientos con tamaño grande, mediano, pequeño y microempresa con actividad productiva del sector manufacturero, donde se tiene 1 empresa grande, 9 medianas y 21 pequeñas. Los sectores económicos que aportan contaminación atmosférica en el municipio son el sector de alimentos y bebidas, minerales no metálicos y comercio de combustibles. En la siguiente tabla se presentan los resultados del inventario de emisiones por sector económico:

Tabla 115. Resultados inventario de emisiones municipio de Cartago

SECTOR PRODUCTIVO	CH4 (ton/año)	N2O (ton/año)	PM (ton/año)	NOx (ton/año)	CO (ton/año)	SOx (ton/año)	COVs (ton/año)	CO2 (ton/año)
Alimentos y bebidas	25,40	0,22	0,84	46,95	1 396,32	188,85	0,04	32 293,35
Comercio combustibles	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,81	0,00
Minerales no metálicos	19,64	0,16	69,16	37,05	1 080,16	146,12	0,00	25 934,85
Otros (*)	0,02	0,02	0,08	1,00	0,43	0,01	0,06	1 280,60
Residencial (*)	0,15	0,14	0,49	6,08	2,59	0,04	0,36	7 756,91
<b>TOTAL</b>	<b>45,21</b>	<b>0,54</b>	<b>70,57</b>	<b>91,08</b>	<b>2 479,49</b>	<b>335,01</b>	<b>27,27</b>	<b>67 265,71</b>

Fuente: CVC. (2018).

De la tabla anterior, se puede concluir que los sectores de Alimentos y Bebidas y de Minerales no metálicos, son los mayores generadores de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, óxidos de azufre y dióxido de carbono por el uso de carbón como combustible. El sector de Alimentos y Bebidas genera aproximadamente el 53% de las emisiones y el sector de Minerales no metálicos el 42% de las emisiones para los contaminantes mencionados, y este último sector, además genera el 98% de las emisiones de material particulado en los hornos ladrilleros. Respecto a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, el 98,3% de las emisiones son generadas en las estaciones de servicio por el comercio de combustibles. Los óxidos de nitrógeno son emitidos principalmente por el sector de Alimentos y bebidas, seguido por el sector de Minerales no metálicos (Ladrilleras) y por el sector Residencial por el consumo de gas natural. El monóxido de carbono, al igual que las emisiones de metano y óxidos de nitrógeno, es generado principalmente por la combustión de Carbón en el sector de Alimentos y bebidas, seguido por el sector de Minerales no metálicos. Las emisiones de óxidos de azufre están asociadas al consumo de carbón en el sector de Alimentos y bebidas, seguido por el sector de Minerales no metálicos en las ladrilleras.

Finalmente, en el municipio de Tuluá la economía se basa en la agricultura, la ganadería, la industria. También el comercio de la ciudad provee a algunos municipios vecinos. En su territorio se encuentran minerales como oro, plata, yeso y caolín. El agro se destaca por ser de intensidad y una industria desarrollada en diversos renglones económicos. En esta ciudad se concentran todos los sectores económicos. Fortalecen su actividad, su parque industrial y las terminales aéreas y terrestres.

En total para Tuluá se encuentran registradas en la cámara de comercio 485 establecimientos con tamaño grande, mediano, pequeño y microempresa con actividad productiva del sector manufacturero, donde se tiene 2 empresas grandes, 2 medianas y 9 pequeñas. Los sectores económicos que aportan contaminación atmosférica en el municipio son el sector de alimentos y bebidas, crematorios, productos metálicos, agroindustria y comercio de combustibles. En la siguiente tabla se presentan los resultados del inventario de emisiones por sector económico:

Tabla 116. Resultados inventario de emisiones municipio de Tuluá

SECTOR PRODUCTIVO	CH <sub>4</sub> (ton/año)	N <sub>2</sub> O (ton/año)	PM (ton/año)	NO <sub>x</sub> (ton/año)	CO (ton/año)	SO <sub>x</sub> (ton/año)	COVs (ton/año)	CO <sub>2</sub> (ton/año)
Agroindustria	-	-	18,7676	141,1573	-	-	-	183,504,495
Alimentos y bebidas	0,0342	0,0327	0,2196	2,9447	0,9607	0,0089	0,0818	1.784,0379
Comercio combustibles	-	-	-	-	-	-	52,8696	-
Crematorios	0,0009	0,0009	0,0005	0,1131	0,0339	0,0002	0,0006	48,469
Madera y derivados	-	-	-	-	-	-	-	-
Otros	0,0537	0,0514	0,1775	2,1958	0,9344	0,0140	0,1285	2.803,137
Productos metálicos	-	-	-	-	-	-	-	-
Residencial	0,2363	0,2261	0,7810	9,6592	4,1103	0,0617	0,5652	12.330,944
<b>TOTAL</b>	<b>0,3252</b>	<b>0,3111</b>	<b>19,9461</b>	<b>156,0701</b>	<b>6,0393</b>	<b>0,0848</b>	<b>53,6457</b>	<b>200.471,083</b>

Fuente: CVC. (2018).

De los resultados obtenidos, se concluye que el sector de Agroindustria es el mayor generador de material particulado, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono, principalmente por el uso de bagazo de caña como combustible en el Ingenio San Carlos. Respecto a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, el 98.6% de las emisiones son generadas en las estaciones de servicio por el comercio de combustibles. Las emisiones de Óxidos Nitrosos son generadas mayoritariamente por el sector residencial teniendo en cuenta que se tomaron datos de consumo globales de gas natural, seguido por el sector Comercial e institucional (Otros) y de Alimentos y Bebidas. Los óxidos de nitrógeno al igual que el material particulado, son emitidos principalmente por el sector de Agroindustria, por el consumo de Bagazo de Caña en el Ingenio San Carlos y el consumo

de gas natural en el sector residencial. El monóxido de carbono y el dióxido de azufre son generados principalmente por el sector residencial por el consumo de gas natural, seguido por el sector de Alimentos y Bebidas y Comercial e institucional (Otros).



No se incluyó la información asociada al municipio de Jamundí, al estar este fuera del área de influencia del proyecto.

#### 5.1.11.2.2. Inventario de fuentes de emisión atmosférica información primaria



En el sentido de complementar la información secundaria consultada, se realizó una visita de reconocimiento por el área de influencia del proyecto, para poder identificar y georreferenciar las fuentes fijas de emisión existentes. Los recorridos para determinar las fuentes receptoras se hicieron por medio de recorridos siguiendo la línea de transmisión y los accesos a las torres en el mes de diciembre de 2020.

Durante el recorrido se observa que en la zona hay poca presencia de fuentes fijas, encontrando 9 fuentes fijas en el recorrido. Las principales actividades económicas en la zona son, ganadería, cultivos de café y otros. La mayoría de las chimeneas se concentran alrededor de la zona de los cañaduzales. En la Tabla 117 y Figura 118 se presentan las fuentes fijas de emisión identificadas en el recorrido, y en el Anexo D10 se presentan los formatos de campo y el registro fotográfico completo. La caracterización de las fuentes lineales se presenta en el numeral 5.1.1.2.3 Aforo vehicular y emisiones móviles.

Tabla 117. Resultados inventario de emisiones fuentes fijas



Nombre	Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único	Foto
FE7 El Corozal Trapiche	E= 4618452,803 N=1932603,07 COTA= 989	
Localización	Actividad económica	
Candelaria / Valle del Cauca	Trapiche	
Nombre	Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único	Foto
FE8 "SEBOS DEL VALLE" S.A.S	E= 4619719,43 N=1931200,44 COTA= 997	
Localización	Actividad económica	
Candelaria / Valle del Cauca	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal	



<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único</b>	<b>Foto</b>
FE9 Ingenio Mayagüez	E= 4629678,648 N=1933766,71 COTA= 942	
<b>Localización</b>	<b>Actividad económica</b>	
Candelaria / Valle del Cauca	Producción de azúcar, alcohol carburante	
<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único</b>	<b>Foto</b>
FE10 ACON de Colombia	E= 4642929,18 N=1988230,384 COTA= 1340	
<b>Localización</b>	<b>Actividad económica</b>	
Candelaria / Valle del Cauca	Alimento Concentrado para Animales.	
<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único</b>	<b>Foto</b>



FE11 Fábrica de Macetas El Picacho	E= 4650442,128 N=2006181,85 COTA= 1266	
<b>Localización</b>	<b>Actividad económica</b>	
Cgto. El Picacho / Tuluá	Fábrica de Materas	
<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único</b>	<b>Foto</b>
FE12 NUTRIBAL	E = 4639491,561 N = 1950772,634 COTA = 109	
<b>Localización</b>	<b>Actividad económica</b>	
Barrancas / Palmira	La actividad a la que se dedica la empresa es alimento balanceado para animales	
<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único</b>	<b>Foto</b>

FE13	E = 4639098,772 N = 1956947,364 COTA = 1081	
<b>Localización</b>	<b>Actividad económica</b>	
Boyacá / Palmira	La actividad a la que se dedica la empresa es fabricación de dulces	
<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único</b>	<b>Foto</b>
FE14 Ingenio Providencia	E = 4634514,98 N = 1959971,393 COTA = 1041	
<b>Localización</b>	<b>Actividad económica</b>	
El Cerrito/ Valle del Cauca	La actividad a la que se dedica la empresa es producción de Azúcar y etanol	
<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único</b>	<b>Foto</b>

FE15 Empresa de Triplex	E = 4636699,752 N = 1970150,476 COTA = 1044,486	
<b>Localización</b>	<b>Actividad económica</b>	
Ginebra / Valle del Cauca	La actividad a la que se dedica la empresa es secado y prensado de madera y triplex	

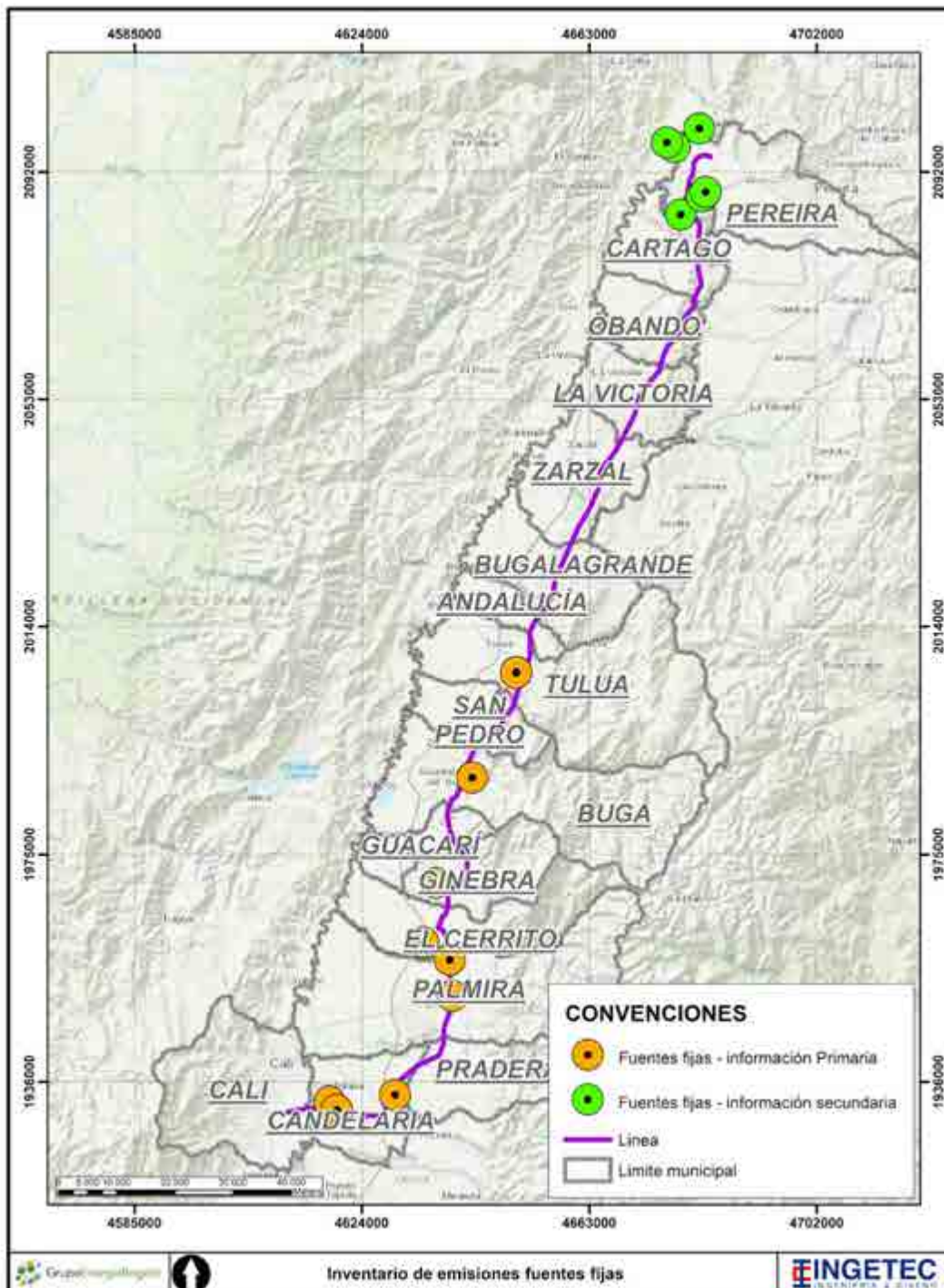


Figura 118. Inventario de emisiones fuentes fijas

### 5.1.11.2.3. Aforo vehicular y emisiones móviles

- Aforo vehicular

Para conocer la dinámica de tránsito vehicular en las zonas aledañas al proyecto se llevó a cabo un aforo vehicular levantando la información de la flota vehicular durante un periodo de 24 horas continuas en un día hábil y no hábil. De esta manera, se realizó la identificación y caracterización de los puntos de aforo considerando como información primaria el ancho de calzada, número de carriles, material de rodadura de la vía y pendiente. En el Anexo D10 se disponen las hojas de cálculo de los aforos y el shape asociado.

El conteo de los vehículos se obtuvo por medio de la clasificación de los mismos por peso y tipo de combustible. Esta clasificación se llevó a cabo de la siguiente manera:

Tabla 118. Categoría de los vehículos aforados

<b>Categoría</b>
Motos cuatro tiempos
A - Automóviles, camionetas y microbuses
Motos dos tiempos
C2P - Camión de 2 ejes pequeño
C3 - Camión de 3 ejes
C2G - Camión de 2 ejes grandes
B - Buses
E - Buses especiales
C4- Camión de 4 ejes
C5- Camión de 5 ejes
Bicicletas

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S.

El aforo se realizó en los días 20, 21, 27 y 28 de diciembre del 2020, 3 y 4 de enero de 2021 y 14 y 17 de noviembre del 2021 en 11 puntos distribuidos a lo largo del eje de la Línea La Virginia Alférez - 500 KV. En la Tabla 119 se presentan las características de las vías aforadas y en la Figura 119 se presentan su respectiva ubicación.

**Tabla 119. Coordenadas de los puntos de aforo**

Nombre	ID punto de aforo	Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único		Ancho de calzada	Número de carriles	Material de rodadura	Velocidad promedio	Inclinación promedio
		Norte	Este					
Cerritos	Punto 1	4684538,409	2090955,145	6.1	2	Base granular afirmada	30	1.7 / -3.2
Cartago	Punto 2	4681137,908	2080998,66	10	2	Asfalto	60	11.2 / -4.2
Obando	Punto 3	4671211,069	2064311,295	4	1	Base granular afirmada	20	2.1 / -4.2
La Paila	Punto 4	4660675,621	2035176,812	4	2	Base granular afirmada	20	0.7 / -6.6
Andalucía	Punto 5	4651730,037	2020617,304	4.7	2	Base granular afirmada	25	6.0 / -14.1
Tuluá	Punto 6	4648711,551	2007623,601	5.1	1	Base granular afirmada	30	0.1 / -4.6
Buga	Punto 7	4637578,699	1988436,221	6.1	2	Asfalto	60	7.0 / -6.1
Ginebra	Punto 8b	4640329,579	1969870,637	6	2	Base granular afirmado	50	2.2/-2.5
El Cerrito	Punto 9	4637692,017	1959251,801	7	2	Asfalto	60	2.1/-1.6
Palmira	Punto 10	4639133,852	1950793,221	8	2	Asfalto	60	2.1 / -1.1
Palmira	Punto 11	4634791,939	1940870,251	8.4	2	Recebo común afirmado	30	1.2 / -0.9
Candelaria	Punto 12	4629927,805	1934644,648	9.3	2	Asfalto	60	1.1 / -0.7
Sub. Estación	Punto 13	4611486,813	1930669,166	8.8	2	Recebo común afirmado	30	0.8 / -2.1

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S.



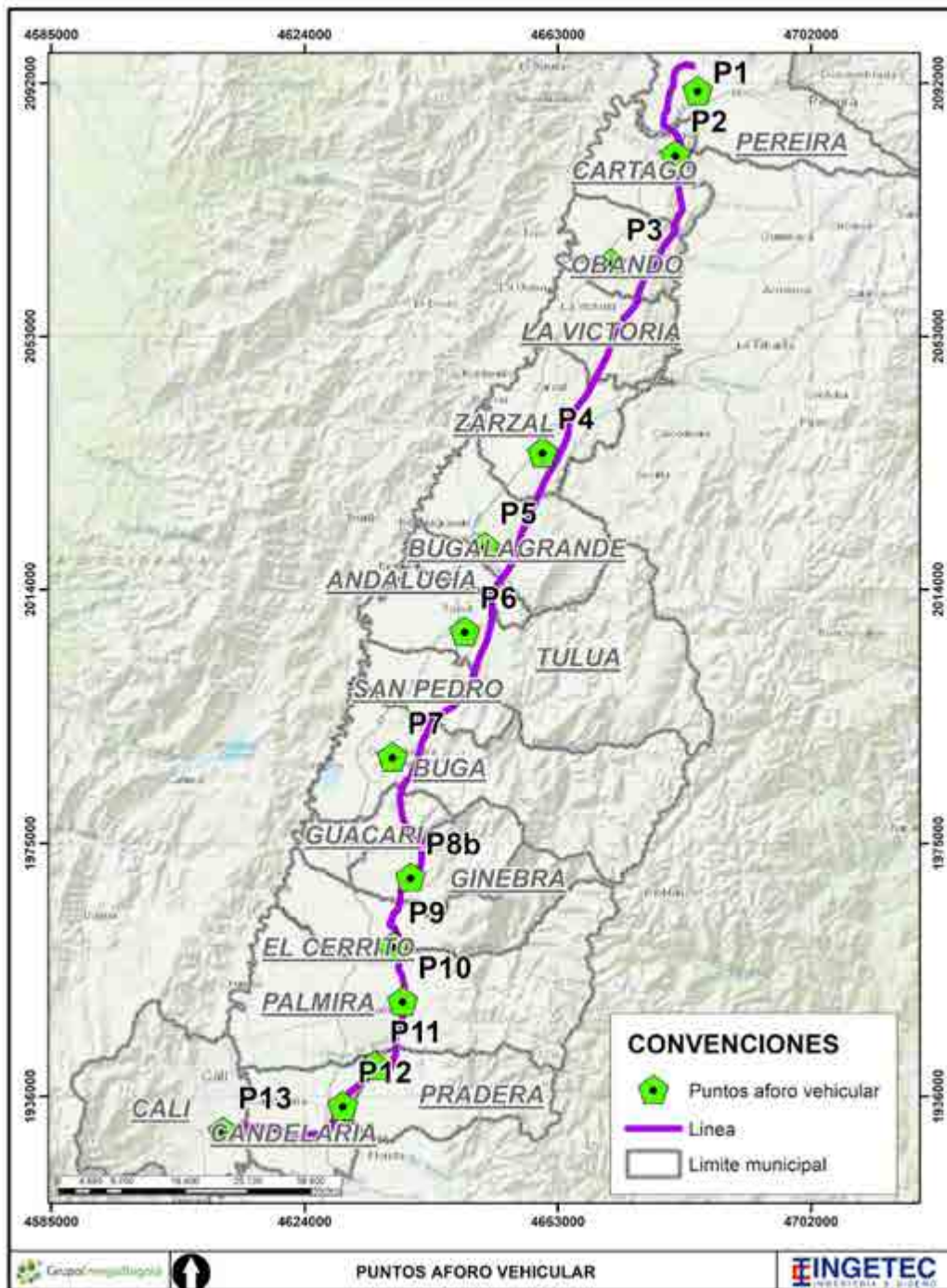


Figura 119. Ubicación de los puntos de monitoreo de aforos vehiculares  
Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S.



A continuación, en la Tabla 120 se presenta el registro fotográfico de cada punto de aforo.

Tabla 120. Registro fotográfico de los puntos aforados

<p style="text-align: center;"><b>Punto 1 Cerritos</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Punto 2 Cartago</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>Punto 3 Obando</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Punto 4 La Paila</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>Punto 5 Andalucía</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Punto 6 Tuluá</b></p>



**Punto 7 Buga**



**Punto 8b. Ginebra**



**Punto 9. El Cerrito**



**Punto 10. Palmira**



**Punto 11 Palmira**



**Punto 12 Candelaria**



**Punto 13 Sub-Estación**



Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

- Resultados aforo vehicular

A continuación, se presentan los resultados de los conteo de los vehículos en cada punto de aforo vehicular.

**Tabla 121. Cantidad de vehículos por punto aforado día hábil**

Categoría	Cantidad de vehículos												
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8b	Punto 9	Punto 10	Punto 11	Punto 12	Punto 13
A - Automóviles, camionetas y microbuses	83	533	43	24	69	105	553	67	3735	4024	33	1440	15
B - Buses	0	28	0	0	0	0	32	0	10	34	0	48	0
Bicicletas	0	0	0	0	0	0	0	9	357	465	0	0	0
C2G - Camión de 2 ejes grandes	1	88	5	0	0	0	49	5	28	311	0	11	0
C2P - Camión de 2 ejes pequeño	6	96	11	0	7	9	43	38	98	816	3	24	2
C3 - Camión de 3 ejes	3	102	0	0	0	0	0	0	2	0	0	26	0
C4- Camión de 4 ejes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5- Camión de 5 ejes	0	101	0	0	0	0	0	0	0	88	0	6	0
E - Buses especiales	0	12	0	0	0	0	19	0	13	131	0	76	6
Motos 2 tiempos	14	50	4	7	18	25	164	0	0	0	11	137	0
Motos 4 tiempos	124	428	45	45	203	281	1467	340	3058	2266	47	1793	30

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

**Tabla 122. Cantidad de vehículos por punto aforado día no hábil**

Categoría	Cantidad de vehículos												
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8b	Punto 9	Punto 10	Punto 11	Punto 12	Punto 13
A - Automóviles, camionetas y microbuses	77	428	23	11	60	117	662	88	6328	5574	24	1344	0
B - Buses	0	24	1	0	0	0	24	0	7	66	0	42	0
Bicicletas	0	0	0	0	0	0	0	2	251	1040	0	0	0
C2G - Camión de 2 ejes grandes	5	41	0	0	0	0	36	2	8	42	0	6	0
C2P - Camión de 2 ejes pequeño	6	82	0	0	5	8	38	10	68	394	1	12	0
C3 - Camión de	7	76	0	0	0	0	0	0	1	0	0	17	0

Categoría	Cantidad de vehículos												
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8b	Punto 9	Punto 10	Punto 11	Punto 12	Punto 13
3 ejes													
C4- Camión de 4 ejes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0
C5- Camión de 5 ejes	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E - Buses especiales	0	15	1	2	0	0	12	0	14	163	0	72	0
Motos 2 tiempos	11	54	2	5	16	37	197	0	0	0	8	144	0
Motos 4 tiempos	132	416	32	27	192	264	1442	265	4810	12575	36	1740	2

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

Finalmente, para conocer la dinámica del tránsito vehicular de la Vía Tuluá - Buga se consultó la base de datos del INVIAS donde se extrajo el TPD de la Estación 253 Territorial Valle Del Cauca Sector Tuluá - Buga.

Como resultado se obtuvo un conteo total de 23.884 vehículos donde el 57% corresponde automóviles, el 4% a buses y el 38,74% a camiones que se dividen en categoría por número de ejes C3, C4, C5, C6 y C7.

A continuación, en la Tabla 123 se presentan los valores del TPD de La Vía Tuluá - Buga.

Tabla 123. TPD Estación 253 Territorial Valle Del Cauca Sector Tuluá - Buga.

Categoría	Cantidad de vehículos
Automóviles	13613,88
Buses	955,36
Total Camiones	9253
Camión C3	1092
Camión C4	1092
Camión C5	539
Camión C6	2261
Camión C7	2261

Fuente: INVIAS (Instituto Nacional de Vías)

- Emisiones móviles

Las emisiones móviles producto de la combustión de la flota vehicular circundante en la vía se estimaron utilizando el modelo IVE. Este modelo es ampliamente reconocido para estudios de inventario de emisiones en países no desarrollados o que no cuentan con factores de emisión asociados a las condiciones locales. El modelo IVE fue desarrollado en conjunto por el Centro para la Investigación y Tecnología Ambiental (CE-CERT) de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de California en Riverside (UCR), Investigación de Sistemas Sustentables Globales (GSSR) y el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales (ISSRC); financiado por la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA)<sup>6</sup>.

Las bases de datos más representativas son la de flota vehicular y la de patrones de conducción, ya que son particulares a la localidad o ubicación de las fuentes móviles. Las demás variables son de fácil determinación con base en las políticas ambientales y de tránsito del país. La flota vehicular fue clasificada de acuerdo con la base de datos de la flota vehicular del del Ministerio de Tránsito en la página Datos Abiertos de Colombia<sup>7</sup> y los resultados del aforo vehicular realizado en las vías. La flota se clasificó entonces de la siguiente manera:

Tabla 124. Clasificación flota vehicular

Tipo flota	Combustible	Tamaño	Control o mezcla aire / combustible	Norma emisiones / Control emisiones
Liviano	Gasolina	Pequeño	Multipunto Inyección de combustible	LEV
	Gasolina	Pequeño	Multipunto Inyección de combustible	ULEV
	Gasolina	Pequeño	Multipunto Inyección de combustible	EuroII
	Gasolina	Mediano	Multipunto Inyección de combustible	EuroII
	Gasolina	Pequeño	Multipunto Inyección de combustible	EuroIII

<sup>6</sup> U.S. Environmental Protection Agency. International Vehicle Emissions Model. Recuperado de <http://www.issrc.org/ive/>. 2010

<sup>7</sup> Ministerio de Comunicaciones; Ministerio de Transporte. Registro Nacional Automotor 2017. Bogotá.

Tipo flota	Combustible	Tamaño	Control o mezcla aire / combustible	Norma emisiones / Control emisiones
	Gasolina	Mediano	Multipunto Inyección de combustible	EuroIII
	Gasolina	Pequeño	Multipunto Inyección de combustible	EuroIV
	Gasolina	Mediano	Multipunto Inyección de combustible	EuroIV
	Diésel	Mediano	Inyección de combustible	EuroII
	Diésel	Mediano	Inyección de combustible	EuroIII
	Diésel	Mediano	Inyección de combustible	EuroIV
Mediano	Diésel	Pequeño	Inyección de combustible	EuroII
	Diésel	Pequeño	Inyección de combustible	EuroIII
	Diésel	Pequeño	Inyección de combustible	EuroIV
	Diésel	Mediano	Inyección de combustible	EuroIV
	Diésel	Mediano	Inyección de combustible	EuroV
	Gasolina	Grande	Multipunto Inyección de combustible	EuroII
	Gasolina	Grande	Multipunto Inyección de combustible	EuroIII
	Gasolina	Grande	Multipunto Inyección de combustible	EuroIV
Pesado	Gasolina	Mediano	Inyección de combustible	EuroII
	Gasolina	Mediano	Inyección de combustible	EuroIII
	Gasolina	Mediano	Inyección de combustible	EuroIV
	Diésel	Grande	Inyección de combustible	EuroII
	Diésel	Grande	Inyección de combustible	EuroIII
	Diésel	Grande	Inyección de combustible	EuroIV
	Diésel	Grande	Inyección de combustible	EuroV
Motocicleta	Gasolina	Pequeño	Dos ciclos, Inyección de combustible	Ninguna
	Gasolina	Pequeño	Cuatro ciclos, Carburador	Ninguna
	Gasolina	Pequeño	Cuatro ciclos, Carburador	Catalizador
	Gasolina	Pequeño	Cuatro ciclos, Inyección de combustible	Catalizador



Tipo flota	Combustible	Tamaño	Control o mezcla aire / combustible	Norma emisiones / Control emisiones
	Gasolina	Mediano	Dos ciclos, Inyección de combustible	Ninguna
	Gasolina	Mediano	Cuatro ciclos, Carburador	Ninguna
	Gasolina	Mediano	Cuatro ciclos, Carburador	Catalizador
	Gasolina	Mediano	Cuatro ciclos, Inyección de combustible	Catalizador
	Diésel	Mediano	Cuatro ciclos	Ninguna
	Diésel	Mediano	Cuatro ciclos	Catalizador

Fuente: Modificado del Registro Nacional Automotor - MinTransporte, 2017.

La clasificación anterior integra una subdivisión adicional correspondiente a la antigüedad del vehículo: menor 79 000 km, entre 80 000 km y 160 000 km y mayor de 160 000 km recorridos para vehículos iguales o mayores a C2, mientras que las motocicletas se subdividieron en menor a 26 000 km, entre 26 000 km y 50 000 km y mayor a 50 000 km. Por otra parte, la determinación de los patrones de conducción requiere un estudio específico de velocidad, aceleración y elevación bajo diferentes clases de vehículos a lo largo de la vía, así como de una caracterización de partidas en frío y caliente en los establecimientos aledaños a la vía. En ausencia de esta información, los anteriores datos se aproximaron con resultados de estudios de movilidad y emisiones móviles en el país en carreteras con alto y bajo tráfico<sup>8</sup>.

Los parámetros ambientales de cálculo para el modelo IVE fueron determinados bajo las condiciones actuales normativas de calidad de combustible, normas de tránsito y condiciones ambientales promedio de la zona. Los datos de tráfico vehicular utilizados corresponden a los mismos presentados en el aforo vehicular en el numeral anterior.

Para estimar las emisiones en el modelo IVE, se procedió a proyectar un trazado de flujo vehicular por cada punto del aforo, desde el eje de la línea de transmisión hasta la intersección con la vía nacional Cali - Pereira. Con esta proyección se obtuvieron los parámetros de longitud, velocidad y pendiente. En la Tabla 125 se presentan los datos por cada tramo proyectado y en la Figura 120 se ilustra cada trazado:

<sup>8</sup> Giraldo Amaya, L. (2005). Estimación del Inventario de Emisiones de fuentes Móviles para la Ciudad de Bogotá e Identificación de Variables Pertinentes. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá: Universidad de los Andes

Tabla 125. Datos tramos viales proyectados en puntos de aforo

Tramo	Longitud (km)	V (km/h)	Pendiente media
P1	5,7	30,0	1.7 / -3.2
P2	5,6	40,0	11.2 / -4.2
P3	19,8	30,0	2.1 / -4.2
P4	4,6	30,0	0.7 / -6.6
P5	11,2	30,0	6.0 / -14.1
P6	6,9	40,0	0.1 / -4.6
P7	13,3	60,0	7.0 / -6.1
P8b	2,8	50,0	2.2/-2.5
P9	8,3	60	2.1/-1.6
P10	6,1	60	2.1 / -1.1
P11	11,0	30,0	1.2 / -0.9
P12	20,3	60,0	1.1 / -0.7
P13	16,5	30,0	0.8 / -2.1

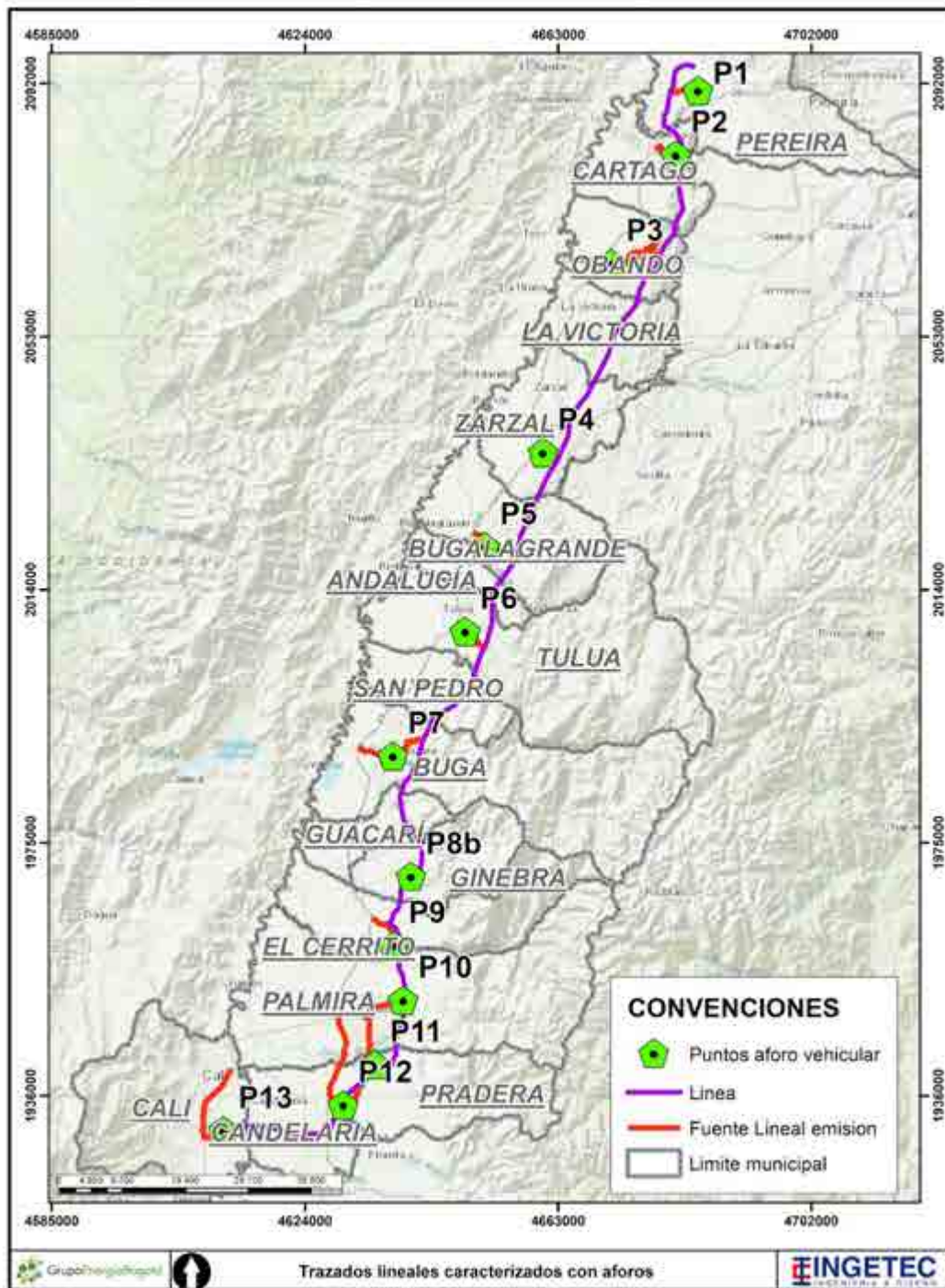


Figura 120. Trazados lineales caracterizados con aforos

Una vez conociendo todos los insumos requeridos para la modelación, se procedió a estimar las emisiones de fuentes móviles con el modelo IVE. Los resultados obtenidos se presentan en forma de kg de contaminante por día de tráfico. Los resultados de las simulaciones con el modelo IVE se muestran en la Tabla 126, Figura 121 y Figura 122. En el Anexo D10 se presentan los anexos del modelo IVE de las corridas.

Tabla 126. Resultados emisiones por combustión interna

<b>Resumen Emisiones móviles livianos (kg/d)</b>						
<b>Tramo vial</b>	<b>CO</b>	<b>NOX</b>	<b>SOX</b>	<b>PST</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>
P1	1,0128	0,2194	0,0127	0,0107	0,0096	0,0007
P2	5,1000	1,0634	0,0617	0,0507	0,0456	0,0036
P3	1,6441	0,3562	0,0206	0,0174	0,0156	0,0012
P4	0,3637	0,0788	0,0046	0,0038	0,0035	0,0003
P5	1,6380	0,3549	0,0205	0,0173	0,0156	0,0012
P6	1,3732	0,2863	0,0166	0,0137	0,0123	0,0010
P7	11,7850	2,2851	0,1306	0,1030	0,0927	0,0072
P8b	0,3463	0,0699	0,0041	0,0033	0,0030	0,0002
P9	63,3593	12,2883	0,7023	0,5540	0,4970	0,0362
P10	43,8822	8,5107	0,4864	0,3837	0,3443	0,0251
P11	1,2012	0,2602	0,0151	0,0127	0,0114	0,0009
P12	69,8810	13,5531	0,7746	0,6111	0,5500	0,0428
P13	0,6384	0,1383	0,0080	0,0067	0,0061	0,0005
Total	202,2252	39,4646	2,2578	1,7881	1,6067	0,1210
<b>Resumen Emisiones móviles medianos (kg/d)</b>						
<b>Tramo vial</b>	<b>CO</b>	<b>NOX</b>	<b>SOX</b>	<b>PST</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>
P1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P2	0,6228	0,5258	0,0118	0,0221	0,0198	0,0015
P3	0,0670	0,0597	0,0013	0,0025	0,0023	0,0002
P4	0,0640	0,0514	0,0011	0,0021	0,0019	0,0001
P5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P7	1,4167	1,0812	0,0251	0,0454	0,0408	0,0032
P8b	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

P9	0,1338	0,1496	0,0030	0,0062	0,0056	0,0004
P10	0,8695	0,9724	0,0195	0,0401	0,0360	0,0026
P11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P12	4,8170	3,1898	0,0764	0,1326	0,1194	0,0093
P13	0,2051	0,1665	0,0038	0,0070	0,0063	0,0005
Total	8,1959	6,1964	0,1420	0,2580	0,2320	0,0178
<b>Resumen Emisiones móviles pesados (kg/d)</b>						
<b>Tramo vial</b>	<b>CO</b>	<b>NOX</b>	<b>SOX</b>	<b>PST</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>
P1	1,3100	0,3444	0,0042	0,0388	0,0349	0,0027
P2	25,1266	6,6023	0,0804	0,7443	0,6698	0,0521
P3	3,9332	1,0335	0,0126	0,1165	0,1049	0,0082
P4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P5	1,2956	0,3403	0,0042	0,0384	0,0345	0,0027
P6	0,7744	0,2035	0,0025	0,0229	0,0206	0,0016
P7	9,5839	2,5183	0,0307	0,2839	0,2555	0,0199
P8b	0,7924	0,2032	0,0025	0,0227	0,0204	0,0015
P9	7,3275	1,8787	0,0228	0,2102	0,1886	0,0138
P10	42,8547	10,9874	0,1333	1,2295	1,1031	0,0804
P11	0,7290	0,1917	0,0023	0,0216	0,0194	0,0015
P12	10,4211	2,7383	0,0334	0,3087	0,2778	0,0216
P13	0,5460	0,1435	0,0018	0,0162	0,0146	0,0011
Total	104,6944	27,1851	0,3307	3,0537	2,7441	0,2071
<b>Resumen Emisiones móviles motos (kg/d)</b>						
<b>Tramo vial</b>	<b>CO</b>	<b>NOX</b>	<b>SOX</b>	<b>PST</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>
P1	2,7583	0,1776	0,0034	0,0587	0,0528	0,0041
P2	6,8500	0,4411	0,0085	0,1457	0,1312	0,0102
P3	6,6255	0,4266	0,0082	0,1410	0,1269	0,0099
P4	1,1118	0,0716	0,0014	0,0237	0,0213	0,0017
P5	11,3864	0,7332	0,0142	0,2423	0,2180	0,0170
P6	7,6598	0,4932	0,0095	0,1630	0,1467	0,0114
P7	54,5778	3,5142	0,0689	1,1612	1,0451	0,0813

P8b	1,7660	0,1138	0,0022	0,0348	0,0312	0,0020
P9	56,9722	3,6705	0,0709	1,1243	1,0087	0,0660
P10	78,0343	5,0275	0,0971	1,5399	1,3816	0,0904
P11	3,4178	1,2086	0,0043	0,0727	0,0654	0,0051
P12	124,3668	8,0079	0,1547	2,6460	2,3814	0,1852
P13	2,3005	0,1481	0,0029	0,0489	0,0440	0,0034
Total	357,8272	24,0339	0,4462	7,4022	6,6543	0,4877
<b>Resumen Emisiones móviles totales (kg/d)</b>						
<b>Tramo vial</b>	<b>CO</b>	<b>NOX</b>	<b>SOX</b>	<b>PST</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>
P1	5,0811	0,7414	0,0203	0,1082	0,0974	0,0076
P2	37,6994	8,6325	0,1625	0,9628	0,8665	0,0674
P3	12,2698	1,8760	0,0428	0,2773	0,2496	0,0194
P4	1,5394	0,2018	0,0070	0,0296	0,0266	0,0021
P5	14,3200	1,4284	0,0388	0,2979	0,2681	0,0209
P6	9,8074	0,9830	0,0286	0,1996	0,1796	0,0140
P7	77,3633	9,3987	0,2553	1,5935	1,4341	0,1115
P8b	2,9047	0,3869	0,0088	0,0608	0,0545	0,0037
P9	127,7928	17,9871	0,799	1,8947	1,6999	0,1164
P10	165,6407	25,498	0,7363	3,1932	2,8649	0,1985
P11	5,3480	1,6606	0,0217	0,1070	0,0963	0,0075
P12	209,4860	27,4891	1,0390	3,6983	3,3285	0,2589
P13	3,6900	0,5964	0,0164	0,0789	0,0710	0,0055
Total	672,9426	96,8799	3,1765	12,5018	11,2371	0,8335

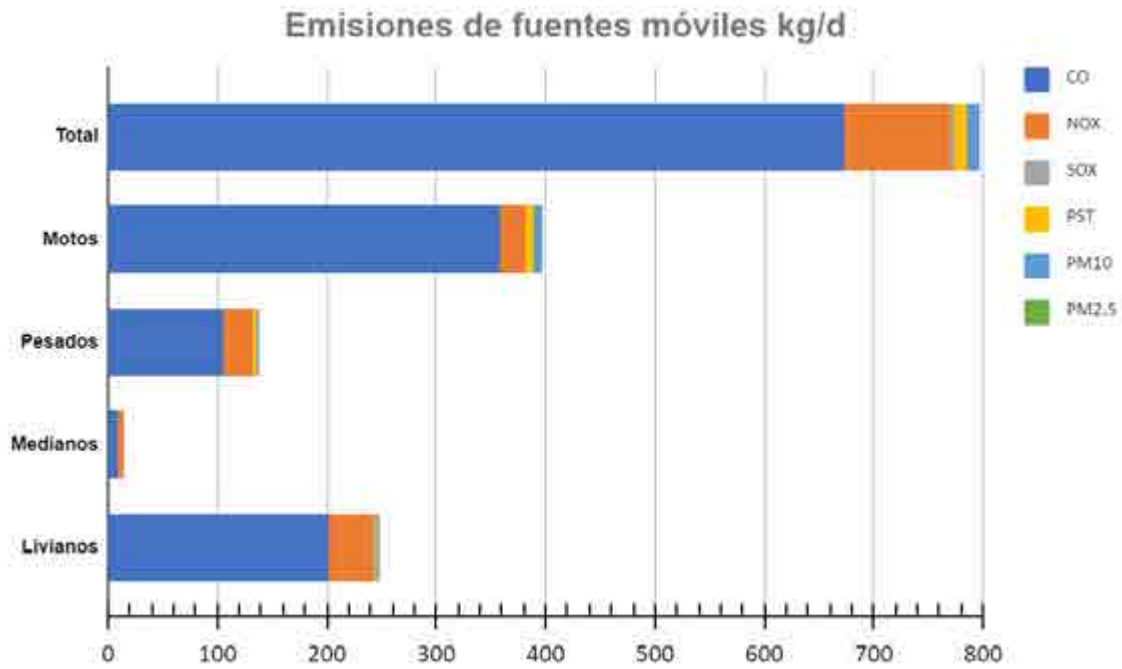
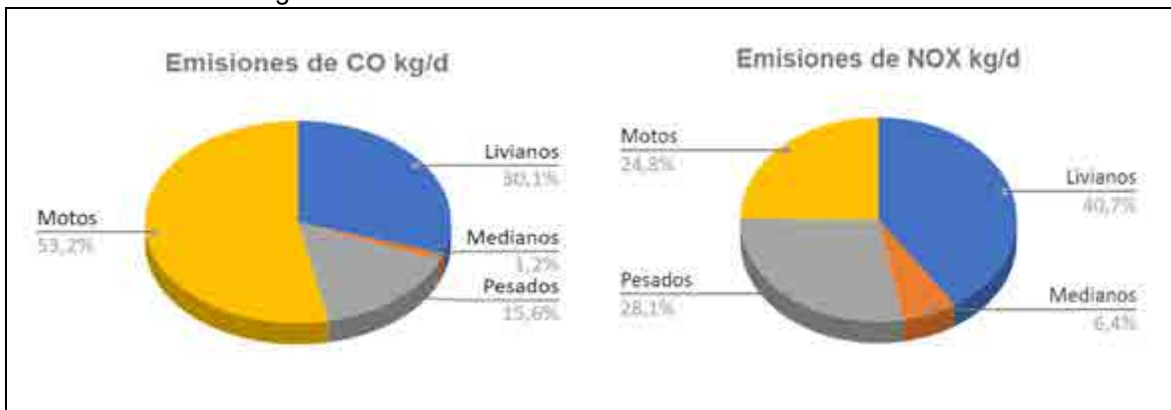


Figura 121. Resultados emisiones de fuentes móviles





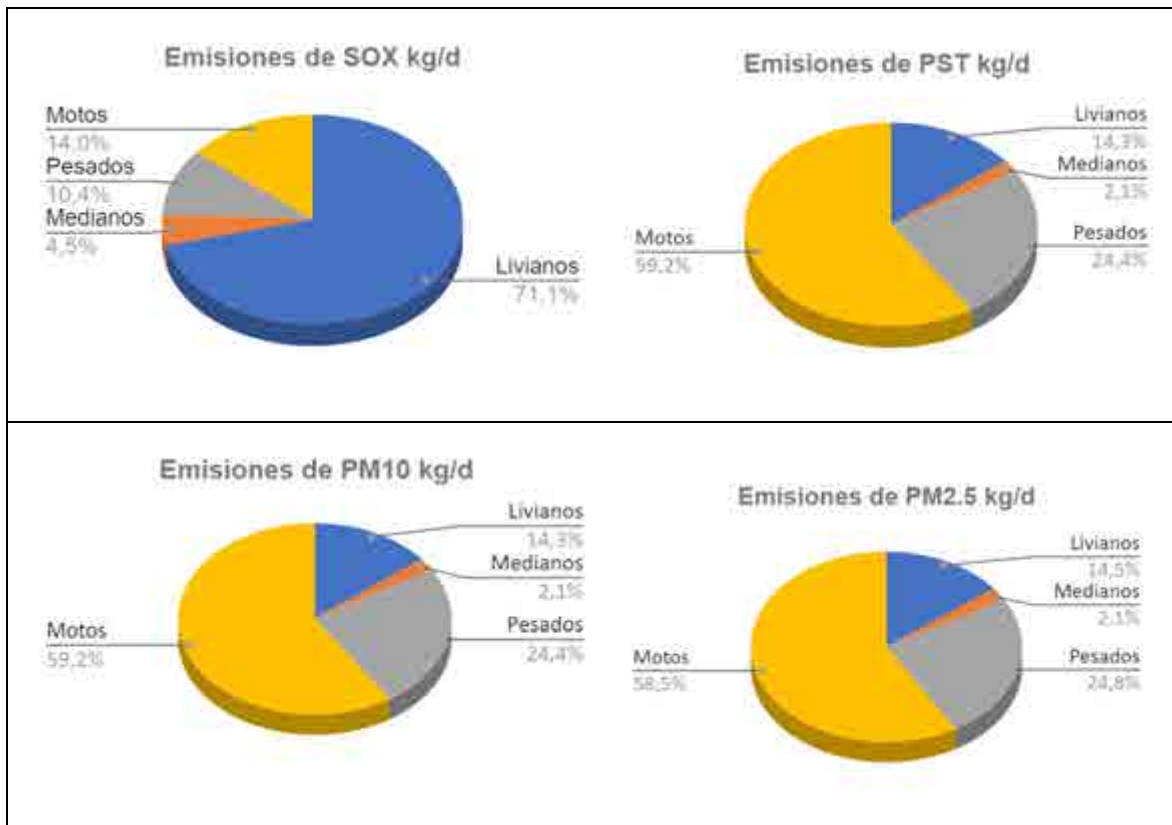


Figura 122. Distribución emisiones de fuentes móviles por clota vehicular

Como se puede observar en los resultados anteriores, las emisiones principales corresponden al contaminante CO por parte de toda la flota vehicular. Las emisiones diarias de CO son de 672,94 kg, las de NOx son 96,88 kg, las de SOx 3,18 kg, las de PST 12,50 kg, las de PM10 11,24 kg y las de PM2.5 0,83 kg.

El grupo de la flota vehicular con mayor aporte total de emisiones son las motos, con 396,85 kg de contaminantes al día, seguido de los vehículos livianos, con 257,46 kg al día. Estos valores son fuertemente influenciados por la cantidad de vehículos, ya que a diferencia de los pesados o medianos, los livianos y motos cuentan con un sistema de control de emisiones relativamente moderno. La flota pesada, a pesar de que el TPD no es alto, las emisiones son importantes, cerca de 138,22 kg al día.

Existe una diferencia significativa entre los contaminantes emitidos por grupo de la flota vehicular, tal y como se evidencia en la Figura 122. Los vehículos livianos emiten en mayor proporción SOx que los demás grupos, mientras que las motos lideran los demás contaminantes, nuevamente debido a la cantidad de motos presentes en el área de

estudio. De las emisiones de tráfico pesado se resaltan los NOx y material particulado, siendo importantes contribuyentes.

#### 5.1.11.2.4. Inventario de receptores sensibles

Los receptores sensibles se entienden como los sitios de interés social o ambiental que son altamente vulnerables ante la presencia de un impacto por contaminación atmosférica, bien sea por ruido o calidad del aire, dadas sus condiciones de salud, importancia ecológica o social. El inventario se realizó en conjunto con el inventario de fuentes fijas de emisiones atmosféricas. Este se realizó dentro del área de influencia preliminar atmosférica, cubriendo los accesos del proyecto y el cruce con los centros poblados aledaños. En algunos casos, el inventario se extendió una distancia entre 50 y 100 m desde el área de influencia preliminar atmosférica para integrar aquellos potenciales receptores sensibles que pudieran estar dentro del área de influencia definitiva. En todo caso, se priorizaron los centros médicos, de culto, educativos y de recreación a lo largo del área de influencia.

En el recorrido se encontraron 18 centros de estudios (escuelas, colegios, instituciones educativas y hogares infantiles), 4 cementerios, 2 parques, 13 sitios de encuentro para hacer deporte (canchas y polideportivos), 13 iglesias, 3 casetas comunales, 3 centros de salud, 1 piscinas o balnearios y adicional se encontró que los ríos y quebradas de la zona funcionan como sitios de recreación, como el río Guadalajara, río Tuluá entre otros. En la Tabla 127 y Figura 123 se presentan la descripción y localización de los receptores identificados. En el Anexo D10 se presentan los registros de campo, el registro fotográfico y el shape asociado.

Tabla 127. Inventario de receptores sensibles

ID	Punto	Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único		Altura msnm
		Este	Norte	
RS1	Club Deportivo Cañasgordas y Colegio Encuentros	4611645,24	1930405,26	962
RS5	Parque Brisas Fraile	4628367,03	1932463,02	937
RS6	Caseta Brisas Fraile	4628323,89	1932338,05	937
RS39	Cementerio jardín de paz. Costa Rica	4641177,65	1974402,42	1253
RS40	Balnearios y restaurantes cpto Puente Rojo	4641281,35	1974962,34	1263
RS44	Escuela Cafeteritos y Cancha. Vida. Patio Bonito	4642278,88	1971264,80	1482
RS49	Puesto de Salud Puente Rojo	4641301,40	1975001,32	1183

ID	Punto	Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único		Altura msnm
		Este	Norte	
RS50	Hogar Comunitario Travesuras. Bienestar Familiar. Puente Rojo	4641293,40	1975002,33	1184
RS51	Institución Educativa General Santander. Sede General Santander. Puente Rojo	4641364,48	1975061,25	1200
RS52	Caseta Comunal Vda. Chafalote	4641335,85	1977776,52	1615
RS53	Cancha de Fútbol Vda. Chafalote	4641332,93	1977837,53	1608
RS54	Iglesia Chafalote	4639969,12	1978884,32	1569
RS55	Cancha de Fútbol Vda. Chafalote	4639942,12	1978890,36	1570
RS56	Institución Educativa General Santander. Sede Mercedes Abrego. Chafalote	4639917,12	1978889,39	1569
RS59	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia, Monterrey	4639927,78	1984184,85	1607
RS60	Puesto de Salud Monterrey	4640076,99	1984340,68	1614
RS61	Capilla Nuestra Señora del Perpetuo Socorro, Monterrey	4640085,98	1984327,67	1613
RS75	Iglesia Patima	4643129,98	1989620,24	1280
RS76	Coliseo Patima	4643151,00	1989636,21	1282
RS77	Institución Educativa Nuestra Señora de Fátima. Ciudadela La Maria	4643167,02	1989648,20	1283
RS78	Institución Educativa Nuestra Señora de Fátima. Ciudadela Agropecuaria La Maria	4643190,04	1989663,17	1285
RS79	Cancha de Fútbol La Maria	4643831,01	1990377,40	1341
RS80	Capilla Sagrada Familia de Nazareth. La Primavera	4644529,44	1991447,59	1532
RS90	Polideportivo La Marina	4653930,46	2005535,18	1293
RS91	Cementerio La Marina	4653683,06	2005247,49	1293
RS92	Polideportivo Cgto. El Picacho	4650493,08	2006144,78	1269
RS93	Escuela Cgto. El Picacho. Luis Ignacio Libreros	4650497,07	2006133,78	1269
RS94	Institución Educativa Julio Caicedo Tellez Sede #9 Demetrio García Vasquez. Cgto Naranjal	4649613,00	1997777,44	1255
RS95	Escuela Nueva. Escuela Activa. Angostura	4646827,72	1997703,07	1199
RS103	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia Paila Arriba	4662855,87	2026914,80	1014
RS104	Iglesia Vallejuelo	4667187,94	2041069,90	961
RS105	Institución Técnica Agropecuaria Vallejuelo	4667473,28	2041302,49	969
RS106	Cementerio Vallejuelo	4667580,53	2041477,34	955
RS107	Iglesia y Parque Holguín	4668669,12	2056284,85	952
RS109	Polideportivo Holguín	4668698,26	2056380,81	952
RS110	Parque Principal Holguín	4668671,90	2056816,85	951
RS111	Cementerio Holguín	4667775,14	2056978,18	946

ID	Punto	Coordenadas MAGNA SIRGAS origen único		Altura msnm
		Este	Norte	
RS114	Centro Docente No. 27 Jorge Eliécer Gaitán. Vda. El Recreo	4676321,91	2061557,44	1206
RS116	Escuela San Isidro	4678392,50	2062650,32	1369
RS119	Escuela Alfonso López Pumarejo. Vda. Frías.	4677349,58	2065350,83	1466
RS120	Escuela Vda. Playa Rica. Sede Juan del Corral	4679144,53	2067333,07	1313
RS121	Escuela Villa Rodas	4680137,40	2068581,53	1231
RS122	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia Villa Rodas	4680134,42	2068595,54	1231
RS124	Iglesia, Puesto de Salud Villa Ridas	4680069,48	2068637,64	1237
RS125	Parroquia Modin	4679535,65	2075940,25	1326
RS126	Institución Educativa Zaragoza Sede Simón Bolívar. Modin	4679540,70	2075974,24	1325
RS127	Canchas Coloradas	4683706,44	2073284,94	1243
RS128	Canchas Coloradas	4683746,37	2073242,88	1246
RS129	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia. Colorada	4683473,16	2072441,33	1261
RS130	Escuela José María Córdoba. Guayabo	4681445,60	2070719,48	1160
RS159	Sede Comunal La Pampa	4637939,99	1954034,68	1078
RS160	Iglesia Pentecostal La Pampa	4637889,14	1954496,80	1075
RS161	Institución Educativa Semilla de la Esperanza Sede Eliodoro Villegas	4637857,94	1954727,54	1075
RS162	Cancha De Fútbol La Pampa	4637849,70	1954785,23	1076
RS163	Puesto de Salud La Pampa	4637830,56	1955033,20	1076
RS169	Cancha de Fútbol Boyacá	4638579,51	1956669,67	1082
RS199	Cancha Múltiple Vereda Loma Gorda - Ginebra	4640327,43	1969894,16	1099

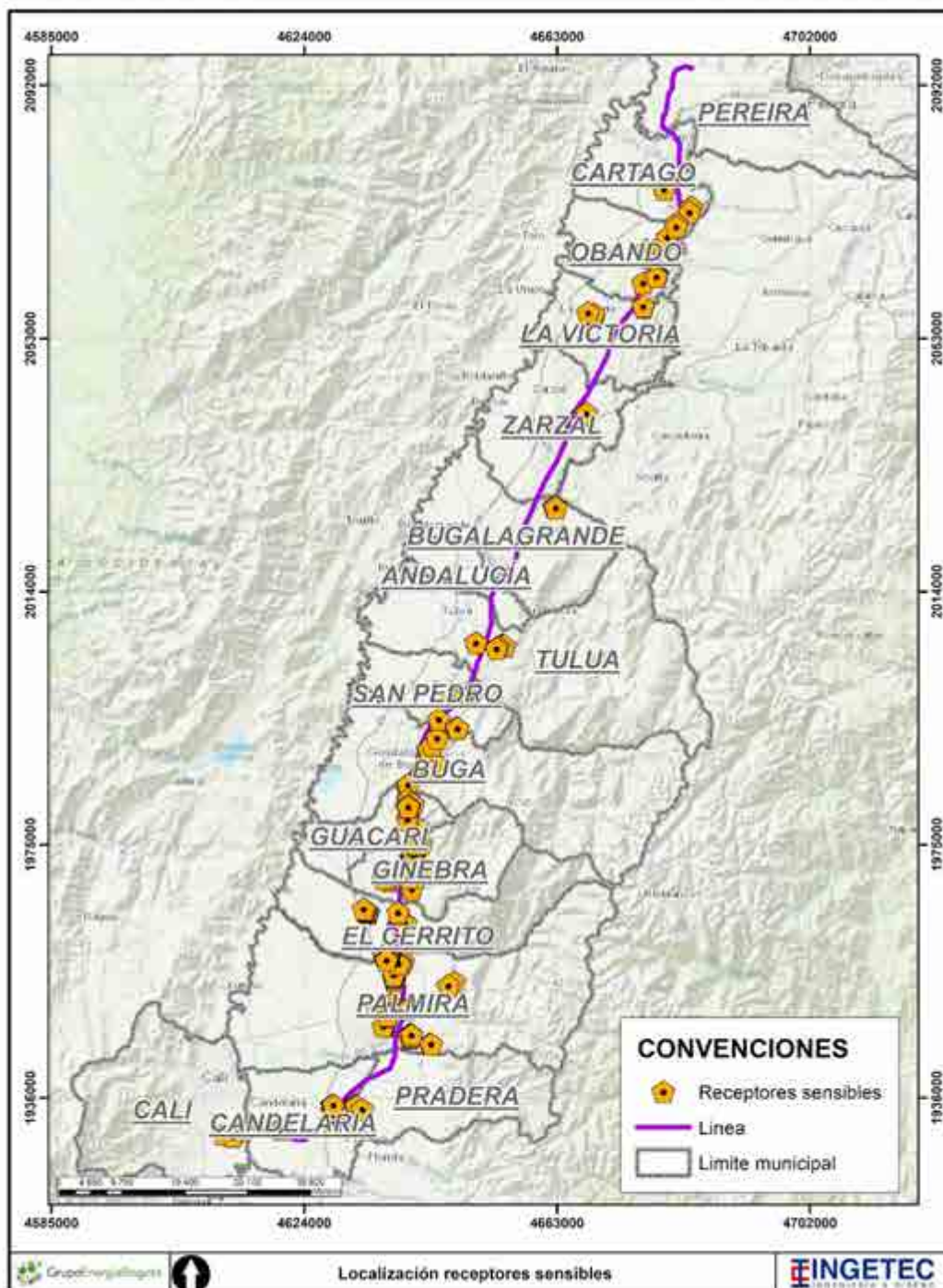


Figura 123. Localización receptores sensibles

### 5.1.11.3. Calidad del aire (Información de Inmisión)

La calidad del aire de un territorio puede verse deteriorada por el desarrollo de diversas actividades económicas en el mismo, así como la introducción de fuentes de emisión por el desarrollo de un Proyecto. En el sentido de conocer el estado de la calidad del aire en el área de influencia del Proyecto, se realizó la consulta ante el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), bajo el Subsistema de Información de Calidad del Aire (SISAIRE), el cual es administrado y vigilado por el IDEAM. Dado que el proyecto no requiere permiso de emisiones atmosféricas para fuentes fijas, los Términos de referencia no exigen realizar un monitoreo para obtener información primaria en la caracterización.

En el SISAIRE se encuentra toda la información pública de los diferentes Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) a nivel nacional. Cada SVCA es gestionado por una autoridad ambiental territorial y trimestralmente se actualiza la base de datos con los monitoreos llevados a cabo. También publica información meteorológica y de ruido que reportan las autoridades ambientales, aunque la información es menos detallada que la de niveles de inmisión.

Otra fuente de información para caracterizar la calidad del aire en el territorio fue el monitoreo llevado a cabo por GEB en el 2018. En este estudio se monitorearon los contaminantes criterio material particulado y gases contaminantes, siguiendo los lineamientos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, en el Manual de operación de Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire y el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire; emitidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) en el 2010 (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS).

A continuación, se desarrolla la caracterización de la calidad del aire, de acuerdo con los diferentes resultados de información secundaria vigente y siguiendo los lineamientos de los Términos de Referencia del Proyecto.

#### 5.1.11.3.1. Normatividad ambiental vigente

La Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS es la normativa vigente en Colombia en tema de calidad del aire y los niveles máximos permisibles de contaminantes criterio. En la Tabla 128 se presentan los niveles máximos permisibles de acuerdo con el Artículo 2 del Capítulo la de la Resolución.



Tabla 128. Estándares máximos incluidos en la Resolución 2254 de 2017

Contaminante	Nivel máximo permisible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición
PM <sub>10</sub>	50	Anual
	75	24 horas
PM <sub>2.5</sub>	25	Anual
	37	24 horas
SO <sub>2</sub>	50	24 horas
	100	1 hora
NO <sub>2</sub>	60	Anual
	200	1 hora
O <sub>3</sub>	100	8 horas
CO	5000	8 horas
	35.000	1 hora

Fuente: Resolución 2254 de 2017 del MADS.

Nota: a partir del 1 de julio de 2018, los niveles máximos permisibles de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> para un tiempo de exposición de 24 horas serán 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Previo a la fecha de referencia, las concentraciones para el mismo tiempo de exposición eran 100 y 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La misma resolución establece el Índice de Calidad del Aire (ICA) como indicador de la contaminación atmosférica, de acuerdo con mediciones de calidad del aire en un territorio. El ICA corresponde a una escala numérica a la cual se le asigna un color, el cual a su vez tiene una relación con los efectos a la salud. Teniendo en cuenta que el ICA tiene una correlación directa con los efectos en la salud, los puntos de corte del ICA son los límites correspondientes a efectos entre la salud y la calidad del aire. En el Artículo 21 de la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 se presentan los puntos de corte y el ICA se determina como:

$$ICAp = \frac{I_{\text{alto}} - I_{\text{bajo}}}{PC_{\text{alto}} + PC_{\text{bajo}}} \times (Cp - PC_{\text{bajo}}) + I_{\text{bajo}}$$

Ecuación 8 Índice de Calidad del aire.

Fuente: Resolución 2254 de 2017 del MADS, 2017.

Donde:

- ICA<sub>p</sub> = Índice de calidad del aire para el contaminante p
- CP = Concentración medida para el contaminante p



- PCAlto= Punto de corte mayor o igual a CP
- PCBajo = Punto de corte menor o igual a CP
- IAlto = Valor del ICA correspondiente al PCAlto
- IBajo = Valor del ICA correspondiente al PCBajo

En la siguiente tabla se presenta la interpretación del ICA y los puntos de cortes para el cálculo:

Tabla 129. Puntos de corte e interpretación del ICA

Indice de calidad del aire			Puntos de corte del ICA					
ICA	Color	Categoría	PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 h	PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 h	CO µg/m <sup>3</sup> 8 h	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> 1 h	NO µg/m <sup>3</sup> 1 h	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup> 8 h
0 – 50	Verde	Buena	0 – 54	0 – 12	0 – 5094	0 – 93	0 – 100	0 – 106
51 – 100	Amarillo	Aceptable	55 – 154	13 – 37	5095 – 10819	94 – 197	101 – 189	107 – 138
101 – 150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	155 – 254	38 – 55	10820 – 14254	198 – 486	190 – 677	139 – 167
151 – 200	Rojo	Dañina a la salud	255 – 354	56 – 150	14255 – 17688	487 – 797	678 – 1221	168 – 207
201 – 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 – 424	151 – 250	17689 – 34862	798 – 1583	1222 – 2349	208 – 393
301 – 500	Marrón	Peligrosa	425 – 604	251 – 500	34863 – 57703	1584 – 2629	2350 – 3853	394

Fuente: AGQ PRODYCON 2020, modificado de la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

#### 5.1.11.3.2. Resultados consulta SISAIRE y SVCA autoridades ambientales

La consulta ante el SISAIRE consiste en la identificación del SVCA y los parámetros objetivo de cada red de monitoreo. Para el caso del Proyecto, el cual se sitúa en los departamentos de Valle del Cauca y Risaralda, los SVCA cercanos al proyecto son los siguientes:

Tabla 130. SVCA del SISAIRE cercanos al Proyecto

ID	SVCA	Dpto.	Mpio.	Altitud	Primer Registro	Último registro	Coordenadas Magna Sirgas CTM12		Parámetros
							X	Y	
CA1	Cascajal	Valle del Cauca	Cali	1100	2019-04-12	2020-04-17	4608874	1925230	PM10
CA2	Pance	Valle del Cauca	Cali	1000	2003-12-10	2019-11-30	4607423	1923907	PM10, O3
CA3	Universidad del Valle	Valle del Cauca	Cali	983	2013-03-01	2019-11-30	4607341	1931989	PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3

ID	SVCA	Dpto.	Mpio.	Altitud	Primer Registro	Último registro	Coordenadas Magna Sirgas CTM12		Parámetros
							X	Y	
CA4	La Dolores	Valle del Cauca	Palmira	974	2019-03-07	2020-04-12	4613063	1945251	PM10, PM2.5
CA5	Móvil Palmira	Valle del Cauca	Palmira	1050	2019-01-01	2020-06-30	4632531	1946509	PM10, SO2, O3
CA6	Palmira	Valle del Cauca	Palmira	965	2007-01-01	2019-11-11	4633320	1949605	NO2, O3, PM10, SO2
CA7	Tuluá	Valle del Cauca	Tuluá	960	2019-10-10	2020-06-30	4645212	2007993	PM10, PM2.5, O3
CA8	Buga	Valle del Cauca	Guadalajara de Buga	969	2019-01-03	2020-03-22	4633581	1989662	PM10
CA9	Cuenca río Risaralda	Risaralda	La Virginia	980	2007-02-01	2020-03-01	4682476	2103551	PST, PM10

Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

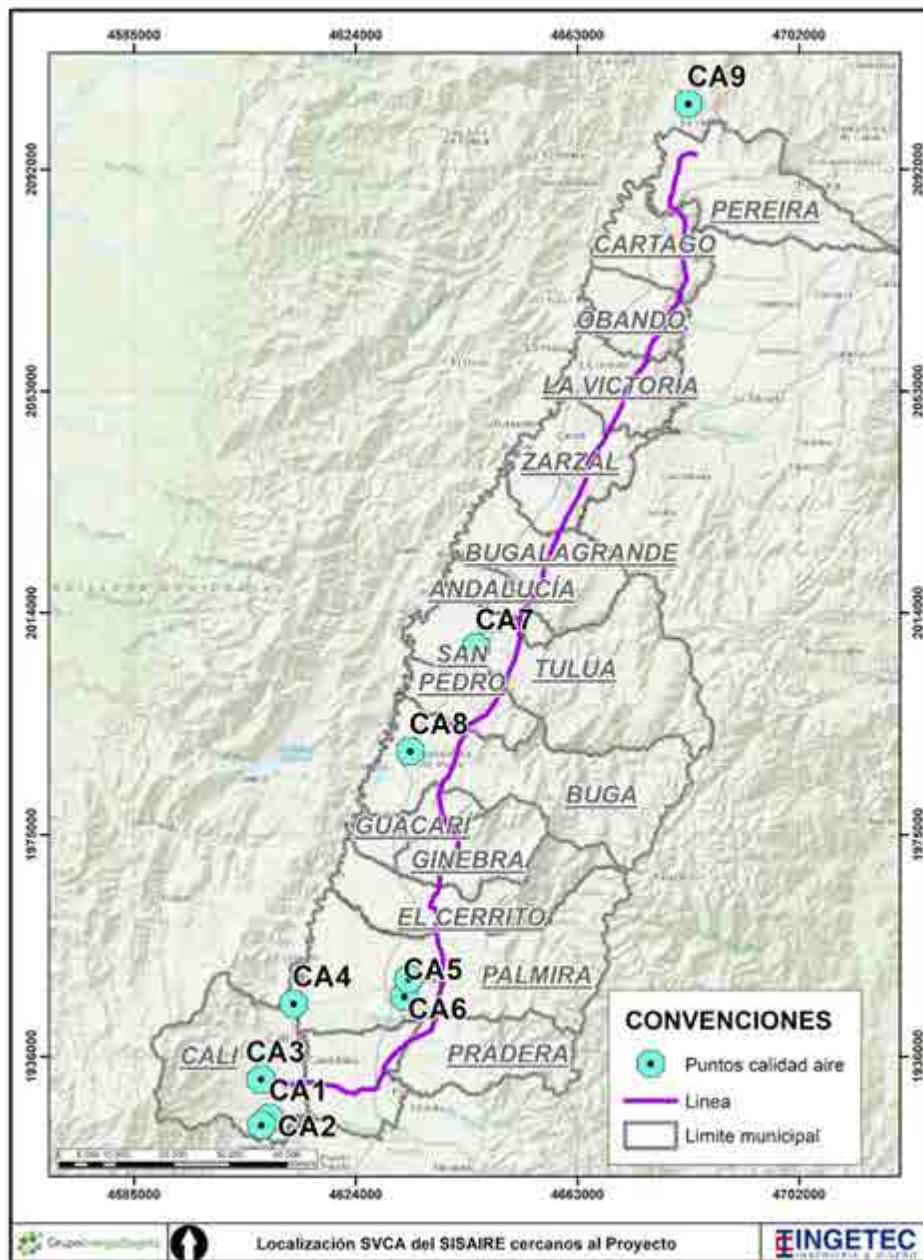


Figura 124. Localización SVCA del SISAIRE cercanos al Proyecto

Como se puede observar, cada SVCA tiene asociado diferentes contaminantes y fechas de registro de información. A continuación, se presentan los resultados de monitoreo de cada SVCA por contaminante. Vale resaltar que los resultados reportados corresponden a periodos de exposición diarios (a menos que se indique lo contrario) y los datos se

presentan en orden cronológico desde el período de instalación al último reporte generado en el SISAIRE. Además, en el periodo posterior a marzo de 2020, muchas estaciones dejaron de reportar resultados de monitoreos de calidad del aire debido a la emergencia sanitaria por COVID-19.

- PM10

El material particulado corresponde a cualquier partícula, en estado sólido o gaseoso, que se encuentran en suspensión en la atmósfera. Este se clasifica de acuerdo al tamaño de la partícula en evaluación, usualmente menor a 10 micras ( $PM_{10}$ ) y menor a 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ). El parámetro  $PM_{10}$  es el único que ha sido monitoreado en todos los SVCA del SISAIRE identificados. Algunas estaciones de monitoreo reportan periodos incompletos de medición, debido a fallas de los equipos, reordenamiento del SVCA del municipio o por mantenimiento o suspensión de estos.

El  $PM_{10}$  ha tenido un comportamiento muy variable desde los primeros monitoreos en los años 2003 y 2007 en las estaciones Pance y Palmira, hasta los últimos reportes en el año 2019 de todas las estaciones, con una tendencia leve a disminuir las concentraciones medias. Debido a que las SVCA reportan diferentes periodos de monitoreo, no es correcto comparar valores entre estaciones y cada SVCA se debe analizar por individual. Las concentraciones máximas y mínimas reportadas de  $PM_{10}$  en el área de estudio por cada SVCA se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 131. Valores máximos y mínimos  $PM_{10}$  SCVA SISAIRE

Estación	Valor máximo reportado $PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fecha de reporte valor máximo	Valor mínimo reportado $PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fecha de reporte valor mínimo
Cascajal (Cali)	90,1	2019-04-30	14,8	2019-10-18
Buga	54	2019-04-12	8,9	2019-03-01
Pance (Cali)	102	2015-08-28	2,53	2004-10-28
U. Valle (Cali)	52,75	2020-06-06	0,3	2005-12-17
Dolores (Palmira)	153,8	2019-10-18	6,6	2019-04-06
Móvil Palmira	68,27	2020-05-31	7,02	2020-06-03
Palmira	98,13	2018-03-04	4,1	2017-08-19
Tuluá	60,19	2020-01-20	1,86	2019-11-30

Estación	Valor máximo reportado PM10 (ug/m <sup>3</sup> )	Fecha de reporte valor máximo	Valor mínimo reportado PM10 (ug/m <sup>3</sup> )	Fecha de reporte valor mínimo
Cuenca río Risaralda	73,3	2008-06-13	2,02	2020-01-27

Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

Como se evidencia en la tabla anterior, las concentraciones de PM<sub>10</sub> son muy dinámicas respecto a la ubicación del SVCA y el periodo de muestreo. En la región urbana de Santiago de Cali (estaciones Cascajal, U. Valle y Pance) se observan concentraciones moderadas a altas de material particulado, en especial en los meses de enero, febrero, septiembre y octubre, relacionándose con la época seca de la ciudad. En las estaciones donde se monitoreó en los últimos dos años en la ciudad (Cascajal y U. Valle), las concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub> rondan entre 5 y 55 ug/m<sup>3</sup>, con algunos picos diarios de hasta 90 ug/m<sup>3</sup>. Se ve influenciado fuertemente la contaminación urbana en estas estaciones, lo que repercute en moderadas concentraciones.

En la región rural, las estaciones están ubicadas en los principales centros poblados del departamento. A pesar de que se encuentran en cabeceras municipales, las concentraciones de PM<sub>10</sub> son relativamente moderadas y varían fuertemente de un centro poblado a otro. En las estaciones de Buga y Tuluá se reportan las menores concentraciones medias de PM<sub>10</sub>, mientras que Palmira lidera las concentraciones más altas en sus diversas estaciones. Palmira tiene una tendencia de desarrollo metropolitana, debido a la cercanía a la ciudad de Cali y las actividades industriales entre ambas ciudades que las caracterizan, lo que explica los elevados niveles de contaminación. En cuanto a la única estación del departamento de Risaralda (Cuenca), esta reporta valores medios de PM<sub>10</sub> en un rango de 2 a 50 ug/m<sup>3</sup>, similares a los valores de los SVCA rurales Tuluá y Buga.

De todas las estaciones de monitoreo, y realizando la comparación frente al límite diario máximo permisible establecido en la normatividad ambiental vigente (Resolución 2254 de 2017), 4 de los 9 SVCA seleccionados han incumplido la normatividad diaria de PM<sub>10</sub> (75 ug/m<sup>3</sup>). Las estaciones con reporte de mayor contaminación corresponden a Pance, Palmira y U. Valle.

A continuación, se presentan las gráficas generadas por el SISAIRE con los valores de concentración de PM10 diarios en el periodo de operación de cada SVCA (Ver Anexo D10 Calidad del aire):

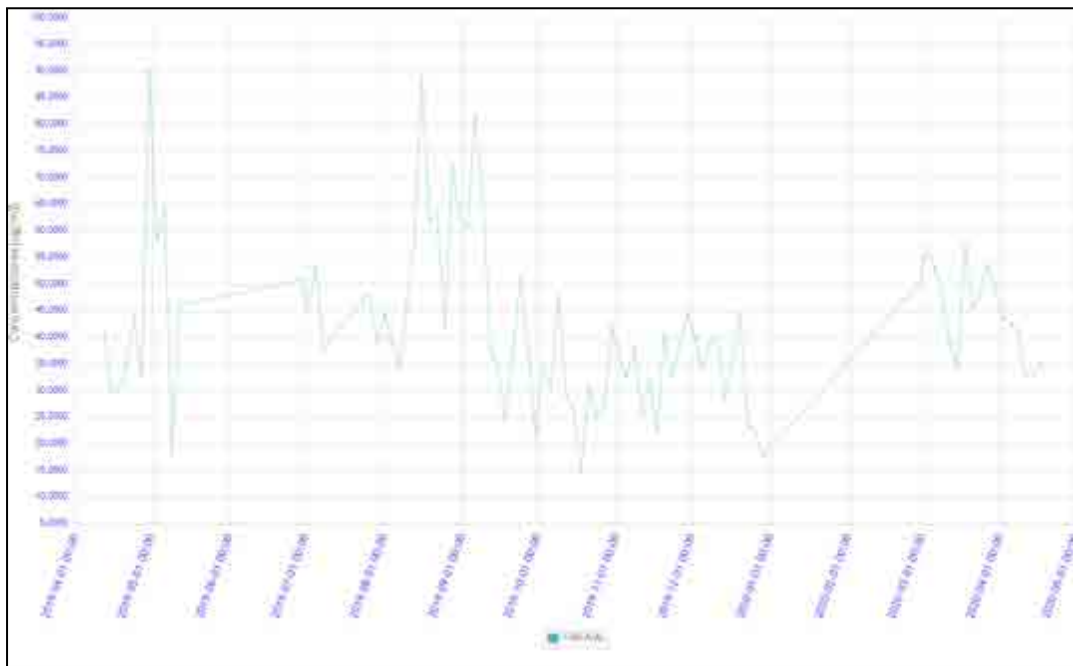


Figura 125. Resultados PM10 SVCA Cascajal (Cali)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

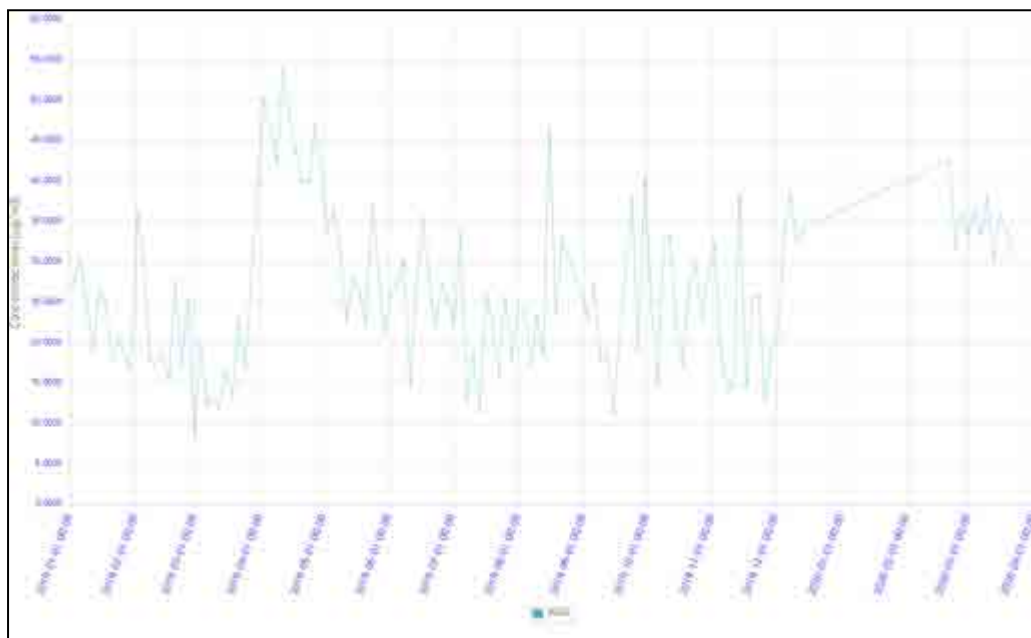


Figura 126. Resultados PM10 SVCA Buga  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

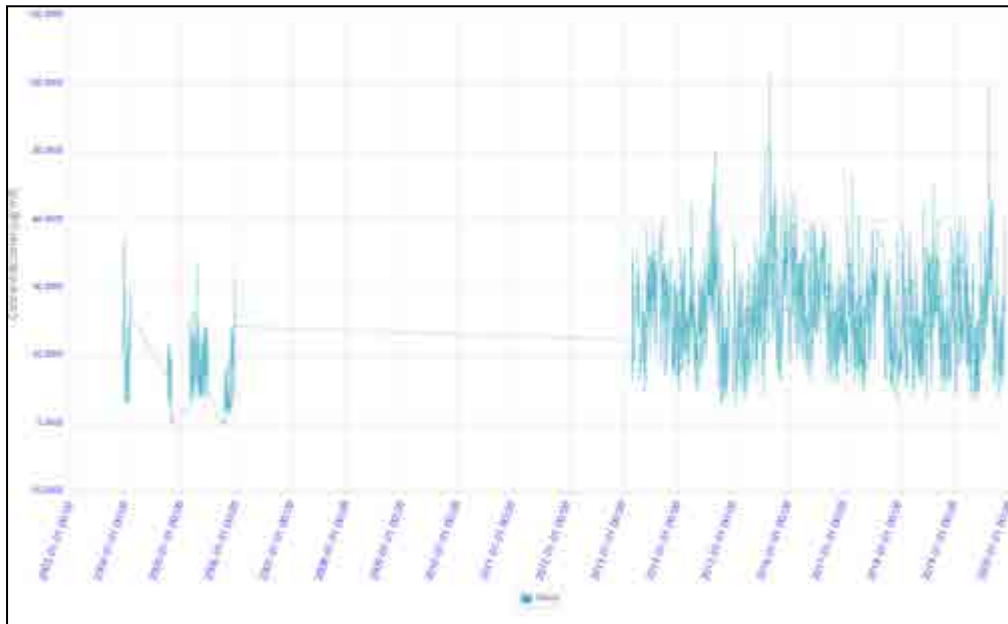


Figura 127. Resultados SVCA PM10 Pance (Cali)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

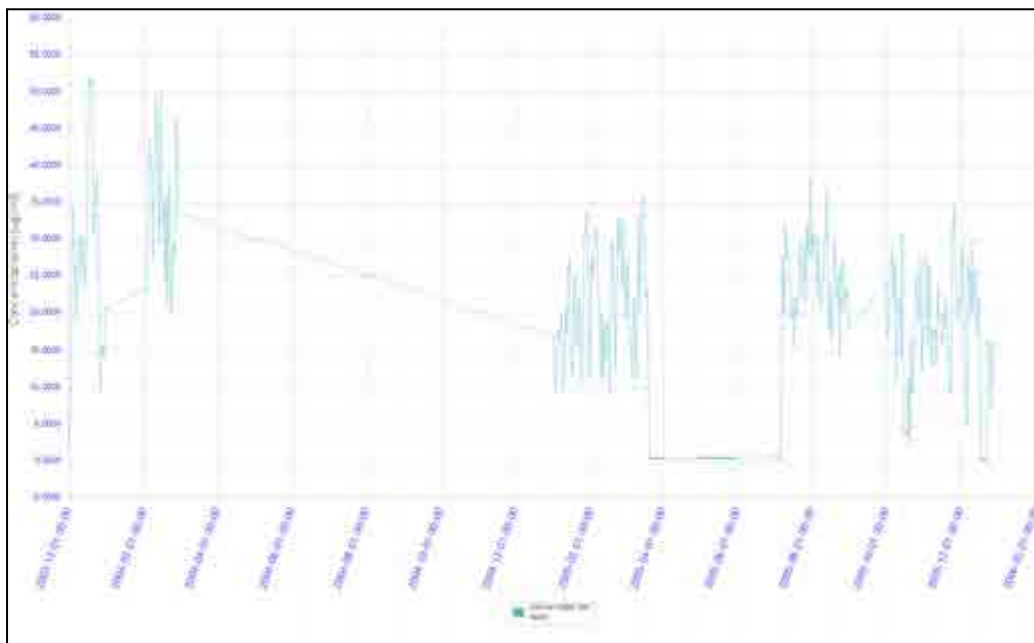


Figura 128. Resultados PM10 SVCA Universidad del Valle (Cali)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).



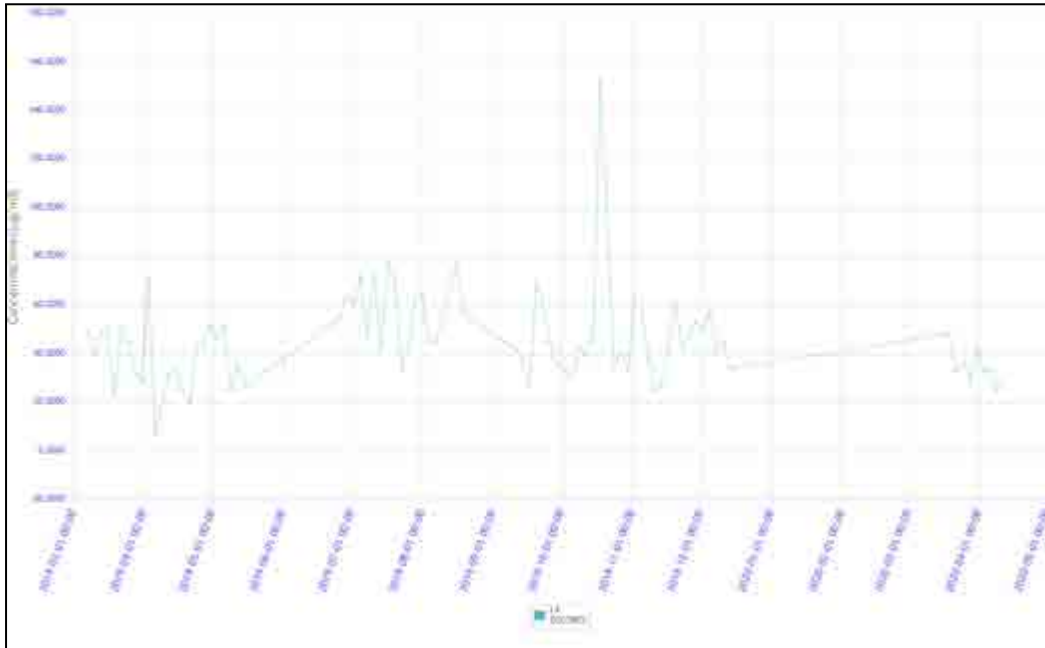


Figura 129. Resultados PM10 SVCA La Dolores (Palмира)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

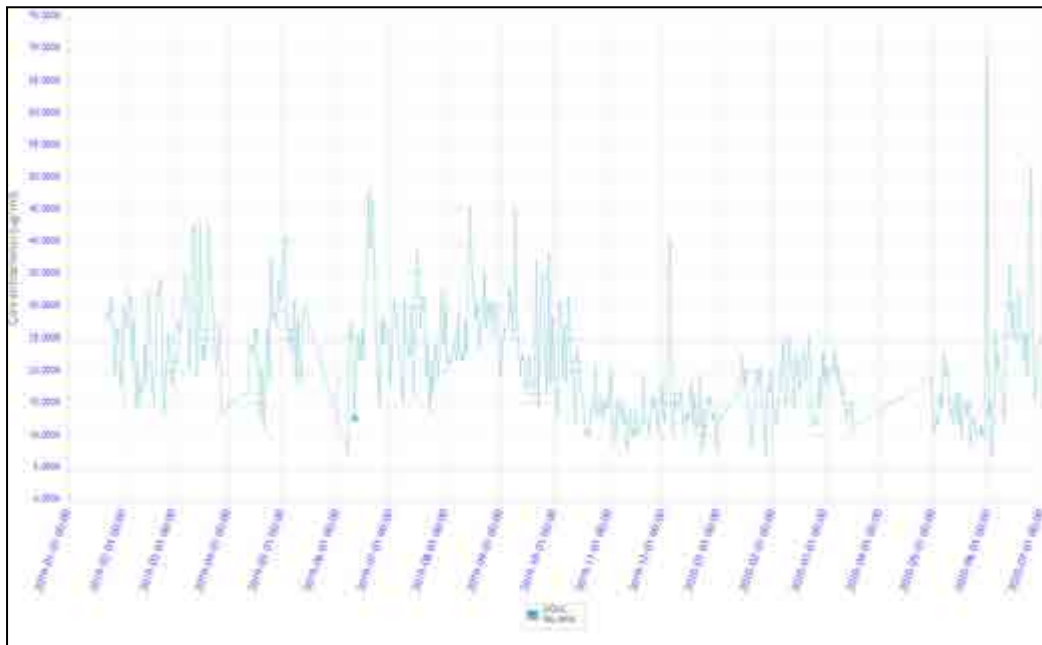


Figura 130. Resultados PM10 SVCA Móvil Palmira (Palмира)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

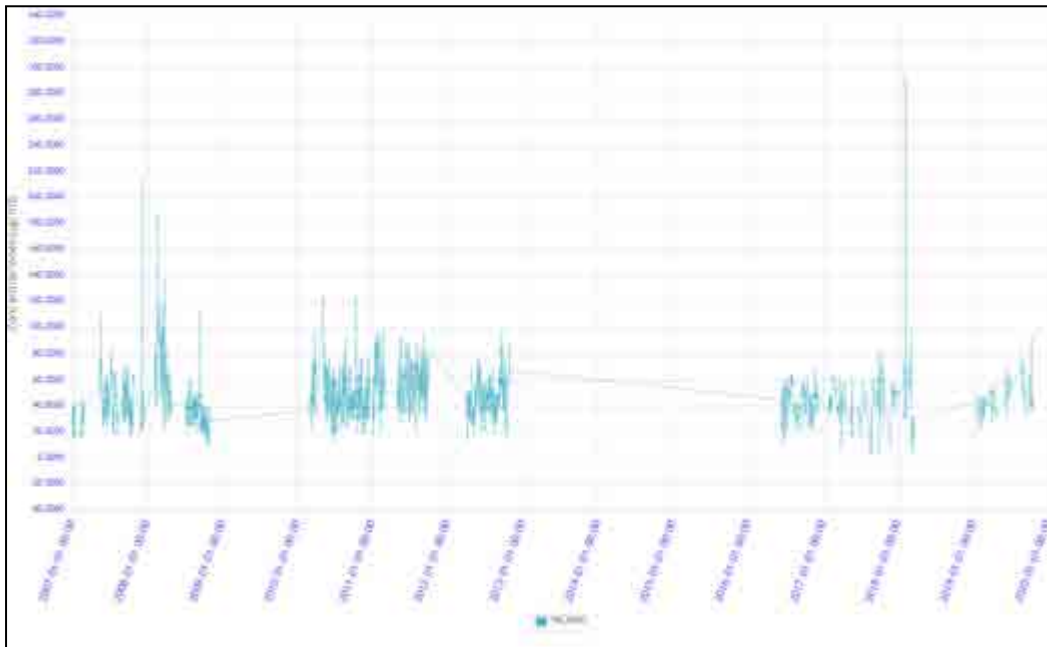


Figura 131. Resultados PM10 SVCA Palmira  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

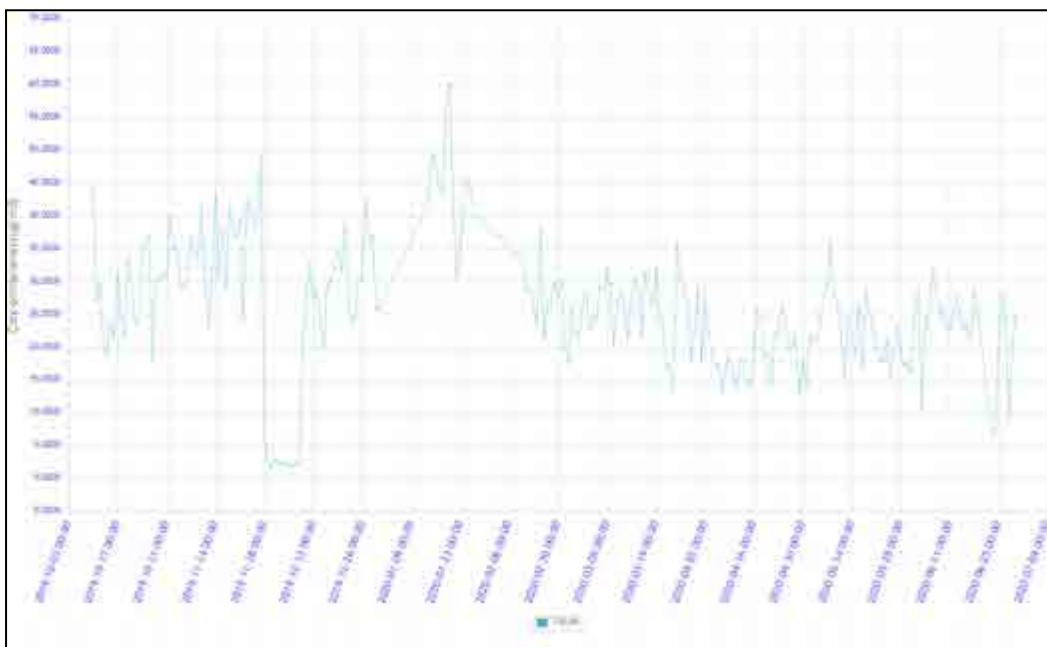


Figura 132. Resultados PM10 SVCA Tuluá  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

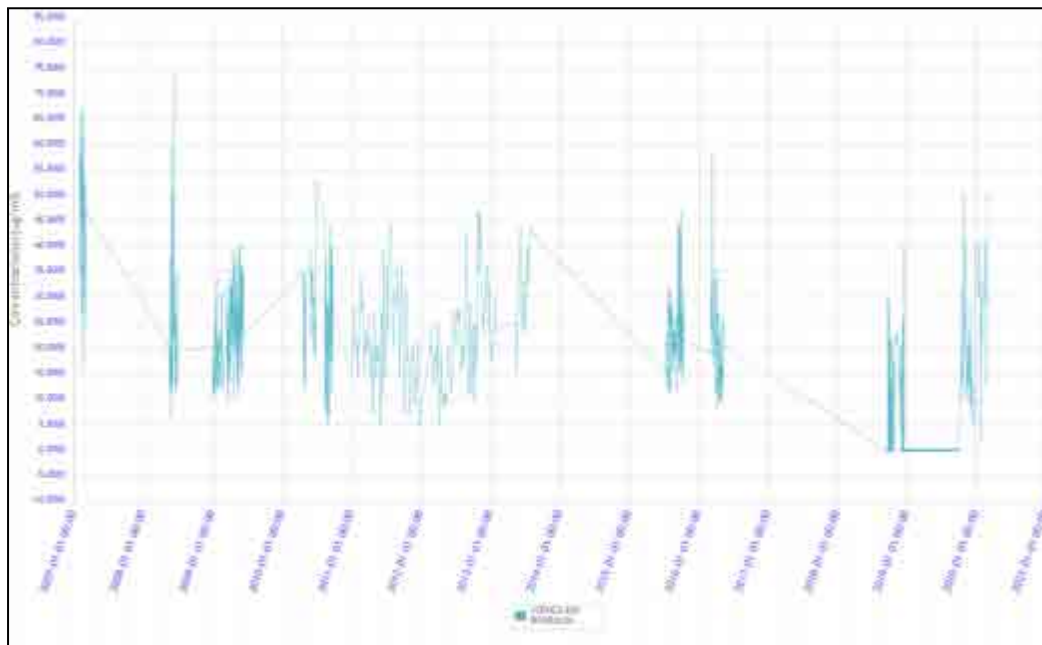


Figura 133. Resultados PM<sub>10</sub> SVCA Cuenca río Risaralda  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

- PM<sub>2.5</sub>

A diferencia del PM<sub>10</sub>, el PM<sub>2.5</sub> solo ha sido monitoreado en tres SVCA: Tuluá, U. Valle (Cali) y La Dolores (Palmira), las cuales se distribuyen en el sur y centro del Proyecto. La estación con mayor número de muestreos es la de U. Valle en la ciudad de Cali, con registros desde el 2003 hasta el 2019. En esta estación, la concentración máxima reportada en el periodo de medición es de 71,2 ug/m<sup>3</sup> en abril de 2014, mientras que la concentración más baja se dio en febrero del 2017 con un valor de 1 ug/m<sup>3</sup>. Se puede deducir que la contaminación por PM<sub>2.5</sub> varía entre 5 y 45 ug/m<sup>3</sup> la mayor parte del tiempo y particularmente en esta estación se observa un comportamiento creciente hasta el 2020 en el que drásticamente decayó a valores de hasta 5 ug/m<sup>3</sup>; posiblemente por la emergencia sanitaria del COVID-19 en el país y sus implicaciones económicas e industriales del territorio.

Las otras dos estaciones solo reportan datos de los años 2019 y 2020. Las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en ambas son bastante inferiores a las de la estación en la ciudad de Cali. Las concentraciones en el SVCA de Tuluá se encuentran entre 2 y 25 ug/m<sup>3</sup> y las del SVCA de Palmira entre 0,5 y 33 ug/m<sup>3</sup>. Tanto en los SVCA rurales como urbanos, las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> son muy inferiores a las de PM<sub>10</sub>, aunque se

requiere de un mayor número de SVCA para poder determinar una tasa de distribución de partícula de material particulado.

Comparando con la Resolución 2254 de 2017, solo la estación U. Valle reporta datos que superan el límite máximo normativo diario de PM<sub>2.5</sub> (37 ug/m<sup>3</sup>), concentrados en su mayoría en el periodo entre 2017 y 2020. A continuación, se presentan las gráficas generadas por el SISAIRE con los valores de concentración de PM<sub>2.5</sub> diarios en el periodo de operación de cada SVCA:

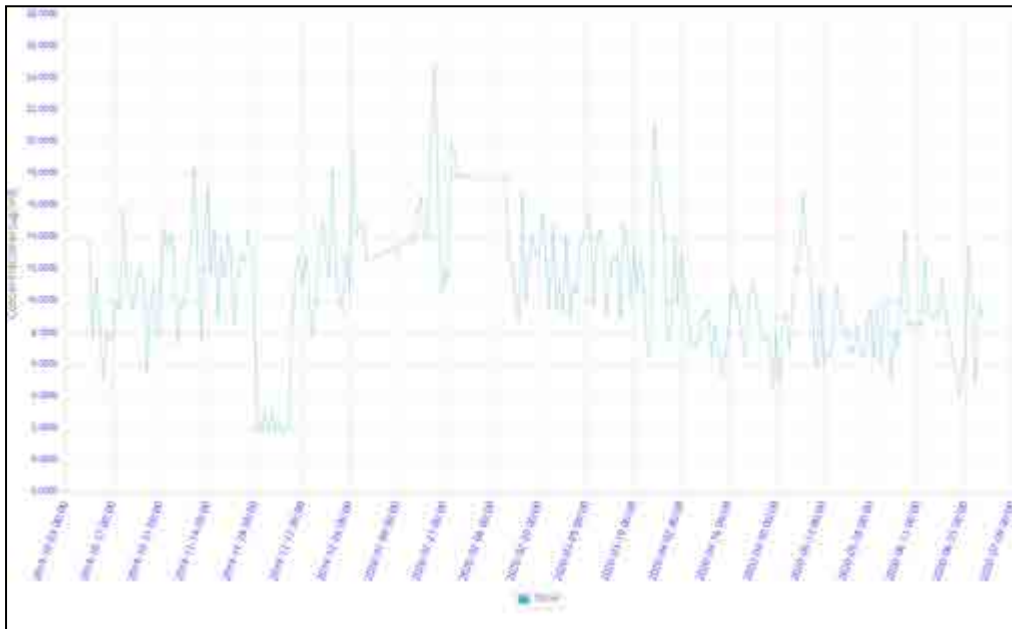


Figura 134. Resultados PM<sub>2.5</sub> SVCA Tuluá  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

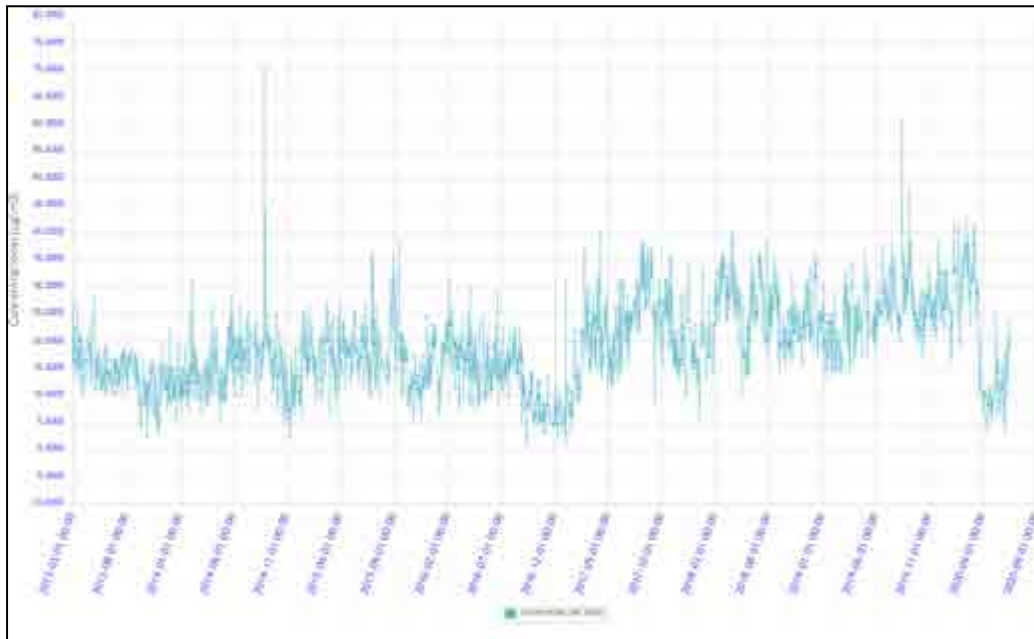


Figura 135. Resultados PM2.5 SVCA Universidad del Valle (Cali)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

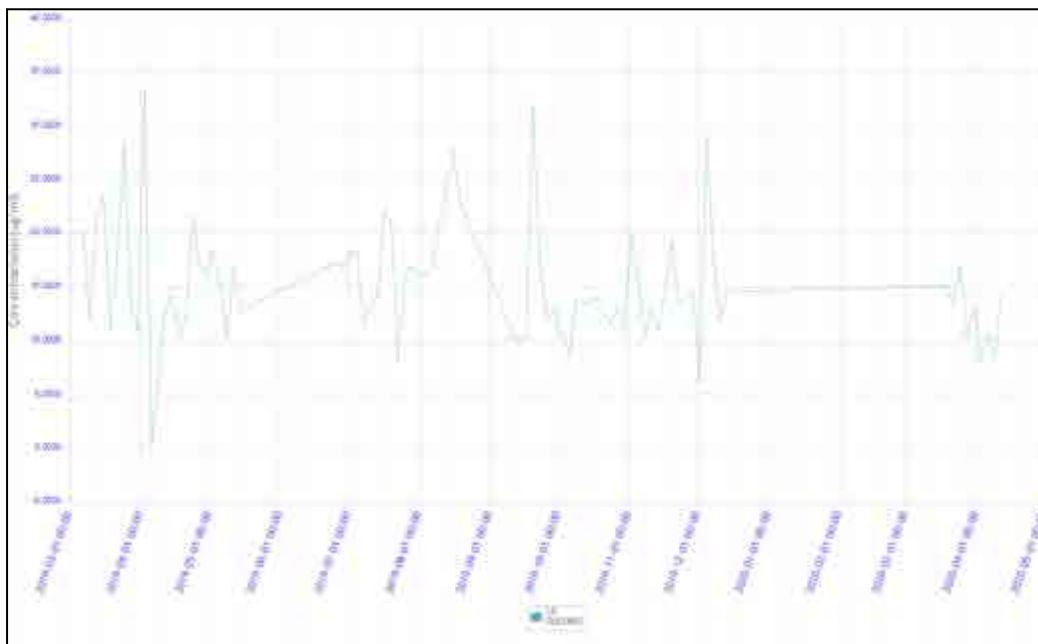


Figura 136. Resultados PM2.5 SVCA La Dolores (Palmira)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

- O<sub>3</sub>

Con respecto al ozono, 5 de las 9 estaciones de monitoreo reportaron resultados de medición, comprendidos entre 2004 y 2020. A diferencia del material particulado, el ozono es reportado como concentración media móvil de 8 horas, que de acuerdo con el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del IDEAM, corresponde al promedio de serie de datos ordenados cronológicamente cada 8 horas. Este método de cálculo permite disminuir las fluctuaciones en las series de varios datos y en un día se reporta la serie de 8 horas con mayor valor.

A pesar de que el ozono es un contaminante criterio, es de los que menos se monitorea al ser un contaminante secundario, es decir, la emisión de ozono es producto de reacciones o interacciones con otros contaminantes en la atmósfera; principalmente por la reacción fotoquímica de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (VOC). En el área de estudio se da la particularidad de que hay mayor número de estaciones monitoreando O<sub>3</sub> que PM<sub>2.5</sub>.

Las mayores concentraciones de O<sub>3</sub> se presentaron en el SVCA de Pance y U. Valle, ambas situadas en la ciudad de Cali. La máxima concentración reportada corresponde a 165 ug/m<sup>3</sup> en la estación de U. Valle en el año 2016, pero las concentraciones medias de esta estación oscilan entre 5 y 70 ug/m<sup>3</sup>, comportamiento similar que ocurre en la estación Pance. Las estaciones de Tuluá y Palmira reportaron concentraciones entre 2 y 30 ug/m<sup>3</sup> de O<sub>3</sub>. Como el ozono se relaciona directamente con fuentes móviles, se evidencia una mayor contaminación en la zona urbana que en la rural.

A continuación, se presentan las gráficas generadas por el SISAIRE con los valores de concentración octohoraria máxima por día de O<sub>3</sub> diarios en el periodo de operación de cada SVCA:

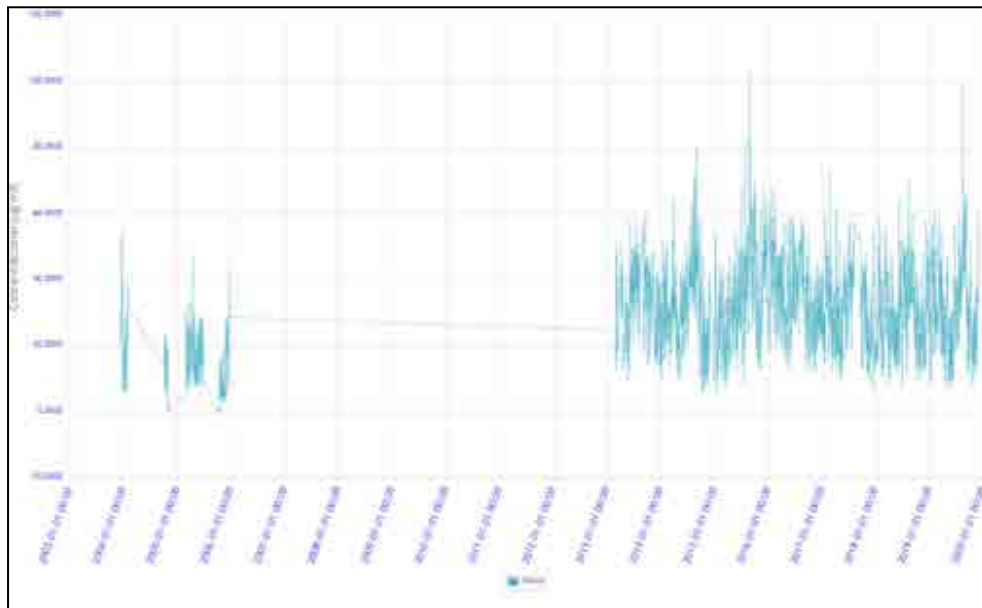


Figura 137. Resultados SVCA O3 Pance (Cali)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).



Figura 138. Resultados O3 SVCA Tuluá  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).



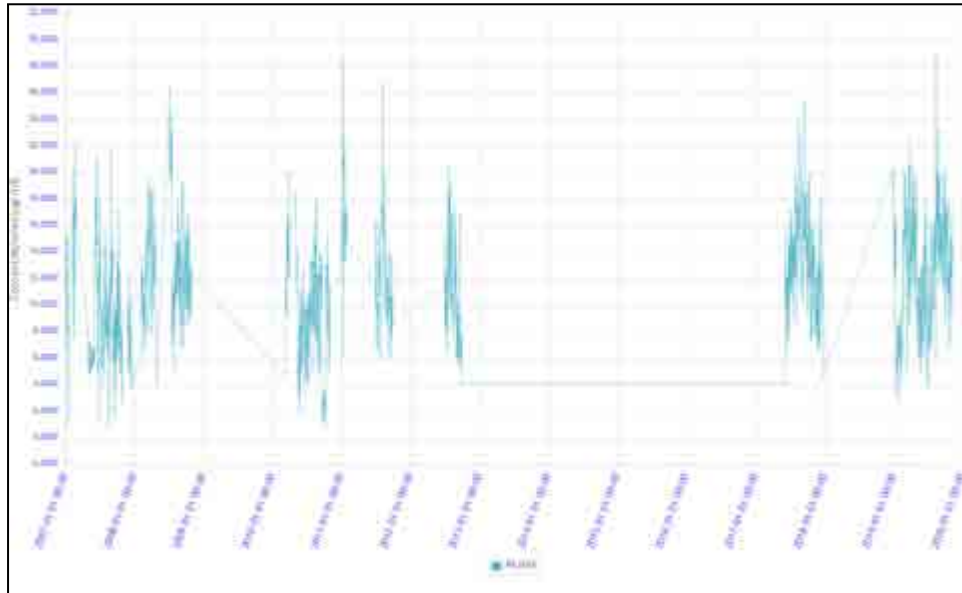


Figura 139. Resultados O3 SVCA Palmira  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

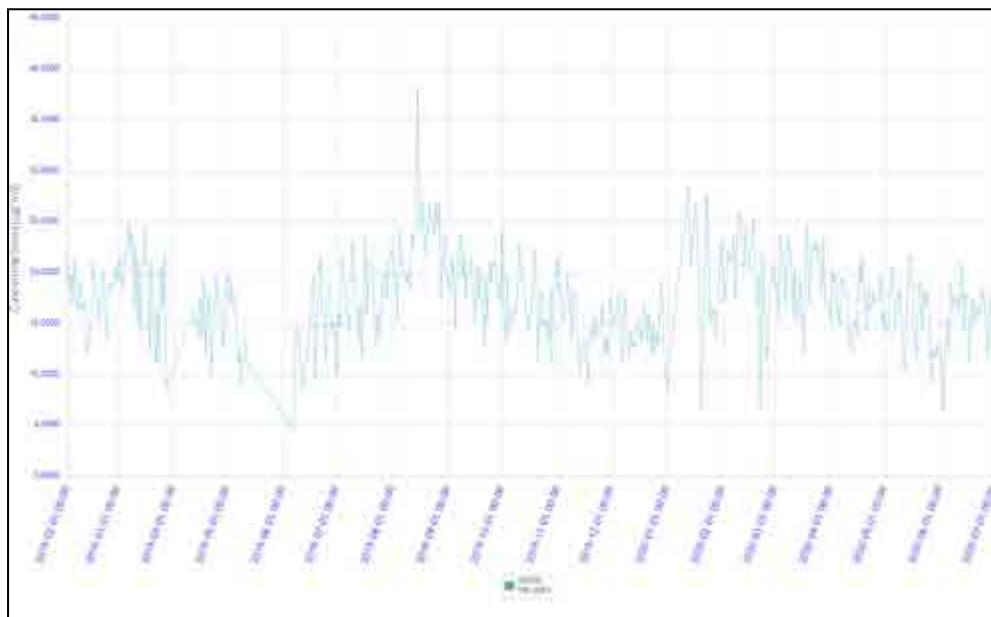


Figura 140. Resultados O3 SVCA La Dolores (Palmira)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

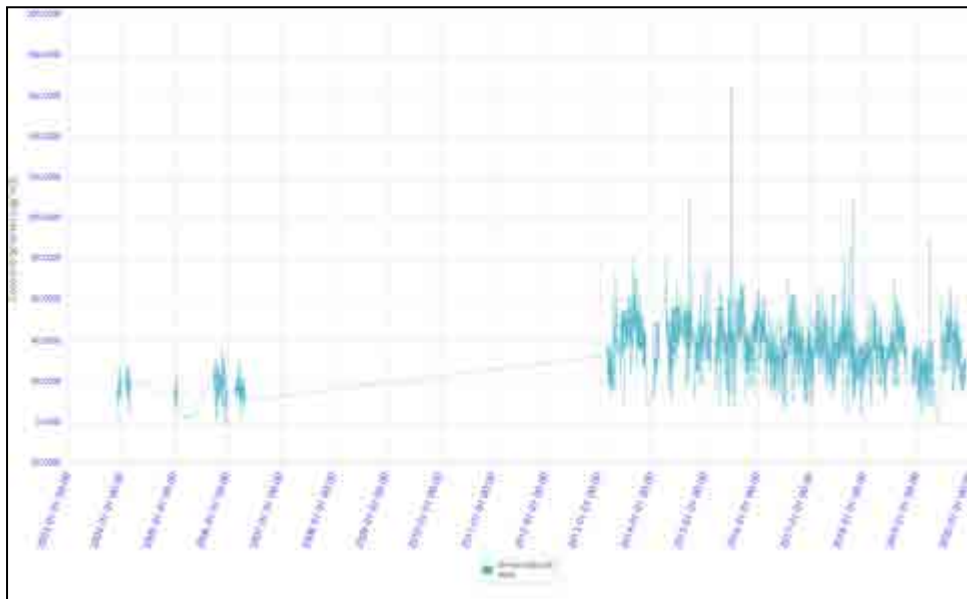


Figura 141. Resultados O3 SVCA Universidad del Valle (Cali)  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

- SO<sub>2</sub>

Para el caso del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), solo tres estaciones han realizado monitoreo a la fecha, una en la ciudad de Cali (U. Valle) y dos en Palmira. Este contaminante usualmente se encuentra en menor concentración que el material particulado, aunque su presencia está estrechamente relacionada con un incremento en el material particulado en el aire. El SO<sub>2</sub> es emitido principalmente producto de procesos de combustión, relacionado directamente con el contenido de azufre en los combustibles utilizados. Desde la exigencia normativa en el país del uso de combustibles con muy poca concentración de azufre, la calidad del aire en términos de SO<sub>2</sub> ha mejorado drásticamente.

En la ciudad de Cali, el SVCA U. Valle tiene reportes de SO<sub>2</sub> en el periodo del 2003 al 2006, época en que se estaba implementando la exigencia de calidad de combustibles en el país. Por lo anterior, se puede observar concentraciones moderadas de SO<sub>2</sub> en la ciudad, de hasta 35 ug/m<sup>3</sup>. Las concentraciones oscilan entre 0,1 y 20 ug/m<sup>3</sup> mayoritariamente.

En la ciudad de Palmira se cuenta con dos estaciones, la estación principal de Palmira que solo tiene datos entre el 2007 y el 2008, y la estación móvil de Palmira con datos de los últimos dos años. La primera estación presenta un comportamiento similar al caso de

la estación de la ciudad de Cali, con concentraciones moderadas a altas, incluso con picos de hasta  $85 \text{ ug/m}^3$ . No obstante, la mayoría de los datos se encuentran entre  $2$  y  $30 \text{ ug/m}^3$ . La segunda estación de Palmira, con datos más recientes, sí ilustra rangos de concentración de  $\text{SO}_2$  actualizados. El valor más alto es de  $6,5 \text{ ug/m}^3$  en marzo de 2019, y el valor más bajo se dio en diciembre del mismo año por un valor de  $0,3 \text{ ug/m}^3$ .

Se puede evidenciar una disminución importante de concentraciones en los años de transición entre ambos SVCA. Realizando la comparación normativa del límite diario máximo permisible ( $100 \text{ ug/m}_3$ ) con los resultados de las estaciones identificadas, se puede deducir que la estación móvil Palmira se encuentra bajo cumplimiento, mientras que las otras dos estaciones reportaron incumplimiento en varios días de monitoreo.

A continuación, se presentan las gráficas generadas por el SISAIRE con los valores de concentración octohoraria máxima por día de  $\text{SO}_2$  diarios en el periodo de operación de cada SVCA:

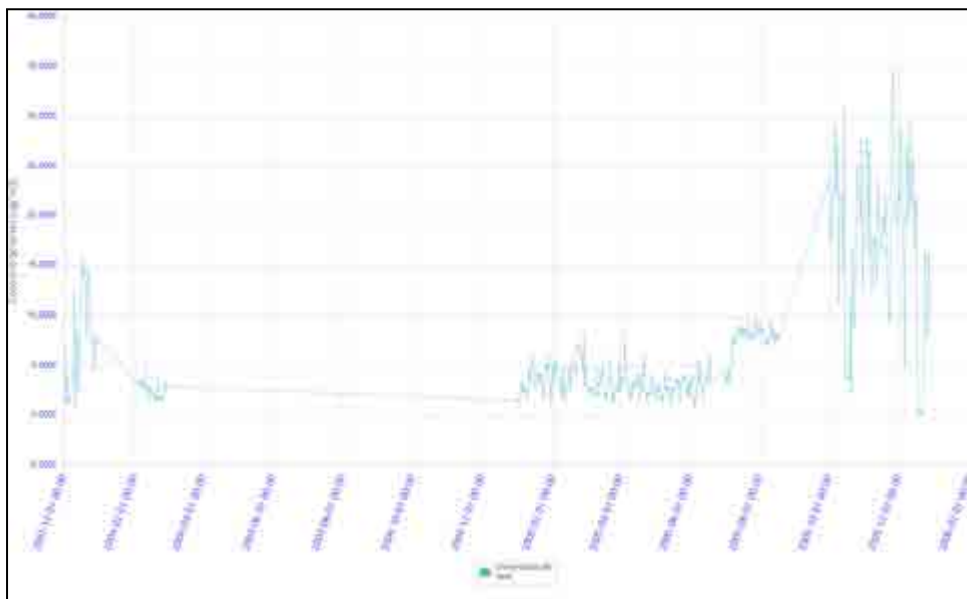


Figura 142. Resultados  $\text{SO}_2$  SVCA Universidad del Valle (Cali)  
Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).



Figura 143. Resultados SO2 SVCA Móvil Palmira  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

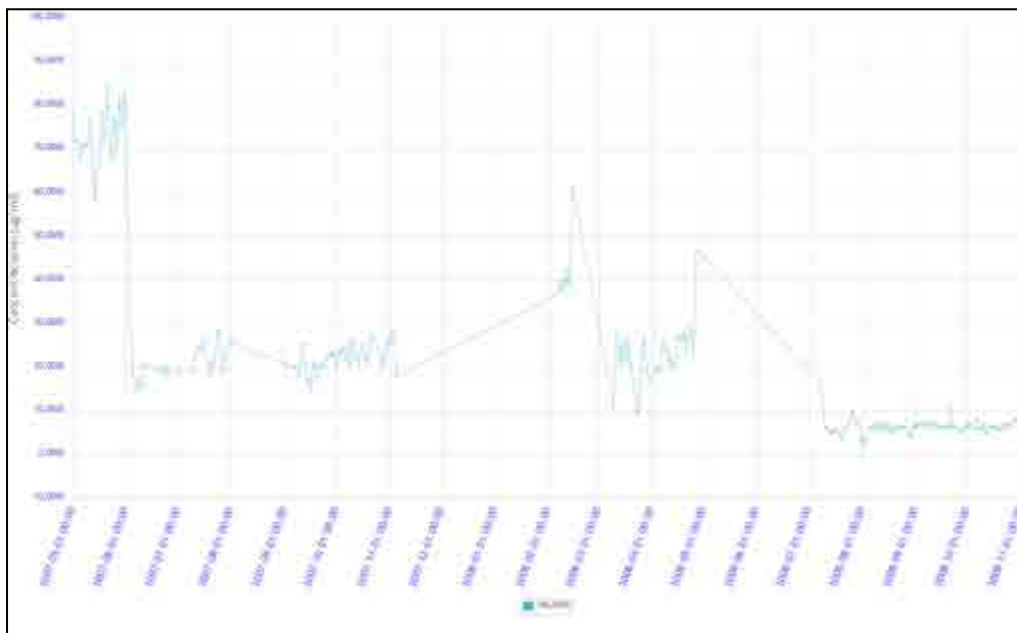


Figura 144. Resultados SO2 SVCA Palmira  
 Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

- NO<sub>2</sub>

Continuando con el NO<sub>2</sub>, este gas contaminante también es generado principalmente como subproducto de los procesos de combustión a altas temperaturas, en las que el nitrógeno del aire es oxidado a óxidos de nitrógeno y emitido a la atmósfera. El NO<sub>2</sub> también es conocido como precursor del ozono troposférico al reaccionar fotoquímicamente con la luz y el oxígeno presente en el aire.

En los SVCA seleccionados, solo dos han realizado monitoreo a este parámetro: U. Valle y Pance, ambos ubicados en la ciudad de Cali. Ambas estaciones reportan un comportamiento similar del contaminante y en periodos similares de monitoreo. La estación Pance tiene datos desde el 2010 hasta el 2018, aunque reporta varios lapsos de ausencia de información entre el 2012 y 2016. La estación U. Valle tiene mediciones desde el 2013 hasta el 2019.

La concentración máxima reportada en ambas estaciones es de 48,6 ug/m<sup>3</sup> en octubre del 2011, pero las concentraciones de manera general oscilan entre 5 y 25 ug/m<sup>3</sup>. Como los límites normativos de la Resolución 2254 de 2017 para el contaminante NO<sub>2</sub> se encuentran a periodos de exposición horario y anual y no diario, no es posible realizar una comparación directa de cumplimiento. Tomando el valor anual como indicativo (60 ug/m<sup>3</sup>), no se presentaría incumplimiento en ningún momento de los monitoreos.

A continuación, se presentan las gráficas generadas por el SISAIRE con los valores de concentración octohoraria máxima por día de NO<sub>2</sub> diarios en el periodo de operación de cada SVCA:

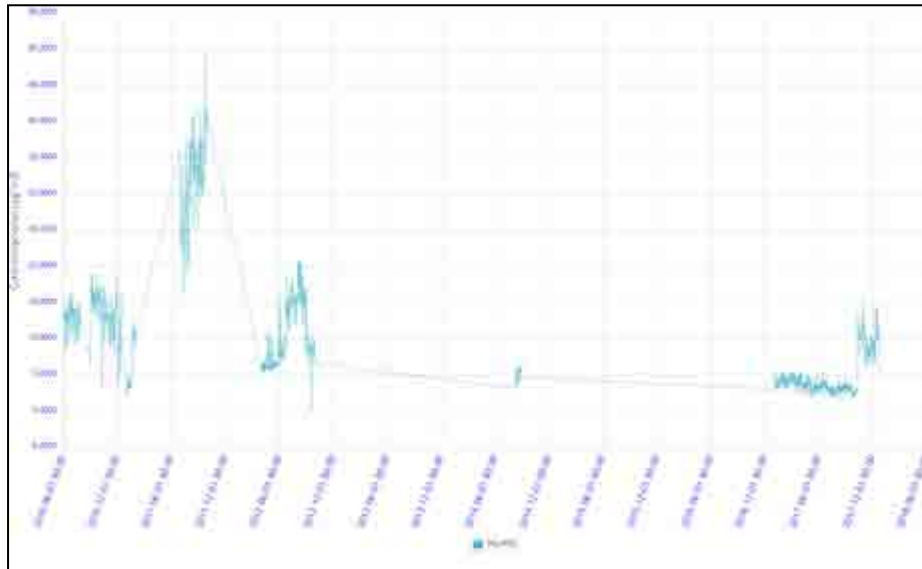


Figura 145. Resultados NO2 SVCA Pance (Cali)  
Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

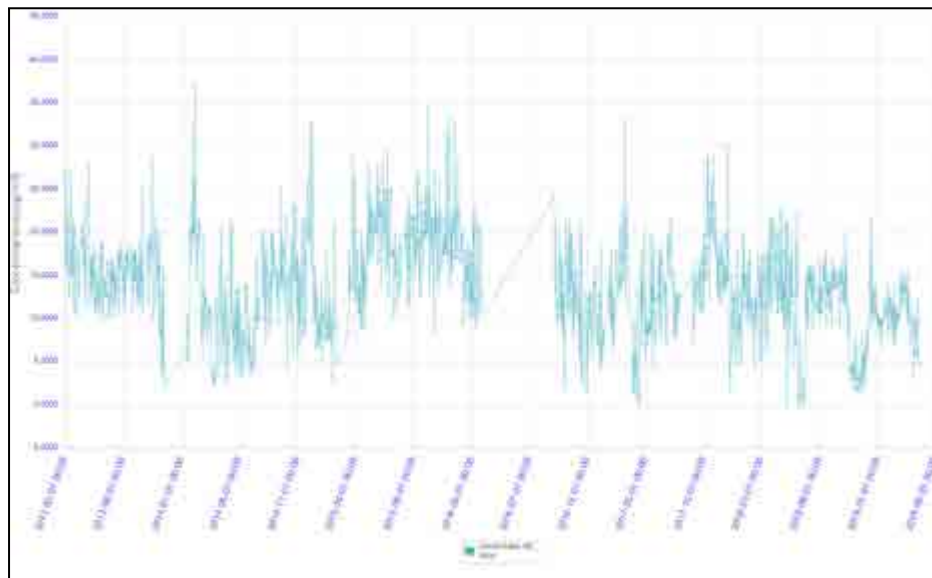


Figura 146. Resultados NO2 SVCA Universidad del Valle (Cali)  
Fuente: SISAIRE - IDEAM. (2020).

### 5.1.11.3.3. Monitoreo calidad del aire 2018 GEB

El GEB llevó a cabo una campaña de monitoreo de calidad del aire a lo largo del corredor de la línea eléctrica en el año 2018. Los monitoreos se llevaron a cabo por la Corporación Integral del Medio Ambiente C.I.M.A., acreditada por el IDEAM mediante Resolución 2085 del 01 de octubre de 2015, extendida en la resolución 918 del 17 de mayo del 2016 bajo la norma NTC ISO/IEC 17025:2005; de acuerdo con lo establecido en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire definido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) en 2010.

Esta actividad se realizó durante 18 días continuos, entre el 12 de enero de 2018 y el 30 de enero de 2018; por lo que las lecturas se dieron en temporada seca de acuerdo con datos históricos reportados por el IDEAM y la caracterización meteorológica presentada en el numeral 5.1.12.1 Meteorología. La metodología de monitoreo y evaluación de calidad del aire en el área de influencia, utilizada por el laboratorio CIMA fueron las estipuladas por la US EPA CFR título 40 parte 50, sin embargo, a continuación, se presenta una generalidad de las mismas, donde se muestran los equipos utilizados, criterios para la ubicación de las estaciones de medición y los métodos de muestreo. Para realizar el muestreo se utilizaron los siguientes equipos y metodologías:

- Equipos Hi-vol (PM-10).
- Trenes de gases para recolección y determinación de NO<sub>2</sub>, y SO<sub>2</sub>
- Analizador de monóxido de carbono (CO)

Tabla 132. Métodos de muestreo calidad del aire 2018



Parámetro	Muestreo	Método de análisis	Referencia
Material Particulado < 10 micras (PM-10)	Hi-vol – PM-10	Gravimétrico	US EPA CFR Titulo 40, Parte 50 Apéndice J
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Tren de muestreo Andersen	Colorimétrico (Pararosanilina)	US EPA CFR Titulo 40 Parte 50 Apéndice A-2 Pararosanilina
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Tren de muestreo Andersen	Colorimétrico (NEDA)	Método N° 408. Methods of Air Sampling and Analysis, 3rd Ed. 1988
Monóxido de carbono (CO)	Analizador de monóxido de carbono (CO)	Método Automático Equivalente US EPA RFCA-0506-158 para rango de concentraciones 0 - 50 ppm.	US EPA CFR, Título 40, Capítulo 1, Subcapítulo C Parte 50. Apéndice C, Infrarrojo no dispersivo, Método equivalente automatizado RFCA -0506-158 (Serial: 1JS71VM3)

Fuente: GEB. (2018).






En la Tabla 133 y Figura 147 se relaciona la descripción y ubicación de las estaciones de monitoreo establecidas en el estudio del 2018:

Tabla 133. Descripción estaciones de monitoreo calidad del aire 2018

Estaciones de Monitoreo						
ID	Nombre	Coordenadas Origen Nacional		Fuentes de emisión		Registro Fotográfico
CA1-GEB	CA1 La Virginia - Alférez	N	2094662,244	Clima	La temperatura oscila entre 17.0 °C y 24.0 °C	
		E	4684993,573	Fuentes potenciales de emisión	Fijas: Fabrica de panela. Cocinas de leña y bagazo.	
		msnm	1172		Móviles: Vía de acceso al corregimiento, la cual se encuentra destapada.	
<p>Descripción general: la estación CA1-GEB se encuentra ubicada dentro de la jurisdicción de un predio dedicado al cultivo de caña de azúcar y fabricación de panela, la estación quedó localizada aproximadamente a 1 km de la estación eléctrica de La Virginia. Aproximadamente a 150 metros se encuentra la fábrica de panela, corrales habilitadas para la alimentación de mulas y caballos, también de la comunidad quienes tienen su fuente de empleo en la fábrica.</p>						
ID	Nombre	Coordenadas Origen Nacional		Fuentes de emisión		Registro Fotográfico
CA2-GEB	CA2 La Virginia - Alférez	N	2068683,280	Clima	La temperatura oscila entre 19,0 ° C y 30,0° C.	
		E	4680237,042	Fuentes potenciales de emisión	Fijas: Cocinas de leña en viviendas aledañas.	
		msnm	1258		Móviles: Vía veredal ubicada a 9 metros.	
<p>Descripción general: La Estación 2 se encuentra ubicada en el corregimiento de Villarodas, en jurisdicción del municipio de Obando, Valle del Cauca, a unos metros del área donde realizan sacrificio de ganado para venta de carne.</p>						
ID	Nombre	Coordenadas Origen Nacional		Fuentes de emisión		Registro Fotográfico

Estaciones de Monitoreo						
CA3-GEB	CA3 La Virginia - Alférez	N	2019143,730	Clima	La temperatura oscila entre 24,0°C y 32,0°C	
		E	4656852,817	Fuentes potenciales de emisión	Fijas: Cocinas de leña en viviendas aledañas.	
		msnm	1145		Móviles: Tránsito de vehículos por la vía veredal aledaña.	
Descripción general: La estación 3 se encuentra ubicada en la vereda Raizales, jurisdicción del municipio de Bugalagrande, geografía del terreno muy arenoso, resaltan las ondulaciones cortas como pequeños montes donde se ubican las casas sobre las cimas de las colinas.						
ID	Nombre	Coordenadas Origen Nacional		Fuentes de emisión		Registro Fotográfico
CA4-GEB	CA3 San Marcos - Alférez	N	1931007,781	Clima	La temperatura oscila entre 23,8°C y 33,4°C	
		E	4611469,214	Fuentes potenciales de emisión	Fijas: No presenta.	
		msnm	980		Móviles: Tránsito de vehículos en la portería de la subestación	
Descripción general: La estación 3 (San Marcos) se encuentra ubicada en la zona rural de ciudad de Cali, departamento del Valle del Cauca, cerca de la portería de la subestación de energía Alférez II, en donde el acceso es totalmente restringido para personal no autorizado, sin embargo transitan vehículos como camionetas, automóviles y motocicletas del personal que labora en la estación de energía. Se observa que uno de los principales usos del suelo de la zona hace referencia al cultivo de caña. De igual manera se observa que la vía que dirige a la estación es totalmente destapada y comunica con una vía terciaria que se interconecta con la parte rural del sector y con la ciudad de Cali.						
ID	Nombre	Coordenadas Origen Nacional		Fuentes de emisión		Registro Fotográfico
CA5-GEB	CA4 La Virginia - Alférez	N	1991746,138	Clima	La temperatura oscila entre 16,0 ° C y 26,6° C.	
		E	4645010,802	Fuentes potenciales de emisión	Fijas: No presenta.	
		msnm	1622		Móviles: Flujo vehicular por la vía aledaña.	
Descripción general: La estación 4 se encuentra ubicada en un predio en el cual funciona una escuela rural, de la vereda Los Medios, a unos 50 m, se encuentra la vía intermunicipal, la cual se encuentra pavimentada, el uso del suelo a su alrededor es ganadero, y se ubican algunas casas cerca.						

Estaciones de Monitoreo						
ID	Nombre	Coordenadas Origen Nacional		Fuentes de emisión		Registro Fotográfico
CA6-GEB	CA5 La Virginia - Alférez	N	1987879,041	Clima	La temperatura oscila entre 16,3°C y 27,1°C	
		E	4642660,674	Fuentes potenciales de emisión	Fijas: Cocina de leña en vivienda aledaña.	
		msnm	1280		Móviles: No se evidencia.	
Descripción general: La estación 5 se encuentra ubicado en un predio localizado en la vereda la Magdalena, en jurisdicción en zona rural de Buga valle del cauca, el uso del suelo es netamente ganadero, con cubrimiento vegetal.						
ID	Nombre	Coordenadas Origen Nacional		Fuentes de emisión		Registro Fotográfico
CA7-GEB	CA6 La Virginia - Alférez	N	1975049,331	Clima	La temperatura oscila entre 21,9 °C y 32,1 °C.	
		E	4641356,951	Fuentes potenciales de emisión	Fijas: Cocina de leña en viviendas aledañas. Frente de obra en un punto cercano.	
		msnm	1100		Móviles: Vías aledañas descapotadas con tráfico vehicular importante.	
Descripción general: La estación 6 de la línea de transmisión La Virginia-Alférez se encuentra ubicada en la zona rural de Puente Rojo en jurisdicción del municipio de Ginebra, Valle del Cauca, en el predio de una vivienda del sector. El piso en su gran parte es de cemento, y a su alrededor se encuentra cobertura vegetal, árboles de gran envergadura y viviendas cercanas.						
ID	Nombre	Coordenadas Origen Nacional		Fuentes de emisión		Registro Fotográfico
CA8-GEB	CA7 La Virginia - Alférez	N	1958349,615	Clima	La temperatura oscila entre 22 ° C y 28,2° C.	
		E	4644569,772	Fuentes potenciales de emisión	Fijas: No presenta	
		msnm	990		Móviles: Flujo de vehículos por vía cercana.	
Descripción general: La estación 7 de la línea de transmisión La Virginia-Alférez se encuentra ubicada en la zona						

<b>Estaciones de Monitoreo</b>	
	rural Tablones de la jurisdicción de Palmira, Valle del Cauca. Su ubicación está en el predio de una vivienda del sector de Laureles 7, cerca de la vía rural que intercomunica Tablones-Palmira. El suelo está totalmente cubierto por capa vegetal y a su alrededor se encuentran árboles de gran envergadura.

Fuente: GEB. (2018).

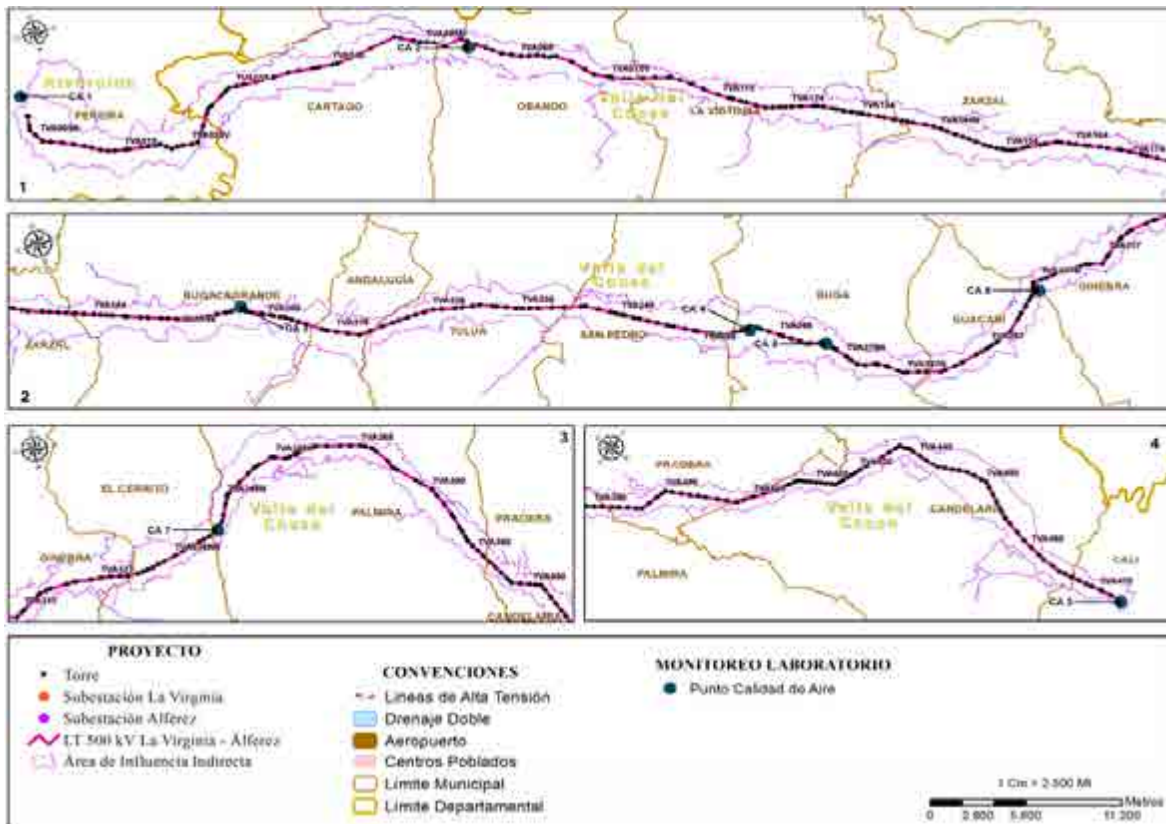


Figura 147. Localización estaciones de monitoreo calidad del aire GEB 2018

Fuente: GEB. (2018).

Los resultados obtenidos permitieron evidenciar el nivel de contaminación atmosférica en el área de influencia del proyecto para el año de estudio (2018) (Ver Anexo D10 Calidad del aire). A continuación, se presenta en resumen los resultados obtenidos por cada contaminante:

- PM10

En la Figura 148 se presenta la concentración promedio de cada estación de monitoreo:

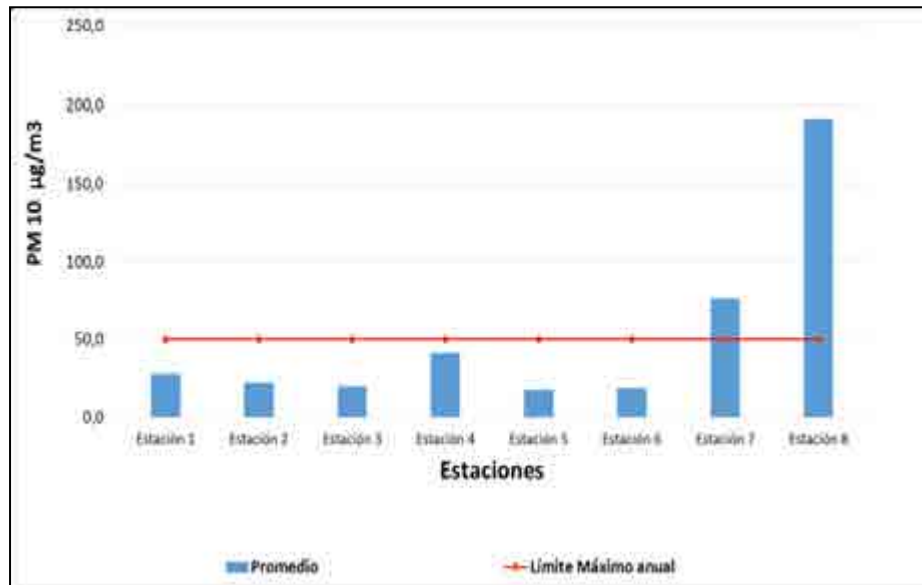


Figura 148. Resultados PM10 estudio calidad del aire 2018  
 Fuente: GEB. (2018).

De acuerdo a los resultados anteriores se puede observar que para las estaciones 7 y 8 se presentaron días en los cuales se excedió el límite permisible establecido por la normatividad vigente para tiempos de exposición diarios ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) lo anterior puede estar directamente relacionado con la ubicación de las estaciones, acercándose estas zonas de áreas con mayor población, así mismo zonas más desarrolladas a nivel industrial, por otro lado y no menos importante se referencia a los cultivos de caña ya que la presencia de estos hace que influyan en los resultados de los monitoreos de calidad de aire por  $\text{PM}_{10}$ .

- NO2

En la Figura 149 se presenta la concentración promedio de cada estación de monitoreo:

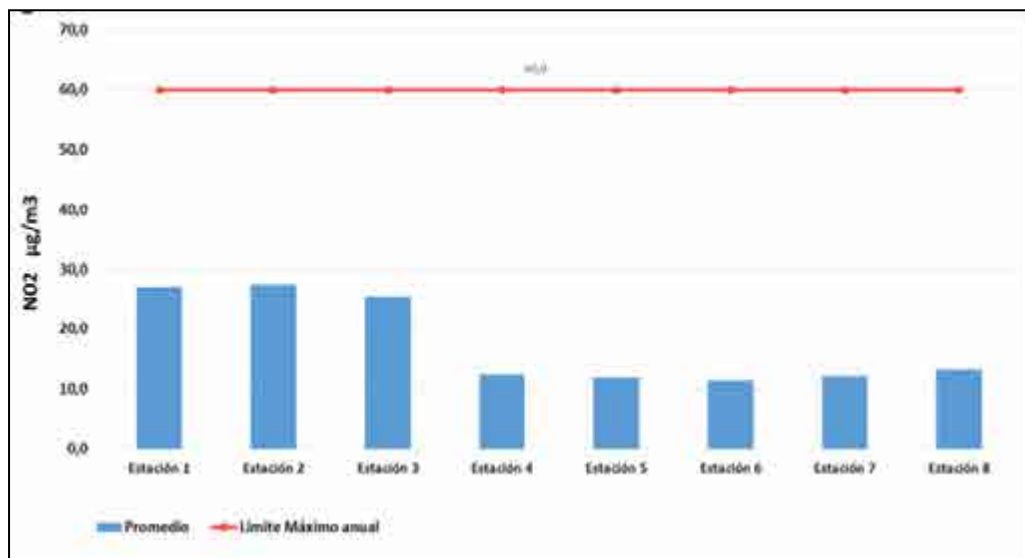


Figura 149. Resultados NO<sub>2</sub> estudio calidad del aire 2018  
 Fuente: GEB. (2018).

De la gráfica anterior se evidencia para el caso de NO<sub>2</sub> que ninguno de los puntos supera el límite normativo vigente. Así mismo, las estaciones 1, 2 y 3 son las que reportaron los índices de concentración más altos estando los tres por encima de los 20 µg/m<sup>3</sup>.

- SO<sub>2</sub>

En la Figura 150 se presenta la concentración promedio de cada estación de monitoreo:

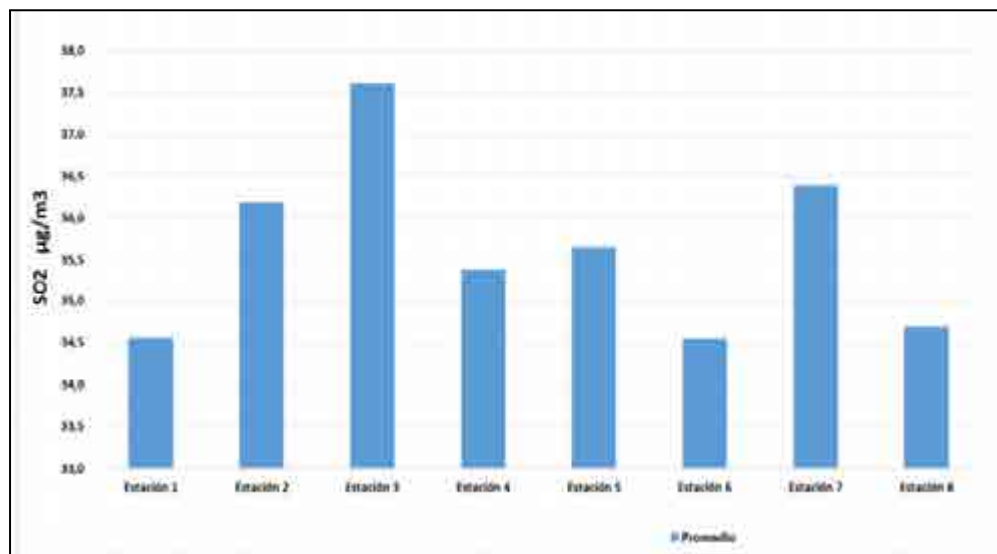


Figura 150. Resultados SO<sub>2</sub> estudio calidad del aire 2018  
 Fuente: GEB. (2018).

Finalmente, los valores medios registrados de SO<sub>2</sub>, para la estación tres (3) presenta los valores medios más altos de concentración con un valor de 37,6 µg /m<sup>3</sup>, se tiene presente que la presencia y valor de estos gases atribuyen a la combustión en motores de los vehículos, motos, y transporte que circulan por la zona.

- Índice de calidad del aire

A partir de las concentraciones medidas y analizadas anteriormente de PM<sub>10</sub> y siguiendo con la metodología sugerida en el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire de Protocolo para el Muestreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adaptada en la resolución 2254 de 2017, se calcularon los ICA's. Se tiene presente que el cálculo de los índices de calidad del Aire se hizo en este estudio únicamente para material particulado menor a 10 micras PM<sub>10</sub> debido a que, para los contaminantes de CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> se requiere un tiempo de exposición de 8 horas y 1 hora respectivamente y como se mencionó en la metodología en el muestreo las mediciones fueron de 1 hora (CO) y 24 horas (NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>). En la Tabla 134 se presentan los cálculos del ICA de PM<sub>10</sub> de todas las estaciones:



Tabla 134. ICAs monitoreo calidad del aire 2018

	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8
Cp	28,1	22,2	20,0	41,2	17,6	19,0	76,8	191,1
PC alto	54	54	54	54	54	54	154	254
PC bajo	0	0	0	0	0	0	55	155
I alto	50	50	50	50	50	50	100	150
I Bajo	0	0	0	0	0	0	51	101
ICA p	26,1	20,6	18,5	38,2	16,3	17,6	61,8	118,9

Fuente: GEB. (2018).

En forma general como se observa en la tabla anterior se puede observar que las estaciones de la 1 a la 6 se presentaron valores que indican color verde, clasificación buena lo cual hace referencia a buena calidad de aire indicando que no hay afectaciones en las salud de las personas por este contaminante en las zonas aledañas a la ubicación de la estación, para la estación 7 indica color amarillo es decir, reflejan una calidad de aire aceptable y por último la estación 8 refleja un color naranja siendo el más alto de todas las estaciones con un valor promedio de 118,9 lo cual incide en una calidad de aire dañina a la salud para grupos sensibles.

#### 5.1.11.4. Ruido

A continuación, se presentan los resultados de los monitoreos de ruido. Cabe resaltar que, los resultados presentando en el numeral 5.1.1.4.1. Monitoreos de ruido 2018 representan los resultados obtenidos de información secundaria y los resultados presentados en el numeral 5.1.1.4.3. Monitoreo de ruido ambiental 2020 corresponde a la información primaria la cual llevó a cabo INGETEC.

##### 5.1.11.4.1. Monitoreos de ruido 2018

###### 5.1.11.4.1.1. Inventario de fuentes generadoras de ruido 2018

En el área de influencia del proyecto las principales fuentes de emisión de niveles de presión sonora corresponden a vehículos que se movilizan por los corredores viales permitiendo el acceso a los diferentes centros poblados, veredas y fincas, entre los que se encuentran motos, camionetas, camiones, buses, volquetas, entre otros. Los automotores

generan ruido de carácter impulsivo y por los componentes internos de sus motores es susceptible de generar ruido de carácter tonal.

De igual forma, la ejecución de las actividades agrícolas que requieren el uso de maquinaria para preparación de terrenos o recolección de cosechas; así como en el caso de las actividades porcícolas, pecuario y avícola, y el uso de vehículos utilizados para la comercialización de los productos, generan emisiones de niveles de presión sonora propias del desarrollo de estas.

Frente al proyecto de explotación de materiales de construcción con Licencia Ambiental No. 0150-0945 de 2012, el ruido se genera por la operación de maquinaria durante el movimiento de tierra y trituración de piedras, así como por la presencia y movilización del personal que labora en ella.

Durante la operación de las plantas industriales, se genera ruido por la maquinaria y procesos internos de las mismas. Igualmente, la operación de las subestaciones Alférez y La Virginia son generadoras de ruido de frecuencia vibratoria.

Existe un ruido ambiental asociado con la fauna que se encuentra en el área de influencia del proyecto, pues durante el desarrollo de sus actividades emiten sonidos en las zonas donde se encuentren.

#### 5.1.11.4.1.2. Monitoreo de ruido 2018

Entre los días del 20 al 28 de enero y el 3 y 4 de febrero de 2018 en horario diurno y nocturno se llevó a cabo el monitoreo de ruido ambiental en el área circundante al proyecto; zona ubicada entre la Ciudad de Cali capital del departamento del Valle del Cauca y el municipio de Pereira departamento de Risaralda.

El monitoreo fue realizado por la Corporación Integral del Medio Ambiente C.I.M.A., acreditada por el IDEAM mediante Resolución 2085 del 1 de octubre de 2015; siguiendo el procedimiento estipulado en los Capítulos II y III del Anexo 3 de la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los cuales corresponden a las normas ANSI S1.

Los puntos de monitoreo fueron distribuidos en el área de influencia del proyecto, como se puede observar en la Tabla 135 y Figura 151, considerando los centros poblados en vías de acceso de mayor flujo vehicular durante el proyecto, así como las viviendas más cercanas al AID.

Tabla 135. Ubicación de los sitios de monitoreo de ruido

Punto de monitoreo	Coordenadas Origen único		Corregimiento	Municipio	Departamento
	X	Y			
Ruido 1	4683797,54	2094661,13	Caimalito	Pereira	Risaralda
Ruido 2	4679541,31	2085401,18	Puerto Caldas	Pereira	
Ruido 3	4680523,21	2068528,47	Villa Rodas	Obando	Valle del Cauca
Ruido 4	4652980,71	2008397,59	Iberia	Tuluá	
Ruido 5	4642755,14	1988035,16	Monterrey	Buga	
Ruido 6	4641928,56	1975136,36	Puente Rojo	Guacarí	
Ruido 7	4641913,68	1971939,37	Floresta	Ginebra	
Ruido 8	4643256,89	1962521,73	Santa Elena	El Cerrito	
Ruido 9	4644644,30	1958376,10	Tablones	Palmira	
Ruido 10	4643606,39	1945001,63	Ayacucho	Palmira	
Ruido 11	4629512,96	1943851,75	Juanchito	Candelaria	
Ruido 12	4611515,69	1931042,37	El Hormiguero	Cali	

Fuente: GEB. (2018).

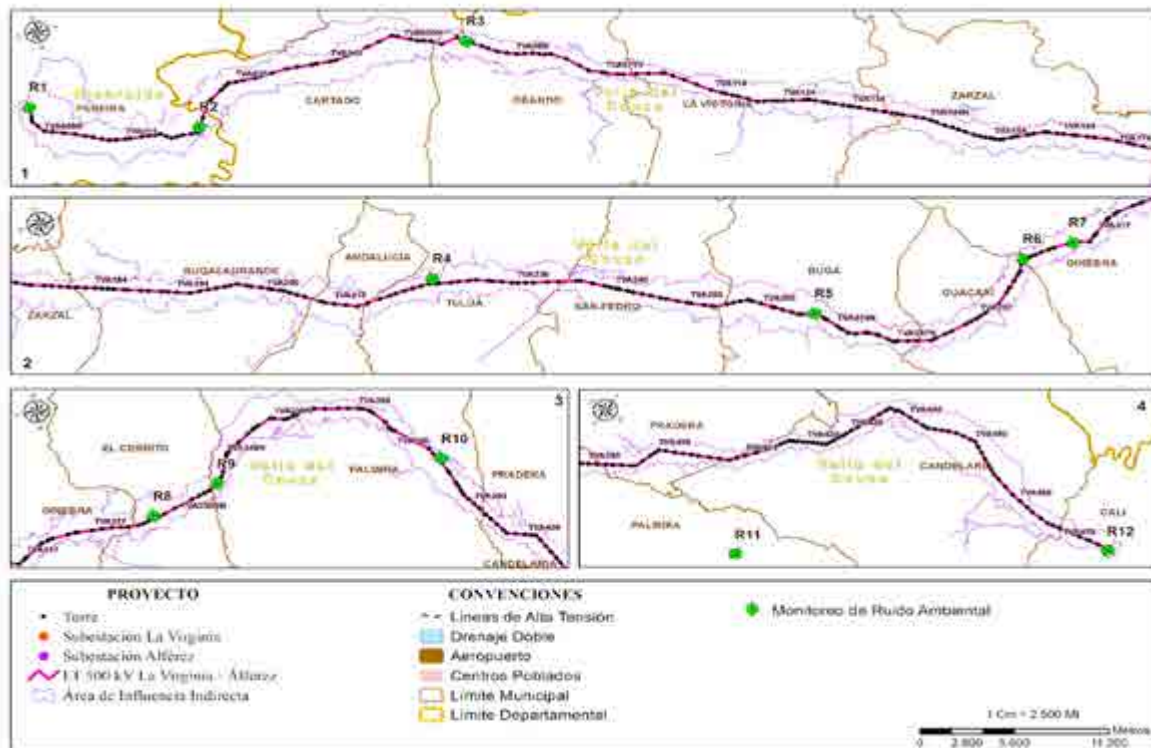


Figura 151. Distribución espacial de los puntos de monitoreo de ruido  
Fuente: GEB. (2018).

Para el estudio de ruido ambiental, se realiza una calibración acústica del micrófono del sonómetro y luego se ubica el micrófono a una altura de 4,00 m, las mediciones se toman empleando la escala de ponderación A (dBA) y en respuesta lenta (slow). Cada medición debe constar de cinco mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales, cada una de las cuales debe tener una posición orientada del micrófono, norte, sur, este, oeste y vertical.

En total se evaluaron para el estudio doce (12) puntos de ruido ambiental en horarios diurno y nocturno y en jornada hábil y no hábil, los aspectos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del monitoreo se describen de forma general en la Tabla 136, sin embargo, se tiene en cuenta que el informe completo se encuentra en el Anexo D11 Monitoreo ambiental en el AI.


Tabla 136. Datos generales de medición



<b>Parámetros del estudio</b>	
# Loc Quest	El número de archivo en la memoria del sonómetro QUEST
L1 (Leq) dBA	Nivel continuo equivalente de ruido en el periodo de medición (resultado de la medición)
Lmax, dBA	Máximo nivel puntual de ruido encontrado dentro del periodo de medición.
Lmin. dBA	Mínimo nivel puntual de ruido encontrado dentro del periodo de medición.
L10.dBA	Nivel Sonoro que se sobrepasa durante el 10% del tiempo de medición.
L90.dBA	Nivel Sonoro que se sobrepasa durante el 90% del tiempo de medición.
Horarios	Las lecturas diurnas se realizaron entre las 7:01 y las 21:00, y las nocturnas entre las 21:01 y las 7:00, cumpliendo así con los horarios establecidos en la normatividad.

Fuente: Corporación Integral del Medio Ambiente CIMA, 2018.

Los equipos utilizados para la medición de emisión de ruido ambiental corresponden a sonómetros Marca QUEST Sound PRO , para la calibración de los equipos se emplearon calibradores acústicos marca Quest QC; ambos equipos contaron con los certificados de calibración vigente al momento de desarrollar las mediciones.

Tabla 137. Equipos utilizados para la medición

<b>Características generales del equipo</b>		
<b>Sonómetro 3M SoundPro DL 1-1/3 BLL100010 RU-075-EM</b>		
	Clase	Tipo 2.
	Precisión	± 1dBA
	Sensibilidad	Sensibilidad de micrófono independiente de la frecuencia.
	Funciones	Lectura en tiempo real con analizador frecuencias en tercios de octava.
	Características Generales	Filtros de ponderación de frecuencia A, B, C y Z. Modos de respuesta rápida, lenta, impulsos y picos. Determinación del nivel equivalente, máximo y mínimo. Provisto con cable de extensión de micrófono.
	Normatividad	Cumple norma IEC 61672-1:2002
	Certificados	Certificado de calibración vigente

	<b>Calibrador acústico Quest SN-BLL100010-OSC4503</b>	
	Nivel de calibración	94 dB y 114 dB.
	Normatividad	Cumple norma IEC 60942:2003.
	Certificados	Certificado de calibración vigente
	<b>SOFTWARE</b>	
	Referencia	QuestSuite® <i>Professional II</i>
	Versión	4.2.2296
	Características	Descarga datos de los estudios realizados por el sonómetro
	<b>Trípode</b>	
	Características Generales	Ajustable a una altura de cuatro (4) metros. Capacidad de giro de 360 grados. Desarmable. Orientación variable.

Fuente: Corporación Integral del Medio Ambiente CIMA, 2018.

Los resultados del monitoreo se comparan con los valores de referencia tomados de la resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establecidos en el capítulo III, Tabla 2 para los siguientes sectores:

**Sector C:** Ruido intermedio restringido, subsector zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.

**Sector C:** Ruido intermedio restringido, subsector zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.

**Sector D.** Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado, subsector rural habitada destinada a explotación agropecuaria.

El detalle de los niveles de ruido permisibles según el sector se evidencia en la Tabla 138.

Tabla 138. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental dBA

Sector	Subsector	Estándares máximos Permisibles de niveles de ruido ambiental en db(a)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Resolución 627 del 07 de abril de 2006, emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

- Información Meteorológica

Las características meteorológicas y climatológicas tales como velocidad del viento, precipitación, temperatura y humedad relativa, presentadas en la Tabla 139 y Tabla 140 influyen en las mediciones de ruido ambiental, por tal razón se considera el comportamiento de dichas variables a partir de información medida durante el monitoreo en cada uno de los puntos.

Tabla 139. Principales variables meteorológicas – Tiempo de ejecución día hábil

	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Promedio	0,6	21,5	66,5
Máximo	2,3	31,4	91,4
Mínimo	0,1	16,4	49,7



Fuente: Corporación Integral del Medio Ambiente CIMA, 2018.

Tabla 140. Principales variables meteorológicas – Tiempo de ejecución día no hábil




	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Promedio	0.8	22.1	70.1
Máximo	2.8	32.0	99.0
Mínimo	0.0	16.2	44.0




Fuente: Corporación Integral del Medio Ambiente CIMA, 2018.



Tabla 141. Descripción general de los puntos de monitoreo de ruido


Punto de Monitoreo	Coordenadas Origen Único		Aspectos		Registro fotográfico
R1	X	4683797,54	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo soleado, no se presentaron lluvias.	
	Y	2094661,13	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Transformadores de la estación eléctrica. - Sobre vuelo de avioneta. - Fauna silvestre	
	m.s.n. m.	1122			
Descripción general del punto: Punto ubicado en zona rural del municipio La Virginia, cerca de la estación eléctrica La Virginia.					
R2	X	4679541,31	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo soleado, no se presentaron lluvias.	
	Y	2085401,18	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Fauna silvestre	
	m.s.n. m.	980			
Descripción general del punto: Punto ubicado a 5 m de la vía que comunica al municipio de Cartago y la ciudad de Pereira.					



Punto de Monitoreo	Coordenadas Origen Único		Aspectos		Registro fotográfico
R3	X	4680523,21	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo nublado, no se presentaron lluvias.	
	Y	2068528,47	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Quebrada. - Fauna silvestre.	
	m.s.n. m.	1192			
	Descripción general del punto: Punto ubicado en zona rural cerca al corregimiento Villa Rodas, municipio de Obando.				
R4	X	4652980,71	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo nublado, no se presentaron lluvias.	
	Y	2008397,59	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Equipo de sonido. - Fauna silvestre.	
	m.s.n. m.	1208			
	Descripción general del punto: Punto ubicado cerca a la vía Iberia que comunica a Tuluá con el corregimiento La Marina.				
R5	X	4642755,14	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo nublado, no se presentaron lluvias.	
	Y	1988035,16	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Motores (fábrica de concentrados). - Fauna silvestre.	
	m.s.n. m.	1287			
	Descripción general del punto: Punto ubicado en zona rural cerca al corregimiento La Magdalena a 280 m de la vía que la comunica con Buga.				

Punto de Monitoreo	Coordenadas Origen Único		Aspectos		Registro fotográfico
R6	X	4641928,56	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo soleado, no se presentaron lluvias.	
	Y	1975136,36	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Personas. - Equipo de sonido. - Quebrada. - Fauna silvestre.	
	m.s.n. m.	1260			
Descripción general del punto: Punto ubicado en zona rural, sobre camino el veredal cerca de la vereda el Lulo.					
R7	X	4641913,68	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo soleado, no se presentaron lluvias.	
	Y	1971939,37	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Personas. - Fauna silvestre	
	m.s.n. m.	1459			
Descripción general del punto: Punto ubicado en zona rural, sobre la vía veredal que comunica a los corregimientos Costa Rica y Floresta.					
R8	X	4643256,89	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo soleado, no se presentaron lluvias.	
	Y	1962521,73	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Personas. - Equipo de sonido. - Fauna silvestre	
	m.s.n. m.	1206			
Descripción general del punto: Punto ubicado en zona rural del municipio El Cerrito, frente a condominio campestre.					

Punto de Monitoreo	Coordenadas Origen Único		Aspectos		Registro fotográfico
R9	X	4644644,30	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo nublado, no se presentaron lluvias.	
	Y	1958376,10	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Fauna silvestre.	
	m.s.n. m.	1148			
Descripción general del punto: Punto ubicado en zona rural del municipio El Cerrito, frente a la vía que conduce al municipio de Ginebra.					
R10	X	4643606,39	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo nublado, no se presentaron lluvias.	
	Y	1945001,63	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Personas. - Fauna silvestre.	
	m.s.n. m.	1268			
Descripción general del punto:: Punto ubicado en zona rural del municipio El Cerrito, frente a la vía que conduce al municipio de Ginebra.					
R11	X	4629512,96	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo nublado, no se presentaron lluvias.	
	Y	1943851,75	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Tránsito de vehículos. - Fauna silvestre. - Sobrevuelo de aviones.	
	m.s.n. m.	983			
Descripción general del punto: Punto ubicado en zona rural del municipio de Candelaria, frente a la vía que conduce al municipio de Pradera.					

Punto de Monitoreo	Coordenadas Origen Único		Aspectos		Registro fotográfico
R12	X	4611515,69	Climático:	Durante el periodo de monitoreo predominó el tiempo soleado, no se presentaron lluvias.	
	Y	1931042,37	Fuentes potenciales de emisión de ruido	- Sub estación eléctrica. - Fauna silvestre.	
	m.s.n. m.	955			
Descripción general del punto: Punto ubicado en zona rural de la ciudad de Cali, frente a la Sub estación eléctrica.					

Fuente: Corporación Integral del Medio Ambiente CIMA, (2018).

#### 5.1.11.4.2. Resultados y análisis

Teniendo en cuenta la información contenida en la Tabla 138 los sectores en los cuales se clasificaron cada uno de los doce (12) puntos monitoreados, de acuerdo con su localización fueron los siguientes:

**Sector C:** Ruido intermedio restringido, subsector zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas. Las mediciones realizadas en los puntos 1 y 12 fueron comparadas con los estándares máximos permisibles establecidos para este sector, debido a la cercanía con las estaciones y/o subestaciones eléctricas.

**Sector C:** Ruido Intermedio Restringido. Subsector: Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales. Las mediciones realizadas en los puntos 2, 4, 5, 9, 10 y 11 fueron comparadas con los estándares máximos permisibles fijados para este sector debido a la cercanía con las vías nacionales.

**Sector D.** Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado, Subsector, Rural habitada destinada a explotación agropecuaria. La medición realizada en el punto 3, 6, 7 y 8 fueron comparados con los estándares máximos permisibles establecidos para este sector, ya que se encuentran en zona rural cuya vocación es agropecuaria.

- Ruido Ambiental Día Hábil

A continuación, se presentan los resultados en referencia al día hábil diurno y nocturno. El detalle de las mediciones efectuadas se incluye en el Anexo D11 Ruido. Monitoreo de ruido AI, informe entregado por el laboratorio CIMA con sus respectivos registros y soportes.

- Horario Diurno

La jornada de monitoreo diurno se inició el día 20 de enero a las 11:51 am y continuo los días 22, 23 y 25 de enero del 2018 en los doce (12) puntos.

En la Figura 152 se establece que los niveles de ruido ambiental diurno en la zona de estudio para los puntos 1 y 12 catalogados en el Sector C lo que corresponde a ruido intermedio restringido, subsector zonas con usos permitidos industriales, parques industriales el cual es de 75 dBA, sin embargo, estos puntos registran una presión sonora de 58,0 dBA y 53,5 dBA, respectivamente, lo cual indica que no superan el límite máximo permisible, las principales fuentes de ruido los días de monitoreo para el punto 1 y 12 corresponden a los transformadores de la estación eléctrica, sobrevuelo de avionetas y fauna silvestre.

Los puntos 2, 4, 5, 9, 10 y 11 fueron catalogados en el Sector C: Ruido intermedio restringido, subsector zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales, zonas francas, el cual es de 80 dBA.

MONITOREO DIURNO						
Total de Puntos	12					
Numero de Puntos Fuera de Norma	2					
% de Puntos Fuera de Norma	16,7%					
Punto	LAeq, d dBA	LR Aeq, d dBA	% T	Limite Normativo dBA	Descripción del punto	
2	74,9	74,9	-6,4%	80,0	R2	
11	67,6	67,6	-15,5%	80,0	R11	
8	60,3	66,3	20,5%	55,0	R8	
4	61,0	64,0	-20,0%	80,0	R4	
9	60,4	60,4	-24,5%	80,0	R9	
6	56,8	59,8	8,7%	55,0	R6	
1	52,0	58,0	-22,7%	75,0	R1	
10	56,4	56,4	-29,5%	80,0	R10	
5	48,0	54,0	-32,5%	80,0	R5	
12	47,5	53,5	-28,7%	75,0	R12	
7	46,2	52,2	-5,1%	55,0	R7	
3	45,7	48,7	-11,5%	55,0	R3	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

Figura 152. Descripción general de los puntos de monitoreo corregidos en horario diurno hábil

Fuente: Corporación Integral del Medio Ambiente CIMA, 2018.

Teniendo en cuenta la información contenida en la figura anterior para los puntos 3, 6, 7 y 8 catalogados en el Sector D; zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado esta zona está destinada a actividades agropecuarias, se observa que el punto 6 con un valor de 59,8 dBA y el resultado obtenido en el punto 8 con 66,3 dBA exceden el límite máximo permisible que establece la resolución 627 de 2006, en cual hace referencia a 55 dBA; para esta zona la principal fuente de ruido identificada durante la medición en el punto 6 corresponde al tránsito vehicular y para el número 8 se observa actividades de poda en condominios cercanos y fauna silvestre.

- Horario Nocturno

El monitoreo de ruido ambiental llevado a cabo en los doce (12) puntos para la jornada nocturna inició el día 23 de enero de 2018 desde las 23:15 pm y continuo los días 24, 25, 26 y 27 de enero de 2018.

En la Figura 153 se ilustran los niveles de ruido ambiental nocturnos registrados en la zona de estudio, se tiene presente que el punto 2 de monitoreo no fue posible realizar la medición por temas logísticos asociados a seguridad del personal en campo, sin embargo, esto no afecta la representatividad del estudio ya que se cuenta con la información completa de los otros puntos a monitorear.

Para los puntos 1 y 12 catalogados en el Sector C, Ruido Intermedio, subsector zonas con usos permitidos industriales, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas el cual registra un valor máximo permisible de 70 dBA, los valores para los puntos 1 y 12 son de 57,2 dBA y 56,5 dBA respectivamente lo cuales teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente entran dentro del límite establecido por la normatividad ambiental vigente Resolución 627 de 2006, las principales fuentes de generación corresponden a los transformadores de la estación eléctrica y fauna silvestre para el punto 1 y para el punto 12 corresponden a ruidos generados por la subestación eléctrica y fauna silvestre



MONITOREO NOCTURNO								
<b>Total de Puntos</b>			<b>11</b>		<b>Punto</b>	<b>Valor</b>	<b>Punto</b>	<b>Valor</b>
<b>Numero de Puntos Fuera de Norma</b>			<b>4</b>		<b>8</b>	<b>Mínimo</b>	<b>4</b>	<b>Máximo</b>
<b>% de Puntos Fuera de Norma</b>			<b>36,4%</b>			<b>48,3</b>		<b>63,3</b>
<b>Punto</b>	<b>LAeq, d dBA</b>	<b>LR Aeq, d dBA</b>	<b>%T</b>	<b>Limite Normativo dBA</b>	<b>Descripción del punto</b>			
4	60,3	63,3	-9,6%	70,0	R4			
11	59,3	62,3	-11,0%	70,0	R11			
3	55,0	61,0	35,6%	45,0	R3			
10	55,9	58,9	-15,9%	70,0	R10			
1	51,2	57,2	-18,3%	70,0	R1			
12	50,5	56,5	-19,3%	70,0	R12			
5	49,9	55,9	-20,1%	70,0	R5			
6	48,8	54,8	21,8%	45,0	R6			
9	47,9	53,9	-23,0%	70,0	R9			
7	45,5	51,5	14,4%	45,0	R7			
8	42,3	48,3	7,3%	45,0	R8			
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>								

**Figura 153.** Descripción general de los puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno hábil

Fuente: Corporación Integral del Medio Ambiente CIMA, 2018.

En cuanto a los puntos 4, 5, 9, 10 y 11 catalogados en el sector C Ruido intermedio restringido, subsector zonas con otros usos relacionados como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías alternas con un límite máximo permisible de 70 dBA, para este caso todos los puntos de monitoreo ambiental nombrados al inicio se encuentran dentro del límite máximo permisible.

Para los puntos 3, 6, 7 y 8 catalogados en el sector D zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado, subsector rural destinada a explotación agropecuaria, zonas francas, este sector tiene un valor de 45 dBA siendo este el límite máximo permisible, los valores correspondiente a estos puntos son 61,0 dBA, 54,8 dBA, 51,5 dBA y 48,3 dBA, respectivamente, lo cual indica que todos los puntos superan el límite máximo permisible incumpliendo así con la normatividad vigente, para estos puntos durante el monitoreo de evidencio que las fuentes generadoras corresponden a fauna local (perros) y alto volumen de los equipos de sonido en los condominio cercanos.

- Ruido Ambiental Día No Hábil

A continuación, se presentan los resultados en referencia a los monitoreos realizados para día no hábil en horario diurno y nocturno. El detalle de las mediciones efectuadas se incluye en el Anexo D11 del presente estudio de impacto ambiental, informe entregado por el laboratorio CIMA con sus respectivos registros y soportes.

- Horario Diurno

La jornada de ruido ambiental llevada a cabo en doce (12) puntos para día no hábil diurno se inició el día 21 de enero de 2018 a las 11:51 am y continuó los días 28 de enero y 04 de febrero de 2018. En la Figura 3.2-62 se presenta la descripción general y los resultados del monitoreo en cada uno de los puntos.

Como se mencionó anteriormente en los resultados correspondientes a los puntos 1 y 12 se encuentran catalogados en el sector C ruido intermedio restringido subsector zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, zonas francas teniendo un valor de límite máximo permisible, para los punto 1 y 12 se reportaron valores de presión sonoras correspondientes a 56,7 dBA y 54,6 dBA, datos que se reportan por debajo del límite permisible para este sector el cual según la norma vigente es de 75 dBA.

MONITOREO DIURNO													
Total de Puntos			12										
Numero de Puntos Fuera de Norma			2										
% de Puntos Fuera de Norma			16,7%										
				<table border="1"> <tr> <th>Punto</th> <th>Valor Mínimo</th> </tr> <tr> <td>10</td> <td>44,8</td> </tr> </table>	Punto	Valor Mínimo	10	44,8	<table border="1"> <tr> <th>Punto</th> <th>Valor Máximo</th> </tr> <tr> <td>11</td> <td>66,8</td> </tr> </table>	Punto	Valor Máximo	11	66,8
Punto	Valor Mínimo												
10	44,8												
Punto	Valor Máximo												
11	66,8												
Punto	L <sub>Aeq</sub> , dBA	L <sub>RAeq</sub> , dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto								
11	63,8	66,8	-16,5%	80,0	R11								
2	65,0	65,0	-18,8%	80,0	R2								
9	65,0	65,0	-18,8%	80,0	R9								
4	54,7	60,7	-24,1%	80,0	R4								
6	58,8	58,8	6,9%	55,0	R6								
7	50,9	56,9	3,5%	55,0	R7								
1	50,7	56,7	-24,4%	75,0	R1								
5	50,7	56,7	-29,1%	80,0	R5								
12	48,6	54,6	-27,2%	75,0	R12								
3	47,1	53,1	-3,5%	55,0	R3								
8	46,5	49,5	-10,0%	55,0	R8								
10	41,8	44,8	-44,0%	80,0	R10								
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>													

Figura 154. Descripción general de los puntos de monitoreo corregidos en horario diurno no hábil

Fuente: Corporación Integral del Medio Ambiente CIMA, 2018.

Los puntos 2, 4, 5, 9, 10 y 11 catalogados en el sector C ruido intermedio restringido teniendo un valor máximo permisible según la norma de 80 dBA, teniendo en cuenta los resultados presentados en la tabla anterior no se registra que ninguno de los puntos en mención sobrepase el valor máximo. Finalmente, para los puntos 3, 6, 7 y 8 catalogado en el sector D zonas suburbana, se presenta que los valores reportados en los puntos 6 y 7 son de 58,8 dBA y 59,6 dBA respectivamente, lo cual indica que exceden el límite permisible, se verifica que según el entorno de los puntos la generación de ruido proviene del paso constante de vehículos y fauna silvestre.

- Horario Nocturno

La jornada de ruido ambiental se llevó a cabo en doce (12) puntos para día no hábil horario nocturno, la cual inició el día 28 de enero de 2018 a las 00:02am y continuo el día 04 de febrero de 2018.

En la Figura 155 se presentan los valores obtenidos de cada una de la estaciones de monitoreo para ruido ambiental, los punto 1 y 12 catalogados en el sector C, se encuentran dentro el límite máximo permisible con valores menores a 70 dBA , así mismo los puntos 2, 4, 5, 9, 10 y 11 categorizados en el sector C, la generación de ruido en estos puntos viene directamente relacionado con vías alternas y principales, fauna silvestre, paso continuo de vehículos, adicionalmente para los puntos 2 y 11 se evidencia aumento de presión sonora por equipos de sonido a alto volumen de las viviendas aledañas al punto de muestreo.

MONITOREO NOCTURNO						
Total de Puntos	12					
Numero de Puntos Fuera de Norma	4					
% de Puntos Fuera de Norma	33,3%					
Punto	L <sub>Aeq, d</sub> dBA	L <sub>RAeq, d</sub> dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto	
2	64,3	67,3	-3,9%	70,0	R2	
5	51,8	57,8	-17,4%	70,0	R5	
8	54,0	57,0	26,7%	45,0	R8	
7	50,9	56,9	26,4%	45,0	R7	
3	49,9	55,9	24,2%	45,0	R3	
11	49,6	55,6	-20,6%	70,0	R11	
6	49,3	55,3	22,9%	45,0	R6	
9	52,0	55,0	-21,4%	70,0	R9	
10	48,8	54,8	-21,7%	70,0	R10	
12	48,0	54,0	-22,9%	70,0	R12	
1	47,7	53,7	-23,3%	70,0	R1	
4	47,2	53,2	-24,0%	70,0	R4	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

Figura 155. Descripción general de los puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno no hábil

Fuente: Corporación Integral del Medio Ambiente CIMA, 2018.

#### 5.1.11.4.1.3. Conclusiones

Según la gráfica anterior los punto 3, 6, 7 y 8 catalogados en el sector D zonas suburbana o rural se reportaron valores de 55,9 dBA, 55,3 dBA, 58,9 dBA y 57,0 dBA respectivamente, lo cual indica que estos puntos exceden los límites máximos permisibles vigentes el cual hace referencia a un valor de 45 dBA, teniendo una relación directa con los resultados obtenidos en día hábil, las principales fuentes de generación de ruido

corresponden a la presencia de animales domésticos (perros), para el punto 6 se evidenció ruido correspondiente al cauce de una quebrada cercana y con respecto a punto 8 se evidencia presencia de aglomeración de personas por festejos en la zona.

Finalmente, los puntos catalogados en el Sector C (zonas con usos permitidos industriales, etc.) y Sector C (zonas con otros usos relacionados, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales etc.), cumplieron frente al estándar máximo permisible establecido para los horarios diurno y nocturno en jornada hábil y no hábil.

En el estudio realizado por Consultoría colombiana en 2018, se presentó en el Anexo C11 Ruido Monitoreo de ruido, el informe completo de ruido ambiental entregado por el laboratorio CIMA donde se incluyó también en el Anexo 6 de dicho estudio, los mapas de isófonas en cada uno de los puntos de muestreo.

#### 5.1.11.4.2. Monitoreo de ruido ambiental 2020

La campaña de monitoreo de ruido 2020 se llevó a cabo en el área de influencia del proyecto La Virginia Alférez - 500 KV más específicamente a lo largo de los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca. Este monitoreo de ruido se realizó para el periodo comprendido entre los días 29 de noviembre y 8 de diciembre dándole cumplimiento a la normatividad vigente.

##### 5.1.11.4.2.1. Inventario de fuentes generadoras de ruido

A lo largo del ejercicio, en los puntos de monitoreo se identificaron fuentes de ruido de origen antrópico y de origen natural.

A continuación, en la Tabla 142 se presentan las fuentes identificadas de ruido para cada punto de monitoreo discretizado en día hábil y no hábil.

Tabla 142. Fuentes de ruido por punto de monitoreo día hábil / día no hábil

Punto de monitoreo	Periodo	Fuentes día hábil	Fuentes día no hábil
R1	Diurno	Fauna local	Fauna local
	Nocturno	Fauna nocturna	Fauna nocturna

<b>Punto de monitoreo</b>	<b>Periodo</b>	<b>Fuentes día hábil</b>	<b>Fuentes día no hábil</b>
R2	Diurno	Fauna local, construcción	Fauna local, construcción
	Nocturno	Fauna local	Fauna local
R3	Diurno	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas
	Nocturno	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas
R4	Diurno	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas
	Nocturno	Fauna nocturna	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos y motocicletas
R5	Diurno	Fauna local, paso de moto	Fauna local
	Nocturno	Fauna nocturna	Fauna local
R6	Diurno	Fauna local	Fauna local
	Nocturno	Fauna local	Fauna local
R7	Diurno	Fauna local	Fauna local
	Nocturno	Fauna local, ladridos	Fauna local
R8	Diurno	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas
	Nocturno	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas
R9	Diurno	Fauna local, tránsito de vehículos livianos, motocicletas	Fauna local
	Nocturno	Fauna nocturna, paso de motocicletas y camión	Fauna local
R10	Diurno	Fauna local	Fauna local
	Nocturno	Fauna local	Fauna local
R11	Diurno	Fauna local, tránsito de vehículos livianos, motocicletas	Fauna local
	Nocturno	Fauna local, tránsito de vehículos livianos, motocicletas	Fauna local



Punto de monitoreo	Periodo	Fuentes día hábil	Fuentes día no hábil
R12	Diurno	Fauna local, paso de vehículo, ladridos	Fauna local
	Nocturno	Fauna local, pólvora	Fauna local, avión
R13	Diurno	Fauna local, tránsito de vehículos livianos, motocicletas, construcción	Fauna local, tránsito de vehículos livianos, motocicletas, construcción
	Nocturno	Fauna local	Fauna local
R18	Diurno	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas
	Nocturno	Tránsito de vehículos livianos y motocicletas, fauna local	Tránsito de vehículos livianos y motocicletas, fauna local
R19	Diurno	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas	Tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas
	Nocturno	Fauna local, tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas	Fauna local, tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas
R20	Diurno	Fauna local, tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas	Fauna local, tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos, motocicletas
	Nocturno	Fauna local, tránsito de vehículos livianos, motocicletas	Fauna local, tránsito de vehículos livianos, motocicletas
R21	Diurno	Fauna local, operación y maquinaria de subestación, paso de vehículo	Fauna local, operación y maquinaria de subestación, paso de vehículo
	Nocturno	Fauna local	Fauna local
R22	Diurno	Operación de la subestación, fauna local	Fauna local, operación de la subestación
	Nocturno	Operación de la subestación, fauna local	Fauna local, operación de la subestación



Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

Por otra parte, durante el recorrido para obtener el inventario de receptores de ruido y empleando la misma metodología, se llevó a cabo el inventario de fuentes fijas las cuales se presentan a continuación.



Tabla 143. Inventario fuentes de ruido

Nombre de la empresa	Georreferenciación	Fotos
El corozal trapiche	X = 4618452,803714 Y = 1932603,070198 cota= 989	
Localización (vereda y corregimiento)	Actividad económica	
Candelaria / Valle del Cauca	Trapiche	
Nombre de la empresa	Georreferenciación	Fotos
Sebos del Valle S.A.S	X = 4619719,439162 Y = 1931200,449218 COTA= 997	
Localización (vereda y corregimiento)	Actividad económica	
Candelaria / Valle del Cauca	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal	

Nombre de la empresa	Georreferenciación	Fotos
Ingenio Mayagüez	X = 4629678,648315 Y = 1933766,719438 COTA= 942	
<b>Localización (vereda y corregimiento)</b>	<b>Actividad económica</b>	
Candelaria / Valle del Cauca	Producción de azúcar, alcohol carburante	
Nombre de la empresa	Georreferenciación	Fotos
Fábrica de Materas El Picacho	X = 4650442,128015 Y = 2006181,851056 COTA= 1266	
<b>Localización (vereda y corregimiento)</b>	<b>Actividad económica</b>	
Cgto. El Picacho / Tuluá	Fábrica de Materas	
Nombre de la empresa	Georeferenciación	Fotos

NUTRIBAL	X = 4639491,104988 Y = 1950772,332561 COTA= 1096	
<b>Localización (vereda y corregimiento)</b>	<b>Actividad económica</b>	
Barrancas / Palmira	Alimento balanceado para animales	
<b>Nombre de la empresa</b>	<b>Georreferenciación</b>	<b>Fotos</b>
Fábrica de Dulces - Abandonado	X = 4639098,329113 Y = 1956947,366224 COTA= 1081	
<b>Localización (vereda y corregimiento)</b>	<b>Actividad económica</b>	
Boyacá / Palmira	Fábrica de dulces	
<b>Nombre de la empresa</b>	<b>Georreferenciación</b>	<b>Fotos</b>
Ingenio Providencia	X = 4634514,467429 Y = 1959971,120723 COTA= 1041	
<b>Localización (vereda y corregimiento)</b>	<b>Actividad económica</b>	
El Cerrito/ Valle del Cauca	Producción de azúcar y etanol	

#### 5.1.11.4.2.2. Receptores de ruido generado por el proyecto

Ver numeral 5.11.1.2.4. Inventario de receptores sensibles.

El inventario se realizó en conjunto con el inventario de fuentes fijas de emisiones atmosféricas.

En el recorrido se encontraron 45 centros de estudios (escuelas, colegios, instituciones educativas y hogares infantiles), 5 cementerios, 12 parques, 28 sitios de encuentro para hacer deporte (canchas y polideportivos), 29 iglesias, 3 casetas comunales, 4 piscinas o balnearios, 1 eco hotel y adicional se encontró que los ríos y quebradas de la zona funcionan como sitios de recreación, como el río Guadalajara, río Tuluá entre otros. En la Tabla 127 y Figura 123 se presentan la descripción y localización de los receptores identificados. En el Anexo D10 se presentan los registros de campo y el registro fotográfico.

La identificación de los receptores se llevó a cabo con base a los lineamientos establecidos en los TdR los cuales estipulan como receptores potenciales de interés aquellos ubicados en asentamientos humanos y ecosistemas estratégicos que puedan ser afectados en las fases del proyecto. Para llevar a cabo el inventario se realizó un recorrido a lo largo del proyecto donde se estableció un área perimetral asociada al área de influencia. De esta manera, basándose en los criterios establecidos en los TdR estipulados anteriormente, se inventaron los receptores sensibles los cuales se presentan en el numeral 5.1.11.2.4. Inventario de receptores sensibles.

#### 5.1.11.4.2.3. Monitoreo de ruido

Las jornadas de monitoreo se realizaron entre los días 29 de noviembre y 8 de diciembre de 2020 en el área de influencia del proyecto ubicado entre la ciudad de Cali del departamento del Valle del Cauca y el municipio de Pereira.

El monitoreo fue realizado por el laboratorio AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S por medio del procedimiento estipulado en los Capítulos II y III del Anexo 3 de la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los cuales corresponden a las normas ANSI S1.

Los puntos fueron ubicados en cercanías a centros poblados y vías aledañas al proyecto con el fin de poder evaluar la dinámica de ruido ambiental en la zona.

A continuación, en la Tabla 144 y la Figura 156 se presentan los puntos de monitoreo con sus respectivas coordenadas.

Tabla 144. Coordenadas de los puntos de monitoreo







Punto de monitoreo	Periodo de medición	Código único	Coordenadas Origen Único	
			X	Y
R1	Ambiental día hábil	VA-20/009362	4681006,15	2093261,86
	Ambiental día no hábil	VA-20/009366		
R2	Ambiental día hábil	VA-20/009363	4679979,17	2089756,88
	Ambiental día no hábil	VA-20/009367		
R3	Ambiental día hábil	VA-20/009364	4679106,05	2085358,39
	Ambiental día no hábil	VA-20/009368		
R4	Ambiental día hábil	VA-20/009365	4681796,20	2081289,12
	Ambiental día no hábil	VA-20/009369		
R5	Ambiental día hábil	VA-20/009346	4679575,15	2067493,33
	Ambiental día no hábil	VA-20/009355		
R6	Ambiental día hábil	VA-20/009370	4676074,86	2060417,94
	Ambiental día no hábil	VA-20/009372		
R7	Ambiental día hábil	VA-20/009347	4671624,72	2053585,12
	Ambiental día no hábil	VA-20/009354		
R8	Ambiental día hábil	VA-20/009348	4665056,01	2039815,34
	Ambiental día no hábil	VA-20/009352		
R9	Ambiental día hábil	VA-20/009349	4660103,48	2028760,24
	Ambiental día no hábil	VA-20/009353		

Punto de monitoreo	Periodo de medición	Código único	Coordenadas Origen Único	
			X	Y
R10	Ambiental día hábil	VA-20/009350	4653989,16	2015370,93
	Ambiental día no hábil	VA-20/009351		
R11	Ambiental día hábil	VA-20/009359	4640523,84	1985399,19
	Ambiental día no hábil	VA-20/009360		
R12	Ambiental día hábil	VA-20/009358	4642122,84	1973057,08
	Ambiental día no hábil	VA-20/009361		
R13	Ambiental día hábil	VA-20/009378	4643202,97	1963127,51
	Ambiental día no hábil	VA-20/009379		
R18	Ambiental día hábil	VA-20/009377	4629326,72	1934636,32
	Ambiental día no hábil	VA-20/009382		
R19	Ambiental día hábil	VA-20/009376	4627457,57	1930296,39
	Ambiental día no hábil	VA-20/009381		
R20	Ambiental día hábil	VA-20/009375	4619655,60	1930962,16
	Ambiental día no hábil	VA-20/009383		
R21	Ambiental día hábil	VA-20/009374	4611489,90	1930846,16
	Ambiental día no hábil	VA-20/009380		
R22	Ambiental día hábil	VA-20/009371	4683693,18	2094651,12







Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S






A continuación, se presenta el registro fotográfico de los puntos monitoreados. Ver Tabla 1455.







Tabla 145. Fotografía de los puntos de monitoreo







Punto de monitoreo	Diurno	Nocturno
R1		
R2		
R3		









Punto de monitoreo	Diurno	Nocturno
R4		
R5		
R6		

Punto de monitoreo	Diurno	Nocturno
R7		
R8		
R9		

Punto de monitoreo	Diurno	Nocturno
R10		
R11		
R12		

Punto de monitoreo	Diurno	Nocturno
R13		
R18		
R19		

Punto de monitoreo	Diurno	Nocturno
R20		
R21		
R22		

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S



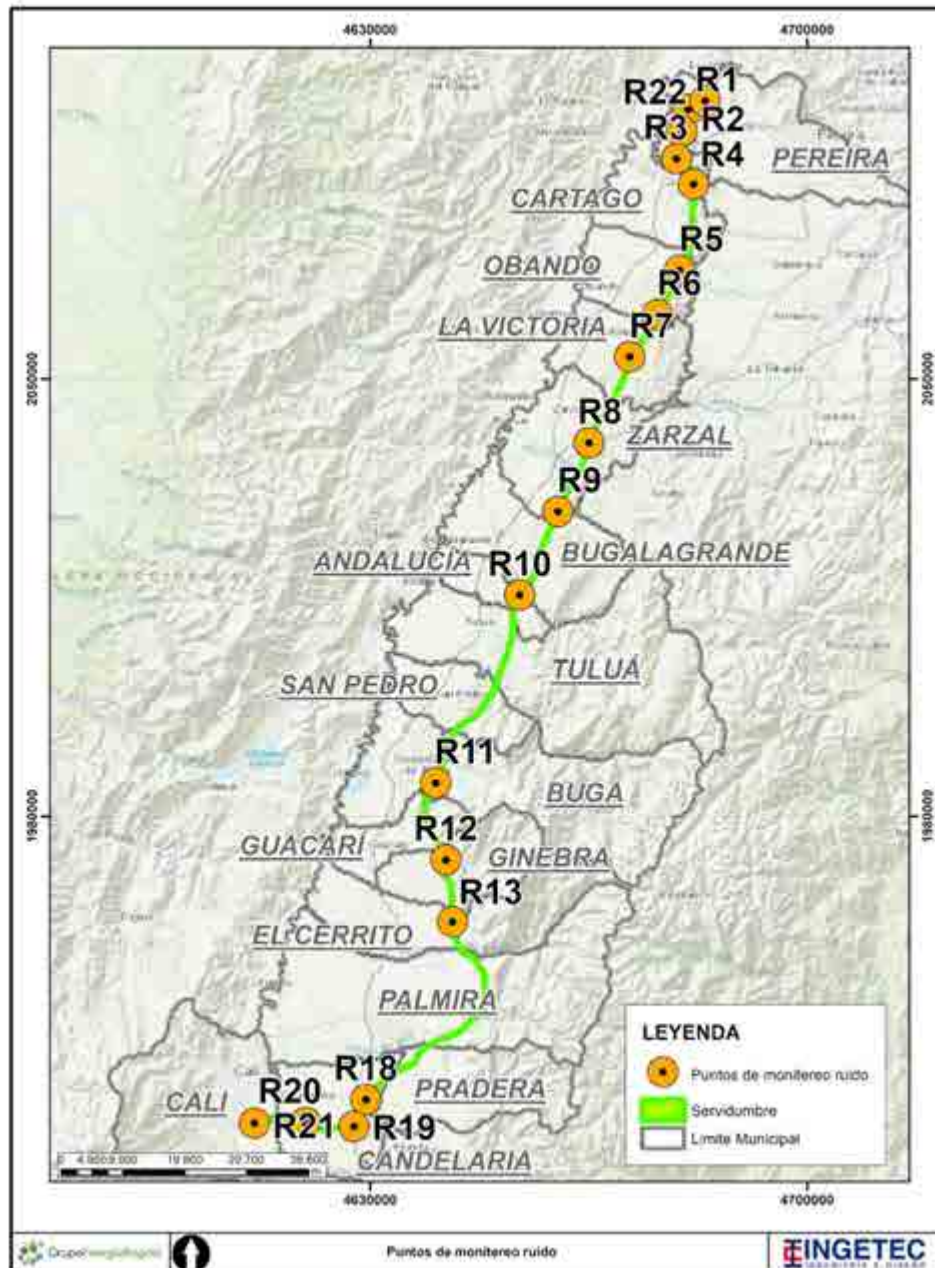


Figura 156. Ubicación de los puntos de monitoreo de ruido

#### 5.1.11.4.2.4. Condiciones atmosféricas

Los datos registrados son validados en campo mediante mediciones In-Situ a través de una estación meteorológica, portátil y digital, marca Kestrel® 4500 Pocket Air Flow® Tracker, la cual cuenta con las siguientes características:

Tabla 146. Rangos de detección mediciones climáticas

Parámetros	Escala	Resolución	Precisión
Velocidad del viento	0,3 a 40 m/s	0,1 m/s	±3%
Temperatura	-20 a +60 °C	0,1 °C	±1 °C
Humedad Relativa	0 a 100% Hr	1% Hr	±3% Hr (entre 15% y 90% Hr)

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

A continuación, en la Tabla 1477 se presentan los resultados de las mediciones realizadas en campo durante los monitoreos de la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

Tabla 147. Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del Viento durante el monitoreo de ruido ambiental día hábil y no hábil

Punto de monitoreo	Periodo de medición	Día hábil			Día no hábil		
		Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa %	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa %
R1	Diurno	1,0	30,9	57,9	0,5	29,2	63,3
	Nocturno	0,0	27,4	77,2	0,4	28,6	67,7
R2	Diurno	0,9	31,1	64,3	0,0	31,5	65,4
	Nocturno	0,0	27,6	81,2	0,0	27,4	71,2
R3	Diurno	0,5	33,9	52,6	0,4	27,7	68,9
	Nocturno	0,0	26,3	73,2	0,6	25,3	71,0
R4	Diurno	0,0	29,1	68,1	0,0	25,2	75,9



Punto de monitoreo	Periodo de medición	Día hábil			Día no hábil		
		Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa %	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa %
	Nocturno	0,0	24,6	73,1	0,0	25,3	75,9
R5	Diurno	0,1	26,5	77,5	0,1	27,5	75,8
	Nocturno	0,1	25,1	73,1	0,0	26,6	72,6
R6	Diurno	0,4	25,7	78,7	0,3	29,7	66,6
	Nocturno	0,0	26,7	84,6	0,0	25,8	82,4
R7	Diurno	0,0	25,4	81,9	0,0	29,6	75,1
	Nocturno	0,4	27,7	75,6	0,3	29,6	79,5
R8	Diurno	1,6	27,5	70,2	1,5	26,4	78,4
	Nocturno	0,0	23,4	84,8	0,0	24,2	83,8
R9	Diurno	0,3	27,5	83,1	0,1	28,4	81,0
	Nocturno	0,8	23,7	82,2	0,7	23,9	80,8
R10	Diurno	0,9	24,3	80,4	1,0	25,6	67,3
	Nocturno	0,8	25,0	78,7	0,4	25,4	69,4
R11	Diurno	0,4	29,6	67,9	0,4	25,4	69,4
	Nocturno	0,0	22,1	79,5	0,0	23,0	80,2
R12	Diurno	0,1	32,2	63,9	0,0	30,5	60,9
	Nocturno	0,1	21,2	74,5	0,1	23,5	76,6
R13	Diurno	0,5	30,4	61,8	0,2	30,3	55,9
	Nocturno	0,0	22,9	74,0	0,0	23,5	74,3

Punto de monitoreo	Periodo de medición	Día hábil			Día no hábil		
		Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa %	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa %
R18	Diurno	0,2	30,6	56,1	0,0	31,9	62,5
	Nocturno	0,0	24,4	78,8	0,0	24,7	72,9
R19	Diurno	0,4	27,8	63,2	0,0	24,8	72,1
	Nocturno	0,0	24,7	75,8	0,7	29,4	63,9
R20	Diurno	0,3	30,2	46,5	0,0	31,1	57,1
	Nocturno	0,0	29,5	65,5	0,0	28,3	63,0
R21	Diurno	0,9	23,5	76,9	0,9	26,2	82,6
	Nocturno	0,1	26,4	68,0	0,3	27,5	87,8
R22	Diurno	0,5	29,4	62,6	0,4	27,4	72,8
	Nocturno	0,5	27,6	81,1	0,4	30,1	61,2

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S. (2020)

#### 5.1.11.4.2.5. Equipos utilizados

Como instrumento de medición de niveles de presión sonora se empleó un sonómetro marca Svantek con número de serie: 34326. Este se ha calibrado eléctrica y acústicamente, con filtro de ponderación A y de respuesta rápida, en forma continua (Ver Información Campo Abiótico y Laboratorio).

El sonómetro tiene capacidad de medir el nivel equivalente de presión sonora con ponderación frecuencial A, -LAeq-, directa e indirectamente; cumple con las especificaciones de sonómetro Tipo 1 y es integrador de clase P. Este sonómetro cumple con los requerimientos del American National Standards Institute (ANSI S1.4—1983-R2001, ANSI S1.11-2004 y ANSI S1.43-1997-R2002), Especificación Estándar de medidores de niveles de sonido para propósitos generales tipo 1; y la

International Electro - Technical Commission (IEC 61672-1, IEC 61672-2, IEC 61260, IEC 61000). Además, cumple con los requerimientos de la Resolución 627 de 2006 del MAVDT. De acuerdo con las especificaciones del sonómetro se tiene: Precisión +/- 0.5 dB, para temperaturas de operación entre -10 y + 50 °C, y humedad relativa entre 10 y 90%. Nivel de linealidad con una tolerancia de +/- 0.7 dB referenciado a 94 dB. Este equipo dispone además con un dispositivo integrador de resultados o data logger que permite el almacenamiento y procesamiento de la información registrada, además de permitir su programación en los horarios de tiempo deseados.

#### 5.1.11.4.2.6. Procedimiento de medición de ruido

En el contexto de la valoración del ruido en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental - EIA, se siguió en forma estricta el procedimiento de medición para ruido ambiental, estipulado en el Anexo 3, Capítulos II de la Resolución 627 de 2006 del actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Los niveles de ruido se evaluaron durante los días 30 de octubre de 2020, 31 de octubre de 2020 y 1 de noviembre de 2020. Las mediciones se realizaron en los intervalos unitarios de tiempo de medida establecidos en la Resolución 0627 de 2006, estos intervalos fueron previamente definidos para cada punto de medida, considerando intervalos de tiempo de referencia diurnos (durante el periodo comprendido entre las 7:01 y las 21:00 horas) y nocturnos (durante el periodo comprendido entre las 21:01 y las 7:00 horas).

Este procedimiento se realiza tanto en día hábil como en día no hábil, con el fin de poder establecer un patrón de comportamiento de un día ordinario normal más o menos característico y en día no hábil, con la finalidad de detectar posibles incidencias externas.

El ruido ambiental, según lo establecido en la Resolución 627 de 2006, se midió instalando el micrófono a una altura de cuatro metros medidos a partir del suelo terrestre y a una distancia equidistante entre los límites del espacio público correspondiente. Se obtuvieron 15 minutos de captura de información distribuidos uniformemente para cada punto (tres mediciones de cinco minutos). Cada una de estas mediciones consta de 15 mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales y tomadas en las siguientes orientaciones del micrófono: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba. Para cada orientación, en cada punto y horario, se aplica la siguiente fórmula:

$$LAeq = 10 * \log ((1/3) * (10^{L_{primera\ medición}/10} + 10^{L_{segunda\ medición}/10} + 10^{L_{tercera\ medición}/10}))$$

Ecuación 8.

El resultado de la medición es obtenido finalmente mediante la siguiente expresión:

$$LAeq = 10 * \log ((1/5) * (10^{LN/10} + 10^{LO/10} + 10^{LS/10} + 10^{LE/10} + 10^{LV/10}))$$

Ecuación 9.

Donde:

LAeq: Nivel equivalente resultante de la medición.

LN: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte.

LO: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste.

LS: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur.

LE: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este.

LV: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A, (LAeq,T) para cada uno de los monitoreos de ruido fueron ajustados o corregido de acuerdo con lo estipulado en el Artículo 8 de la Resolución 0627 de 2006, utilizando la metodología presentada en el Anexo II de la citada Resolución, de la siguiente manera.

$$L_{RA(X),T} = L_{RA(X),T} + (KI, KT, KS)$$

Ecuación 10.

Donde:

LRA(X),T: Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido. (X) corresponde a cualquiera de los parámetros de medida

KI: Ajuste por impulsos (dB(A))

KT: Ajuste por tono y contenido de información (dB(A))

KS: Ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones (ej. bajas frecuencias)

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A,  $L_{Aeq,T}$ , solo se corrige por un solo factor K, el de mayor valor en dB(A). El cálculo de los Factores de K se describe a continuación.

Para el ajuste por impulsos, en cada horario y punto de monitoreo se realizó una lectura por impulsos ( $L_{AI}$ ). Posteriormente se determinó la diferencia entre la lectura por impulsos

( $L_{AI}$ ) y el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado del punto de monitoreo ( $L_{Aeq,T}$ ).

$$L_I = (L_{AI} - L_{Aeq,T})$$

Ecuación 11.

Si la diferencia ( $L_I$ ) es menor a 3 decibeles no hay componentes impulsivos, si se encuentra entre 3 y 6 decibeles hay percepción neta de componentes impulsivos y si es superior a 6 decibeles hay percepción fuerte de componentes impulsivos: Según lo anterior se realizan las siguientes correcciones. Para la ausencia de percepción no se adicionan decibeles, si la percepción es neta se adicionan 3 dB(A) y si es fuerte se adicionan 6 dB(A).

El siguiente ajuste corresponde a las tonalidades, para lo cual en campo se realizó una lectura por filtros de tercios de octava. Con los resultados obtenidos en el espectro de tercios de octava se calcula la diferencia:

$$L = L_t - L_s$$

Ecuación 12.

Donde:

L<sub>t</sub>: Es el nivel de presión sonora de la banda f que contiene el tono puro.

L<sub>s</sub>: Es la media de los niveles de las dos bandas situadas inmediatamente por encima y por debajo de f ( $L_{encima}$  y  $L_{debajo}$ ).

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 20 a 125 Hz:

- Si  $L < 8$  dB(A), no hay componentes tonales.
- Si  $8$  dB(A)  $< L < 12$  dB(A), hay componente tonal neto.
- Si  $L > 12$  dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 160 a 400 Hz:

- Si  $L < 5$  dB(A), no hay componentes tonales.
- Si  $5$  dB(A)  $< L < 8$  dB(A), hay componente tonal neto.
- Si  $L > 8$  dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales a partir de 500 Hz:

- Si  $L < 3 \text{ dB(A)}$ , no hay componentes tonales.
- Si  $3 \text{ dB(A)} < L < 5 \text{ dB(A)}$ , hay componente tonal neto.
- Si  $L > 5 \text{ dB(A)}$ , hay componente tonal fuerte.

Para la ausencia de componentes tonales no se adicionan decibeles, si hay componentes tonales netos se adicionan 3 dB(A) y si es fuerte se adicionan 6 dB(A).

Por último, la corrección de nivel KS se aplica de la siguiente manera. Si el ruido proviene de las instalaciones de ventilación y climatización, bajas frecuencias: 5 dB(A) en período diurno; 8 dB(A) en período nocturno.

#### 5.1.11.4.2.7. Normatividad

Los resultados de los monitoreos de ruido se comparan respecto a la Resolución 627 de 2006 del MAVDT, en la que se establecen los niveles de ruido permisibles, de acuerdo con la clasificación de las zonas según el uso del suelo o actividad principal y en términos de ruido equivalente.

Se monitorearon 18 puntos de ruido ambiental, de los cuales nueve se clasificaron en el sector D. Rural habitada destinada a explotación agropecuaria, siete se clasificaron en el sector C. Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales, y 2 se clasificaron en el sector C, Zonas con usos industriales.

A continuación, en la Tabla 148 se presentan los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles dB(A).

Tabla 148. Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques y reservas naturales.		

Fuente: Resolución 0627 del 2006 del MADS. (2006).



#### 5.1.11.4.2.8. Resultados y análisis

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los monitoreos de ruido ambiental para los días hábil y no hábil en el periodo diurno y nocturno.

Tabla 149. Niveles de ruido ambiental día hábil periodo diurno

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LAReq, 1h d
R1	49,6	49,6	49,6	49,6	52,1	50,2
R2	57,5	57,0	56,9	57,2	56,9	57,1
R3	80,5	75,9	76,7	76,2	77,9	77,8
R4	69,6	78,2	67,7	69,8	70,1	73,0
R5	50,5	55,1	49,5	52,5	78,5	71,5
R6	50,5	49,9	49,2	49,1	49,1	49,6
R7	58,4	58,4	58,5	58,4	58,0	58,3
R8	76,9	73,5	75,9	72,8	75,4	75,1
R9	55,9	48,6	54,5	61,9	56,3	57,4
R10	58,3	58,5	58,6	60,8	59,2	59,2
R11	50,2	48,7	47,6	47,7	54,9	50,8
R12	54,8	59,6	57,1	60,3	49,7	57,6
R13	68,5	69,4	65,2	65,8	65,4	67,2
R18	70,4	72,4	73,6	74,8	72,0	72,9
R19	78,0	79,8	80,7	81,1	81,1	80,3
R20	63,9	64,4	69,1	62,6	72,4	68,1
R21	60,9	56,8	56,4	60,1	62,9	60,1
R22	53,6	53,1	53,9	55,7	54,7	54,3

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

Tabla 150. Niveles de ruido ambiental día no hábil periodo diurno

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LReq, 1h d
R1	49.9	50.6	49.9	49.8	49.9	50.0
R2	52.6	50.1	53.4	50.1	51.2	51.7
R3	68.9	73.9	71.0	72.0	71.3	71.7
R4	73.7	66.1	66.4	65.9	68.1	69.2
R5	59.5	59.6	59.5	59.5	59.6	59.5
R6	59.1	59.0	66.6	59.3	58.8	61.9
R7	63.3	63.1	63.4	65.8	63.7	64.0
R8	74.2	73.9	73.1	75.6	75.0	74.4
R9	56.9	57.1	57.4	59.4	59.8	58.3
R10	61.0	60.1	59.1	59.5	60.8	60.2
R11	56.9	59.6	64.3	61.3	65.1	62.4
R12	55.1	55.8	55.1	55.5	53.4	55.0
R13	69.4	61.6	68.1	67.6	60.1	66.7
R18	76.0	72.8	73.7	74.3	73.2	74.2
R19	82.7	81.4	79.6	80.6	79.3	80.9
R20	69.0	71.2	64.3	54.9	66.2	67.5
R21	53.0	56.1	57.5	57.9	55.5	56.3
R22	52.5	50.3	50.2	50.2	50.2	50.8

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

Tabla 151. Niveles de ruido ambiental día hábil periodo nocturno

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LReq, 1h d
R1	59.8	60.0	60.6	59.3	59.3	59.8
R2	55.4	55.4	55.5	55.4	56.2	55.6

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LReq, 1h d
R3	81.0	77.1	80.9	79.5	81.4	80.2
R4	55.6	55.3	55.3	55.4	55.5	55.4
R5	60.2	60.0	60.5	60.2	60.1	60.2
R6	60.9	61.1	60.1	61.1	60.0	60.7
R7	63.1	63.6	64.3	63.8	63.5	63.7
R8	76.8	70.9	75.7	71.2	74.4	74.4
R9	57.6	61.5	68.5	56.0	60.1	63.2
R10	56.6	56.2	54.5	55.7	59.2	56.7
R11	59.1	52.7	52.6	55.7	55.0	55.7
R12	47.8	47.7	47.6	47.6	51.3	48.7
R13	62.2	48.6	47.3	48.6	48.2	55.9
R18	49.3	58.0	54.3	57.3	57.6	56.2
R19	71.4	74.6	76.4	67.0	72.5	73.4
R20	55.0	63.0	58.9	55.1	61.7	59.9
R21	53.7	54.0	53.5	52.0	51.9	53.1
R22	63.2	63.2	63.3	63.2	63.2	63.3

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

Tabla 152. Niveles de ruido ambiental día no hábil periodo nocturno

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LReq, 1h d
R1	54.3	58.6	56.8	58.5	57.0	57.3
R2	58.1	57.9	58.2	58.1	59.9	58.5
R3	71.2	69.0	72.4	74.4	70.3	71.8
R4	74.5	73.2	68.8	74.4	70.5	72.8
R5	56.0	56.9	57.2	56.8	55.6	56.5

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LReq, 1h d
R6	57.9	57.7	57.7	57.8	57.0	57.7
R7	57.1	57.3	57.1	57.1	57.0	57.1
R8	78.3	73.7	71.8	75.0	75.5	75.4
R9	58.0	57.4	57.2	57.2	57.2	57.4
R10	57.2	57.5	57.3	57.3	57.2	57.3
R11	57.2	57.2	57.4	57.2	57.7	57.3
R12	56.5	56.4	56.7	60.7	57.3	57.8
R13	49.7	48.8	49.5	52.6	50.6	50.5
R18	53.3	59.9	55.8	59.4	54.9	57.4
R19	70.9	74.9	68.7	73.4	73.4	72.8
R20	53.4	53.3	55.4	56.1	53.9	54.6
R21	55.2	53.0	51.8	51.9	53.7	53.3
R22	57.1	57.1	57.2	56.9	55.5	56.8

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

A continuación, se presentan las tablas comparativas de los resultados obtenidos en los monitoreos de ruido ambiental respecto a la norma establecida en la Resolución 0627 del 2006 del MADS.

Tabla 153. Comparación de los resultados del monitoreo de ruido ambiental día hábil comparados con la Norma

Punto	Tipo de medición	Sector	Límites Permisibles Normatividad aplicable		Monitoreo de ruido ambiental	
			Horario Diurno dB(A)	horario nocturno dB(A)	Horario Diurno dB(A)	Horario Nocturno dB(A)
R1	49.6	D	55	45	50.2	59.8
R2	57.5	D	55	45	57.1	55.6

Punto	Tipo de medición	Sector	Límites Permisibles Normatividad aplicable		Monitoreo de ruido ambiental	
			Horario Diurno dB(A)	horario nocturno dB(A)	Horario Diurno dB(A)	Horario Nocturno dB(A)
R3	80.5	C	80	70	77.8	80.2
R4	69.6	C	80	70	73.0	55.4
R5	50.5	D	55	45	71.5	60.2
R6	50.5	D	55	45	49.6	60.7
R7	58.4	D	55	45	58.3	63.7
R8	76.9	C	80	70	75.1	74.4
R9	55.9	C	80	70	57.4	63.2
R10	58.3	D	55	45	59.2	56.7
R11	50.2	D	55	45	50.8	55.7
R12	54.8	D	55	45	57.6	48.7
R13	68.5	C	80	70	67.2	55.9
R18	70.4	D	55	45	72.9	56.2
R19	78.0	C	80	70	80.3	73.4
R20	63.9	C	80	70	68.1	59.9
R21	60.9	C	75	70	60.1	53.1
R22	53.6	C	75	70	54.3	63.3

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

Tabla 154. Comparación de los resultados del monitoreo de ruido ambiental día no hábil comparados con la Norma

Punto	Tipo de medición	Sector	Límites Permisibles Normatividad aplicable		Monitoreo de ruido ambiental	
			Horario Diurno dB(A)	horario nocturno dB(A)	Horario Diurno dB(A)	Horario Nocturno dB(A)
R1	49.6	D	55	45	50.0	57.3
R2	57.5	D	55	45	51.7	58.5
R3	80.5	C	80	70	71.7	71.8
R4	69.6	C	80	70	69.2	72.8
R5	50.5	D	55	45	59.5	56.5
R6	50.5	D	55	45	61.9	57.7
R7	58.4	D	55	45	64.0	57.1
R8	76.9	C	80	70	74.4	75.4
R9	55.9	C	80	70	58.3	57.4
R10	58.3	D	55	45	60.2	57.3
R11	50.2	D	55	45	62.4	57.3
R12	54.8	D	55	45	55.0	57.8
R13	68.5	C	80	70	66.7	50.5
R18	70.4	D	55	45	74.2	57.4
R19	78.0	C	80	70	80.9	72.8
R20	63.9	C	80	70	67.5	54.6
R21	60.9	C	75	70	56.3	53.3
R22	53.6	C	75	70	50.8	56.8

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

Para comparar los resultados obtenidos del monitoreo de ruido ambiental ejecutado para el EIA La Virginia Alférez – 500 KV, para los puntos R21 y R22 se seleccionó el sector C (Ruido Intermedio Restringido), subsector: Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas, teniendo en cuenta las características de la zona monitoreada, las cuales corresponden a un sector industrial donde se localizan las subestaciones, como se evidencia en el registro

fotográfico, ver información Campo Abiótico y Laboratorios, y en concordancia con las observaciones de campo. Dicho sector establece límites máximos permisibles de 75 dB(A) para jornada diurna y 70 dB(A) para jornada nocturna.

Una vez efectuado el análisis de los reportes de ruido ambiental obtenidos en los puntos clasificados en el Sector C, subsector: Zonas con usos permitidos industriales, tanto en la jornada diurna hábil como no hábil las mediciones realizadas presentan cumplimiento del límite permisible, y de igual forma, en horario nocturno hábil y no hábil se presenta cumplimiento en los puntos R21 y R22.

Las fuentes de ruido presentes en el punto R21 en horario diurno hábil corresponden a la fauna local, operación y maquinaria de subestación, paso de vehículo y en horario diurno no hábil corresponden a los sonidos de la fauna local, maquinaria, la instalación de equipo de perforación, actividad de los trabajadores y operación de la subestación. En el punto R22 se presentaron sonidos de la fauna local y la operación de la subestación. En horario nocturno en día hábil no se registra operación de la subestación y los niveles se relacionan con sonidos de la fauna local, presentándose cumplimiento del límite permisible. En día no hábil se registra operación nocturna de la subestación en el punto R22.

Los puntos R3, R4, R8, R9, R13, R19 y R20 al estar localizados al borde de la vía principal se clasificaron en sector C, subsector “Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales”. Los niveles diurnos tanto en día hábil como en día no hábil se relacionan con sonidos de la fauna local y principalmente tránsito frecuente de vehículos pesados, vehículos livianos y motocicletas. En horario nocturno en día hábil se evidencia tránsito de vehículos en los puntos R3, R8, R9, R19 y R20, mientras que en los puntos R4 y R13 los niveles se vieron influenciados solamente por sonidos de la fauna local. En horario nocturno no hábil se presentó influencia del tránsito vehicular en los puntos R3, R4, R8, R19 y R20, y en los puntos R9 y R13 solo se registraron sonidos de la fauna local.

Respecto al cumplimiento normativo, para el horario diurno se evidencia cumplimiento del nivel establecido para el sector C, con un leve sobrepaso en el punto R19. En horario nocturno se evidencia sobrepaso para los puntos R3, R8 y R19 y en día no hábil se observa que los puntos R9, R13 y R20 se encuentran por debajo del límite y los puntos R3, R4, R8 y R19 presentan sobrepaso.

Los puntos R1, R2, R5, R6, R7, R10, R11, R12 y R18, se clasificaron en Sector D al estar localizados en zonas predominantemente rurales.



En horario diurno hábil, se presenta cumplimiento del límite normativo para los puntos R1, R6 y R11, y en la Figura 5 se evidencia que en día no hábil los puntos R1, R2 y R12 cumplen el límite. Para los puntos R1, R6, R7 y R10 en horario diurno hábil solo se presentó influencia de los sonidos de la fauna local. En el punto R2 se presentaron sonidos de actividad de construcción, en el punto R5 el paso de una moto, en el punto R11 tránsito de vehículos livianos y motocicletas, en el punto R12 sonidos de la fauna local, paso de un vehículo y ladridos, y el punto R18, al encontrarse al borde una vía veredal registró influencia del paso de vehículos pesados (bus), vehículos livianos y motocicletas. En día no hábil los puntos R1, R2, R5, R6, R7, R10, R11, R12, registraron influencia de los sonidos de la fauna local y en el punto R18 se presentó tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos y motocicletas.

Finalmente, se evidencia que en horario nocturno hábil y no hábil todos los puntos presentan sobrepaso del límite permisible. En horario nocturno hábil en los puntos R1, R2, R5, R6 y R10 los niveles se relacionan con sonidos de la fauna local. En el punto R7 adicionalmente se presentaron ladridos, en los puntos R11 y R18 se presentó tránsito de vehículos livianos y motocicletas y en el punto R12 detonaciones de pólvora. En día no hábil en los puntos R5, R6, R7, R10 y R11 se presentaron sonidos de la fauna local, en el punto R1 se presentó sonido de pólvora, en el punto R2 ladridos, en el punto R12 el paso de un avión y en el punto R18 se presentó tránsito de vehículos pesados, vehículos livianos y motocicletas.

#### 5.1.11.4.2.9. Conclusiones

Por medio de los resultados obtenidos se puede entender que la dinámica actual de ruido ambiental arrojó mayor incumplimiento en el periodo nocturno en comparación al periodo diurno. Estos incumplimientos claramente se dan en mayor parte en el periodo nocturno debido a que la norma es mucho más estricta en este periodo. Cabe resaltar que de los 18 receptores en el escenario de Línea base día hábil, 7 presentaron incumplimiento en el periodo diurno y 12 en el periodo nocturno. Estos incumplimientos se asocian con el flujo vehicular que transita por las vías aledañas a los puntos de monitoreo.

Del mismo modo, para el escenario de Línea base día no hábil ocho receptores presentaron incumplimiento para el periodo diurno y 13 para el periodo nocturno. Se puede concluir que la tendencia se mantiene en cuanto al mayor incumplimiento para el periodo nocturno.

#### 5.1.11.4.3. Monitoreo de ruido ambiental 2021

La campaña de monitoreo de ruido 2021 se llevó a cabo en el área de influencia del proyecto La Virginia Alférez - 500 KV más específicamente a lo largo de los municipios de Palmira, El Cerrito y Ginebra en el departamento del Valle del Cauca. Este monitoreo de ruido se realizó para el periodo comprendido entre los días 14 al 17 de noviembre dándole cumplimiento a la normatividad vigente.

##### 5.1.11.4.3.1. Inventario de fuentes generadoras de ruido

Las principales fuentes de generación de ruido en el área de influencia del Proyecto la Virginia Alférez 500 kV, se describen a continuación en las siguientes tablas. Estas fuentes se caracterizan principalmente por sonidos de origen natural de la fauna nativa típica de la zona de estudio (Grillos, sapos y canto de aves) y el paso vehicular ocasional tanto de carros como de motos.

Tabla 155. Eventos reportados para cada punto de muestreo – Día Hábil

Punto de monitoreo	Fechas de monitoreo	Periodo	Eventos
R1	16/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna, entre ellos canto de aves, ruido generado por la puerta de acceso al cañaduzal y paso de motocicleta
	16/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna, entre ellos los sonidos emitidos por sapos y grillos; paso de un vehículo
R2	16/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado el paso vehicular ocasional sobre la vía que conduce a Palmira, entre ellos el tren cañero
	16/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna, entre ellos los sonidos emitidos por sapos y grillos; paso de una motocicleta y vehículos ocasionalmente
R3	16/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por el paso de vehículos ocasionalmente
	16/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna; paso de una motocicleta y vehículos esporádicamente
R4	16/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por el paso de vehículos ocasionalmente (Vía Santa Elena)

Punto de monitoreo	Fechas de monitoreo	Periodo	Eventos
	17/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna; paso de vehículos esporádicamente
R5	17/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por el paso de vehículos ocasionalmente
	17/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna, entre ellos los sonidos emitidos por sapos y grillos; paso de vehículos ocasionalmente
R6	17/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna, entre ellos canto de aves; vía destapada mínimo paso de vehículos y motos
	17/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna-nocturna, entre ellos canto de aves; vía destapada mínimo paso de vehículos y motos
R7	17/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna, entre ellos canto de aves; vía destapada, paso esporádico de vehiculas y motos
	17/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna-nocturna, entre ellos canto de aves; vía destapada, paso esporádico de vehículos y motos

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

Tabla 156. Eventos reportados para cada punto de muestreo – Día no Hábil

Punto de monitoreo	Fechas de monitoreo	Periodo	Eventos
R1	14/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna, entre ellos canto de aves, ruido generado por la puerta de acceso al cañaduzal y paso de motocicleta
	14/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna, entre ellos los sonidos emitidos por sapos y grillos; paso de camión cañero
R2	14/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado el paso vehicular ocasional sobre la vía que conduce a Palmira, entre ellos el tren cañero y motos
	14/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna, paso de motocicleta
R3	14/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado el paso vehicular ocasional sobre la vía que conduce a Anaimé

Punto de monitoreo	Fechas de monitoreo	Periodo	Eventos
	14/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna, paso de motocicleta
R4	14/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna y paso vehicular constante
	15/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna, entre ellos los sonidos emitidos por sapos y grillos; paso de motocicleta
R5	15/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por el paso de vehículos ocasionalmente
	15/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local nocturna, entre ellos los sonidos emitidos por sapos y grillos; paso de vehículos ocasionalmente
R6	15/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna, entre ellos canto de aves; vía destapada mínimo paso de vehículos y motos
	15/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna-nocturna, entre ellos canto de aves; vía destapada mínimo paso de vehículos y motos
R7	15/11/2021	Diurno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna, entre ellos canto de aves; vía destapada, paso esporádico de vehiculas y motos
	15/11/2021	Nocturno	Se percibe ruido generado por la fauna local diurna-nocturna, entre ellos canto de aves; vía destapada, paso esporádico de vehículos y motos

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

A continuación, se presenta el registro fotográfico y descripción de los puntos de monitoreo.

Tabla 157. Descripción de los puntos de monitoreo









Nombre	Municipio	Vereda	Departamento	Obstáculos	Descripción
R1	Palmira	Agua Clara	Valle del Cauca	Cañaduzal 20 metros aprox. Árboles 40 metros aprox.	Punto de monitoreo aledaño a la entrada de un cañaduzal, sobre un terreno con suelo pedregoso (vía sin pavimentar); alrededor del mismo se evidencian cultivos de caña de azúcar y algunos árboles de gran y mediana altura.
R2	Palmira	Barrancas	Valle del	Vivienda 20	El punto de monitoreo se ubicó en una

Nombre	Municipio	Vereda	Departamento	Obstáculos	Descripción
			Cauca	metros aprox. Árboles 30 metros aprox.	zona abierta y a un costado de la vía Palmira – Tablones sobre un terreno con suelo pedregoso; alrededor se observan árboles de altura mediana y grande.
R3	Palmira	Boyacá	Valle del Cauca	Vivienda 40 metros aprox. Árboles 30 metros aprox.	Punto de monitoreo situado sobre un terreno abierto que se encuentra cubierto por pastos cortos y a un costado de la vía que conduce a Amaine; alrededor del mismo se evidencian cultivos de caña de azúcar y árboles de gran y mediana altura.
R4	El Cerrito	Santa Elena	Valle del Cauca	Árboles 20 metros aprox.	Punto de monitoreo situado sobre un terreno abierto que se encuentra cubierto por pastos cortos y a un costado de la vía que conduce hacia el Cerrijo y Santa Elena; alrededor del mismo se evidencian cultivos de caña de azúcar y árboles de gran y mediana altura.
R5	El Cerrito	Santa Elena	Valle del Cauca	Árboles 30 metros aprox.	La medición se realiza sobre la vía pavimentada que conduce al corregimiento Santa Elena y Ginebra. La zona se encuentra rodeada por vegetación arbórea y arbustiva y se evidencia extensos cultivos de caña de azúcar.
R6	Ginebra	La Floresta	Valle del Cauca	Árboles 30 metros aprox.	La medición se realiza sobre un terreno sin pavimentar con características pedregosas (Vía destapada que corta paso entre Santa Elena y Ginebra). La zona se encuentra rodeada por vegetación arbórea, arbustiva y extensos cultivos de caña de azúcar.
R7	Ginebra	La Floresta	Valle del Cauca	Árboles 40 metros aprox.	La medición se realiza sobre un terreno sin pavimentar y con escasa cobertura vegetal. La zona se encuentra rodeada por vegetación arbórea y arbustiva a una distancia aproximada de 40 metros.

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

Tabla 158. Fotografías y coordenadas de los puntos de monitoreo

Nombre	Coordenadas Planas Origen Único	
	Norte	Este
R1	1949663.333	4639258.046
Fotografías		
Nombre	Coordenadas Planas Origen Único	
	Norte	Este
R2	1950805.454	4639253.156
Fotografías		
Nombre	Coordenadas Planas Origen Único	
	Norte	Este
R3	1956644.893	4638482.131
Fotografías		
Nombre	Coordenadas Planas Origen Único	
	Norte	Este
R4	1960167.528	4638172.323

<b>Fotografías</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas Planas Origen Único</b>	
	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
R5	1964639.293	4638288.610
<b>Fotografías</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas Planas Origen Único</b>	
	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
R6	1969032.472	4639308.659
<b>Fotografías</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas Planas Origen Único</b>	
	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
R7	1969950.733	4640291.504
<b>Fotografías</b>		

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)



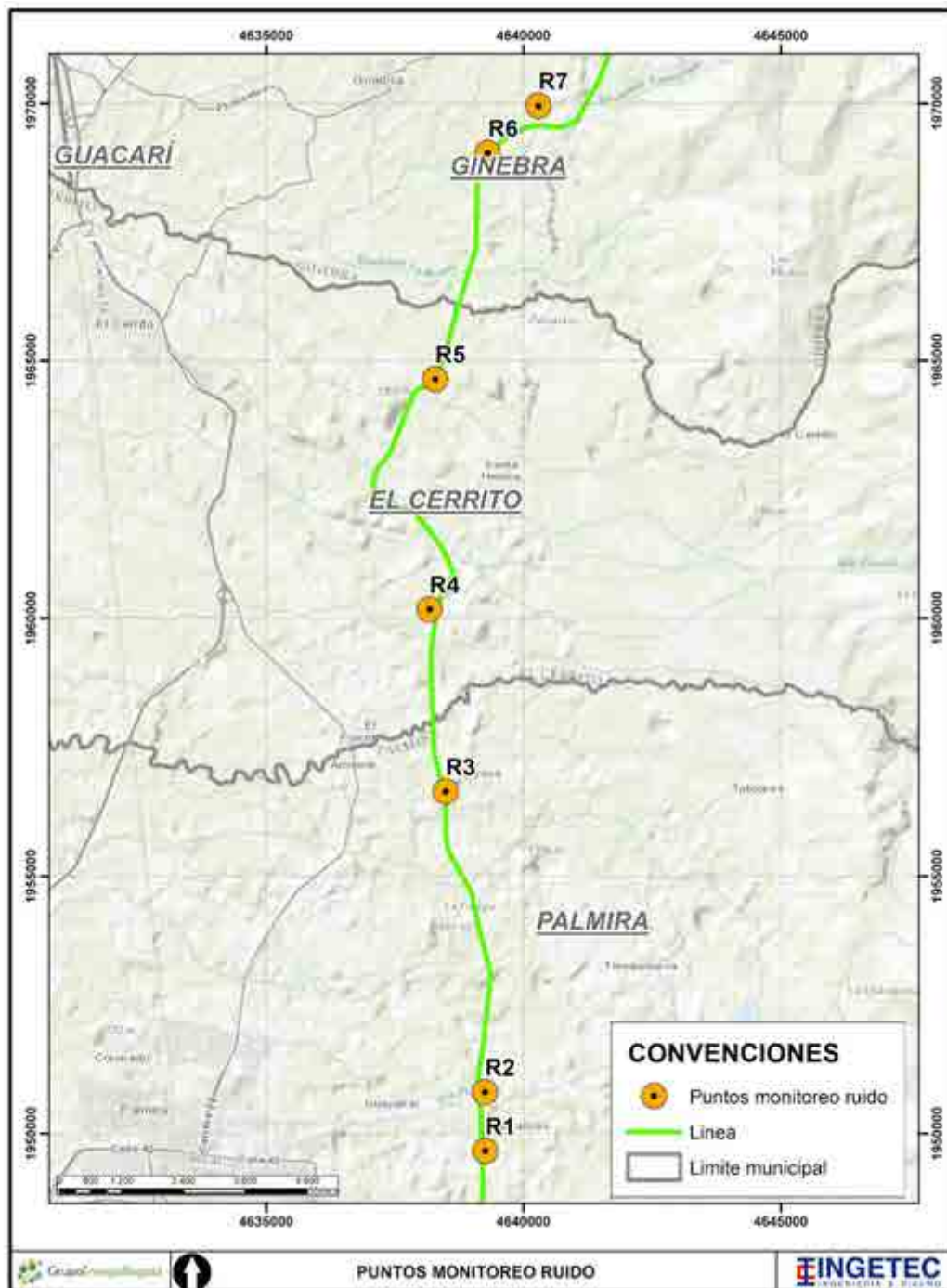


Figura 157. Ubicación de los puntos de monitoreo de ruido  
Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

#### 5.1.11.4.3.2. Condiciones atmosféricas

A continuación, se presentan las condiciones atmosféricas registradas en el lugar de los monitoreos de ruido.

Los datos registrados son validados en campo mediante mediciones In-Situ a través de una estación meteorológica, portátil y digital, marca Kestrel® 4500 Pocket Air Flow® Tracker, la cual cuenta con las siguientes características:

Tabla 159. Rangos de detección mediciones climáticas

Parámetros	Escala	Resolución	Precisión
Velocidad del viento	0,3 a 40 m/s	0,1 m/s	±3%
Temperatura	-20 a +60 °C	0,1 °C	±1 °C
Humedad Relativa	0 a 100% Hr	1% Hr	±3% Hr (entre 15% y 90% Hr)

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S

Tabla 160. Valores ambientales registrados en cada punto de monitoreo

Punto de monitoreo	Periodo de medición	Día hábil			Día no hábil		
		Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa %	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°C)	Humedad relativa %
R1	Diurno	0,5	24,8	63,0	0,3	26,1	54,7
	Nocturno	0,1	21,0	88,3	0,1	21,9	92,7
R2	Diurno	1,0	27,9	60,7	0,7	29,3	49,6
	Nocturno	1,1	22,3	89,7	0,3	21,3	97,3
R3	Diurno	1,0	29,3	49,7	0,4	28,9	57,0
	Nocturno	1,1	20,0	86,0	0,0	20,6	97,9
R4	Diurno	0,7	29,0	48,1	1,0	27,9	55,5
	Nocturno	1,0	19,3	70,1	0,2	26,5	86,1
R5	Diurno	0,5	27,9	53,3	0,3	26,0	26,0
	Nocturno	0,6	18,6	89,2	0,1	25,2	76,6
R6	Diurno	0,9	24,0	55,3	0,2	29,3	52,7
	Nocturno	0,9	17,7	80,3	0,3	17,7	91,6
R7	Diurno	0,6	28,5	51,5	0,3	27,8	58,1
	Nocturno	0,4	19,9	81,2	0,4	21,7	78,2

#### 5.1.11.4.3.3. Equipos utilizados

Como instrumento de medición de niveles de presión sonora se empleó un sonómetro marca Svantek con número de serie: 34326. Este se ha calibrado eléctrica y acústicamente, con filtro de ponderación A y de respuesta rápida, en forma continua (Ver Información Campo Abiótico y Laboratorio).

El sonómetro tiene capacidad de medir el nivel equivalente de presión sonora con ponderación frecuencial A, -LAeq-, directa e indirectamente; cumple con las especificaciones de sonómetro Tipo 1 y es integrador de clase P. Este sonómetro cumple con los requerimientos del American National Standards Institute (ANSI S1.4—1983-R2001, ANSI S1.11-2004 y ANSI S1.43-1997-R2002), Especificación Estándar de medidores de niveles de sonido para propósitos generales tipo 1; y la International Electro - Technical Commission (IEC 61672-1, IEC 61672-2, IEC 61260, IEC 61000). Además, cumple con los requerimientos de la Resolución 627 de 2006 del MAVDT. De acuerdo con las especificaciones del sonómetro se tiene: Precisión +/- 0.5 dB, para temperaturas de operación entre -10 y + 50 °C, y humedad relativa entre 10 y 90%. Nivel de linealidad con una tolerancia de +/- 0.7 dB referenciado a 94 dB. Este equipo dispone además con un dispositivo integrador de resultados o data logger que permite el almacenamiento y procesamiento de la información registrada, además de permitir su programación en los horarios de tiempo deseados.

#### 5.1.11.4.3.4. Procedimiento de medición de ruido

En el contexto de la valoración del ruido en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental - EIA, se siguió en forma estricta el procedimiento de medición para ruido ambiental, estipulado en el Anexo 3, Capítulos II de la Resolución 627 de 2006 del actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Este procedimiento se realiza tanto en día hábil como en día no hábil, con el fin de poder establecer un patrón de comportamiento de un día ordinario normal más o menos característico y en día no hábil, con la finalidad de detectar posibles incidencias externas.

El ruido ambiental, según lo establecido en la Resolución 627 de 2006, se midió instalando el micrófono a una altura de cuatro metros medidos a partir del suelo terrestre y a una distancia equidistante entre los límites del espacio público correspondiente. Se obtuvieron 15 minutos de captura de información distribuidos uniformemente para cada

punto (tres mediciones de cinco minutos). Cada una de estas mediciones consta de 15 mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales y tomadas en las siguientes orientaciones del micrófono: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba. Para cada orientación, en cada punto y horario, se aplica la siguiente fórmula:

$$LAeq = 10 * \log \left( \frac{1}{3} * \left( 10^{L_{\text{primera medición}}/10} + 10^{L_{\text{segunda medición}}/10} + 10^{L_{\text{tercera medición}}/10} \right) \right)$$

Ecuación 13.

El resultado de la medición es obtenido finalmente mediante la siguiente expresión:

$$LAeq = 10 * \log \left( \frac{1}{5} * \left( 10^{LN/10} + 10^{LO/10} + 10^{LS/10} + 10^{LE/10} + 10^{LV/10} \right) \right)$$

Ecuación 14.

Donde:

LAeq: Nivel equivalente resultante de la medición.

LN: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte.

LO: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste.

LS: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur.

LE: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este.

LV: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A, (LAeq,T) para cada uno de los monitoreos de ruido fueron ajustados o corregido de acuerdo con lo estipulado en el Artículo 8 de la Resolución 0627 de 2006, utilizando la metodología presentada en el Anexo II de la citada Resolución, de la siguiente manera.

$$L_{RA(X),T} = L_{RA(X),T} + (KI, KT, KS)$$

Ecuación 15.

Donde:

LRA(X),T: Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido. (X) corresponde a cualquiera de los parámetros de medida

KI: Ajuste por impulsos (dB(A))

KT: Ajuste por tono y contenido de información (dB(A))

KS: Ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones (ej. bajas frecuencias)

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A,  $L_{Aeq,T}$ , solo se corrige por un solo factor K, el de mayor valor en dB(A). El cálculo de los Factores de K se describe a continuación.

Para el ajuste por impulsos, en cada horario y punto de monitoreo se realizó una lectura por impulsos ( $L_{AI}$ ). Posteriormente se determinó la diferencia entre la lectura por impulsos ( $L_{AI}$ ) y el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado del punto de monitoreo ( $L_{Aeq,T}$ ).

$$L_I = (L_{AI} - L_{Aeq,T})$$

Ecuación 16.

Si la diferencia ( $L_I$ ) es menor a 3 decibeles no hay componentes impulsivos, si se encuentra entre 3 y 6 decibeles hay percepción neta de componentes impulsivos y si es superior a 6 decibeles hay percepción fuerte de componentes impulsivos: Según lo anterior se realizan las siguientes correcciones. Para la ausencia de percepción no se adicionan decibeles, si la percepción es neta se adicionan 3 dB(A) y si es fuerte se adicionan 6 dB(A).

El siguiente ajuste corresponde a las tonalidades, para lo cual en campo se realizó una lectura por filtros de tercios de octava. Con los resultados obtenidos en el espectro de tercios de octava se calcula la diferencia:

$$L = L_t - L_s$$

Ecuación 17.

Donde:

L<sub>t</sub>: Es el nivel de presión sonora de la banda f que contiene el tono puro.

L<sub>s</sub>: Es la media de los niveles de las dos bandas situadas inmediatamente por encima y por debajo de f ( $L_{encima}$  y  $L_{debajo}$ ).

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 20 a 125 Hz:

- Si  $L < 8$  dB(A), no hay componentes tonales.
- Si  $8$  dB(A)  $< L < 12$  dB(A), hay componente tonal neto.
- Si  $L > 12$  dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 160 a 400 Hz:

- Si  $L < 5$  dB(A), no hay componentes tonales.
- Si  $5$  dB(A)  $< L < 8$  dB(A), hay componente tonal neto.
- Si  $L > 8$  dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales a partir de 500 Hz:

- Si  $L < 3$  dB(A), no hay componentes tonales.
- Si  $3$  dB(A)  $< L < 5$  dB(A), hay componente tonal neto.
- Si  $L > 5$  dB(A), hay componente tonal fuerte.

Para la ausencia de componentes tonales no se adicionan decibeles, si hay componentes tonales netos se adicionan 3 dB(A) y si es fuerte se adicionan 6 dB(A).

Por último, la corrección de nivel KS se aplica de la siguiente manera. Si el ruido proviene de las instalaciones de ventilación y climatización, bajas frecuencias: 5 dB(A) en período diurno; 8 dB(A) en período nocturno.

#### 5.1.11.4.3.5. Normatividad

Los resultados de los monitoreos de ruido se comparan respecto a la Resolución 627 de 2006 del MAVDT, en la que se establecen los niveles de ruido permisibles, de acuerdo con la clasificación de las zonas según el uso del suelo o actividad principal y en términos de ruido equivalente.

Se monitorearon 7 puntos de ruido ambiental, de los cuales nueve se clasificaron en el sector D. Rural habitada destinada a explotación agropecuaria, siete se clasificaron en el sector C. Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales, y 2 se clasificaron en el sector C, Zonas con usos industriales.

A continuación, se presentan los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles dB(A).

Tabla 161. Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
	Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55
Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.			
Zonas de Recreación y descanso, como parques y reservas naturales.			

Fuente: Resolución 0627 del 2006 del MADS. (2006).



#### 5.1.11.4.3.6. Resultados y análisis

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los monitoreos de ruido ambiental para los días hábil y no hábil en el periodo diurno y nocturno.

Tabla 162. Niveles de ruido ambiental día hábil periodo diurno

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LAR <sub>e</sub> q, 1h d
R1	55,9	47,7	58,4	50,5	55,0	55,0
R2	62,9	62,8	60,5	62,0	60,5	61,8
R3	55,1	54,1	53,0	54,7	61,5	57,0
R4	66,5	66,6	67,9	66,4	72,5	68,7
R5	59,8	63,8	63,9	59,6	56,6	61,6
R6	49,1	53,2	53,4	51,4	60,0	55,2
R7	55,5	58,3	57,6	61,2	61,1	59,2

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

Tabla 163. Niveles de ruido ambiental día hábil periodo nocturno

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LAR <sub>e</sub> q, 1h d
R1	56,6	48,9	55,1	56,0	53,9	54,8
R2	61,3	61,9	61,5	60,8	64,3	62,2
R3	56,9	61,2	58,2	53,7	53,8	57,7
R4	60,1	64,8	62,6	60,7	61,7	62,3
R5	64,6	64,1	61,7	61,9	63,0	63,2
R6	49,1	48,0	56,4	46,9	55,8	53,0
R7	45,0	56,4	53,5	62,7	64,6	60,3

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

Tabla 164. Niveles de ruido ambiental día no hábil periodo diurno

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LAR <sub>e</sub> q, 1h d
R1	53,8	54,8	54,8	54,1	56,2	54,8
R2	65,6	64,3	61,3	66,4	68,7	65,9
R3	62,7	60,1	60,3	64,8	61,9	62,3
R4	65,7	60,7	64,8	62,8	58,4	63,2
R5	57,7	62,2	61,5	59,9	58,0	60,2
R6	52,4	52,4	50,8	49,3	60,3	55,1
R7	63,4	52,4	55,5	65,6	61,7	61,9

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

Tabla 165. Niveles de ruido ambiental día no hábil periodo nocturno

Punto	LN dB(A)	LE dB(A)	LS dB(A)	LO dB(A)	LV dB(A)	LAR <sub>e</sub> q, 1h d
R1	48,3	50,0	52,2	48,5	49,9	50,0
R2	62,5	65,9	63,4	64,1	63,5	64,0
R3	59,5	61,8	60,1	58,9	59,2	60,0
R4	60,7	60,9	65,4	62,1	64,8	63,2
R5	62,1	60,3	61,8	58,0	59,5	60,6
R6	56,8	50,7	55,7	52,4	49,6	53,9
R7	60,3	58,5	66,7	64,8	62,7	63,6

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

Tabla 166. Comparación de los resultados del monitoreo de ruido ambiental día hábil comparados con la Norma

Punto	Sector	Límites Permisibles Normatividad aplicable		Monitoreo de ruido ambiental	
		Horario Diurno dB(A)	Horario nocturno dB(A)	Horario Diurno dB(A)	Horario Nocturno dB(A)
R1	C	80	70	55,0	54,8
R2	C			61,8	62,2
R3	C			57,0	57,7
R4	C			68,7	62,3
R5	C			61,6	63,2
R6	C			55,2	53,0
R7	C			59,2	60,3

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

Tabla 167. Comparación de los resultados del monitoreo de ruido ambiental día no hábil comparados con la Norma

Punto	Sector	Límites Permisibles Normatividad aplicable		Monitoreo de ruido ambiental	
		Horario Diurno dB(A)	horario nocturno dB(A)	Horario Diurno dB(A)	Horario Nocturno dB(A)
R1	C	80	70	54,8	50,0
R2	C			65,9	64,0
R3	C			62,3	60,0
R4	C			63,2	63,2
R5	C			60,2	60,6
R6	C			55,1	53,9
R7	C			61,9	63,6

Fuente: AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S (2021)

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que en el monitoreo de Ruido Ambiental efectuado en el área de influencia del Proyecto la Virginia Alférez 500 kV para los puntos de monitoreo: R1, R2, R3, R4, R5, R6 y R7 durante la jornada diurna para el día hábil y el día no hábil, son inferiores al límite máximo permisible 80 dB(A) establecido por la Resolución 627 de 2006 para el Sector C. Ruido Intermedio Restringido, Subsector Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales, obteniéndose valores entre 53,0 dB(A) (R6 Día No Hábil) y 68,7 dB(A) (R4 Día hábil).

Respecto a las mediciones realizadas durante la jornada nocturna en los puntos de monitoreo de ruido ambiental R1, R2, R3, R4, R5, R6 y R7 para el día hábil y el día no hábil, son inferiores al estándar máximo permisible de 70 dB(A) definido para dicho horario por la norma, en donde se presentaron valores entre 50,0 dB(A) (Día No Hábil R1) y 65,9 dB(A) (Día Hábil R2).

#### 5.1.11.4.3.7. Conclusiones

A partir del análisis puntual de los niveles de ruido ambiental equivalente promedio en el periodo diurno y nocturno, para cada uno de los puntos establecidos en el área de influencia del Proyecto la Virginia Alférez 500 Kv, al comparar los resultados obtenidos con la legislación ambiental aplicable, se obtienen las siguientes conclusiones:

La Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, establece para el monitoreo de Ruido ambiental en el Sector C. Ruido Intermedio Restringido, Subsector Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales, un límite máximo permisible de 80 dB(A) en el horario diurno y de 70 dB(A) en el horario nocturno.

Los resultados  $Leq(A)$  para el monitoreo de Ruido Ambiental, durante la jornada diurna, para el día hábil y el día no hábil en los puntos evaluados: R1, R2, R3, R4 R5, R6 y R7, son inferiores a los estándares máximos permisibles definidos por la norma.

En relación con las mediciones realizadas durante la jornada nocturna en los puntos de monitoreo R1, R2, R3, R4, R5, R6 y R7 para el día hábil y el día no hábil, fueron inferiores al estándar máximo permisible.

#### 5.1.11.4.4. Modelo de ruido

##### 5.1.11.4.4.1. Descripción de los modelos

En una primera instancia, para la modelación de ruido en la zona donde se llevará a cabo la implementación de La Línea de Transmisión para el Proyecto La Virginia - Alférez , se planteó tres modelaciones definidas por el escenario Actual sin proyecto (línea base) para un día hábil y un día no hábil y escenario de construcción del proyecto.

El escenario de Línea base contempla un modelo para el periodo diurno y periodo nocturno. Por otra parte, el escenario de construcción contempla únicamente el periodo diurno debido a que es en este periodo donde únicamente se llevarán a cabo las actividades de construcción. Asimismo, el escenario de construcción se modeló para las actividades de cimentación y para las actividades de tendido.

Es de suma importancia entender que los modelos se dividieron en cuatro tramos con el fin de generar mapas de ruido y obtener mejor detalle y mayor entendimiento de las dinámicas de propagación de ruido. Este criterio de segmentación de los cuatro tramos también hace referencia a los tiempos de corrida de cada modelo, ya que, al ser un proyecto con una extensión de 211 km, las isófonas resultantes se darían para tiempos superiores a los tiempos estipulados en el cronograma de entrega. Es por esto, que al dividir los 211 km en cuatro tramos, se obtienen tiempos de corridas inferiores a los que se generarían corriendo el tramo completo. Cabe resaltar, que estos criterios de modelación no afectan en ninguna medida los resultados de los modelos.

Los cuatro tramos se dividieron de la siguiente manera:

- Tramo 1: Desde Cali (El Pórtico Alférez) hasta Cerrito
- Tramo 2: Desde Ginebra hasta Tuluá
- Tramo 3: Desde Andalucía hasta la Victoria
- Tramo 4: Desde Obando hasta el final del trazado.

Para el escenario actual (línea base), los modelos están enmarcados bajo la emisión de ruido de las actividades de tránsito vehicular de las vías aledañas a la Línea de Transmisión. Para el escenario de construcción los modelos se rigen bajo la emisión de las actividades de construcción, la vías y los accesos a las torres.

A continuación, se estipulan los escenarios modelados:

- Línea base día hábil Diurno
  - Línea base día hábil Nocturno
  - Construcción cimentación
  - Construcción tendido
- 
- Metodología general para desarrollar los modelos

La metodología general para la obtención de los modelos se realizó bajo los siguientes procedimientos:

- Configuración general del proyecto.
- Creación y cálculo del modelo digital del terreno (MDT).
- Cálculo de los aforos vehiculares discretizado en periodo diurno (7-21) y nocturno (21-7)
- Introducción de fuentes de ruido (Fuentes móviles y puntuales de ruido).
- Introducción y cálculo de niveles de ruido en puntos receptores.
- Cálculo del Mapa Acústico Reticulado.
- Generación de salidas gráficas

#### 5.1.11.4.4.2. Información de entrada de fuentes móviles y fijas

La base de entrada para el cálculo de los modelos se configura mediante la compilación de la siguiente información:

- Cartografía digital del área de análisis: Curvas de nivel, ubicación de fuentes, receptores, vías existentes, edificaciones con atributo de altura, absorción del terreno, Zonas boscosas,
- Características de fuentes móviles: Aforos vehiculares, distribución de vehículos en livianos y pesados, velocidades de circulación, número de carriles, ancho de banda, dirección, longitud del tramo (Plano/ Ascendente/Descendente), tipo de asfalto, entre otros.
- Características fuentes fijas y móviles: potencias acústicas
- Ubicación de receptores. Edificaciones, usos de suelo, receptores de interés, entre otros.
- Velocidades promedio vía terciaria: 50 km/h.
- Número de carriles: único carril.
- Ancho de la vía: promedio de 5 m vía terciaria
- Tipo de superficie: terreno destapado/Superficie porosa vía terciaria

- Estimativo de maquinaria, vehículos y equipos empleados para los modelos en cada escenario de construcción y sitios de obra.

Para el escenario de construcción de las torres:

- Excavaciones: retroexcavadoras.
- Cimentaciones en concreto: Mezcladoras de concreto, vibradores eléctricos.
- Nivelación de parrillas y ángulos de espera: compactadores con motor a gasolina (ranas).
- Pre-armado y montaje de torres: malacate, poleas de montaje, ratches con copas.
- Riega de pescante y tendido de conductor y cable de guarda: freno
- Otros equipos comunes durante la construcción: Volquetas, camperos, camión grúa, tractores, etc.

A continuación, se presenta un estimado de maquinaria y equipos por sitio de torre.

Tabla 168. Estimado de maquinaria y equipos por sitio de torre

Actividad	Herramienta/Equipo	Unidad	Cantidad Aproximada por sitio de torre
Movilización de materiales	Volqueta	UN	1
	Camión grúa	UN	1
Excavaciones	Compresores	UN	1
	Perforadoras manuales	UN	1
	Retroexcavadora tipo pajarita	UN	1
Cimentaciones en concreto	Mezcladoras de concreto	UN	1
	Vibradores eléctricos	UN	1
	Compactadoras con motor a gasolina (Ranas)	UN	1



Actividad	Herramienta/Equipo	Unidad	Cantidad Aproximada por sitio de torre
Nivelación de parrillas y ángulos de espera	Compactadoras con motor a gasolina (Ranas)	UN	1
Pre-Armado y montaje de torres	Malacate	UN	1
Riega de hilo piloto y tendido de cables conductores y de guarda	Malacate	UN	1
	Freno	UN	1
Empalme y regulación	Malacate	UN	1

Fuente: GEB (2021)

A continuación, se presenta un estimado de maquinaria y equipos por patio de almacenamiento.

Tabla 169. Estimado de maquinaria y equipos patio de almacenamiento 1

Actividad	Herramienta/Equipo	Unidad	Cantidad Aproximada
Almacenamiento	Camión	UN	6
	Grúa	UN	2
	Retroexcavadora	UN	1
	Volqueta	UN	2

Fuente: GEB (2022)

Tabla 170. Estimado de maquinaria y equipos patio de almacenamiento 2

Actividad	Herramienta/Equipo	Unidad	Cantidad Aproximada por sitio de torre
Almacenamiento	Camión	UN	7
	Grúa	UN	1

Actividad	Herramienta/Equipo	Unidad	Cantidad Aproximada por sitio de torre
	Retroexcavadora	UN	1
	Volqueta	UN	1

Fuente: GEB. (2022).

- Software para el modelo ruido

El software utilizado para la simulación acústica es SOUNDPLAN® 8.1, el cual permite el cálculo, evaluación y predicción de niveles de ruido ambiental sobre las áreas de análisis. Este software incluye dentro de sus módulos de cálculo, reconocidos métodos para propagación de ruido en exteriores e industria, como lo son familia de normativas ISO 9613 y métodos para propagación de fuentes móviles, RLS-90(Alemania); SP-48, SP-96 (Países Nórdicos); NMPB-ROUTES-2008 (Francia), en cumplimiento con los requerimientos y especificaciones establecidos en la Resolución 0627 de 2006. Ver Anexo D11 Ruido.

#### 5.1.11.4.4.3. Métodos de cálculo

#### 5.1.11.4.4.4. Método fuentes móviles de ruido

Los métodos de cálculo del ruido en ambientes exteriores corresponden a la aplicación de las siguientes normativas de uso internacional para el cálculo de la propagación acústica para fuentes fijas y móviles en espacios exteriores.

NMPB Routes: Estándar francés para la predicción del ruido sobre ejes viales.

El método francés para la predicción del ruido sobre ejes viales permite la definición de las emisiones de ruido del tráfico vial, a partir de los términos la contribución de la unidad de potencia o motor del vehículo y la contribución del ruido de rodadura. El componente motor depende de la velocidad, la aceleración y la pendiente de la carretera. Para vehículos ligeros (LV) su contribución se calcula como:

$$L(m\ w/m, LV)(v) = L(LV)(90) + b \cdot \log(v/90)$$

Ecuación 18.

Fuente: Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy - Enda Murphy Eoin King, 2014.

Dónde: LLV (90) y b son diferentes según velocidad constante, acelerada o desacelerada, para vehículos pesados (HV) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$L(m\ w/m, HV)(v) = L(HV)(80) + b \cdot \log(v/80)$$

Ecuación 19.

Fuente: Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy - Enda Murphy Eoin King, 2014.

Dónde: LHV (80) y b son diferentes según velocidad constante, acelerada o desacelerada, la componente de rodadura (Lr w/m) depende de la velocidad del vehículo y del tipo de superficie de la carretera. Las superficies se clasifican en 3 tipos (R1, R2, R3) según las características del asfalto. La siguiente tabla muestra las ecuaciones para el cálculo del nivel sonoro debido al componente de rodadura en función de la velocidad del vehículo. Ver Tabla 171.

Tabla 171. Cálculo de emisión Media debido al Componente Rodadura.

Tipo de superficie	L (r,LV)	L (r,Hv)
R1	53,4+21log (v/90)	61,5+20log (v/80)
R2	55,4+20.1log (v/90)	63,3+20log (v/80)
R3	53,7+21.4log (v/90)	64,4+20log (v/80)

Fuente: Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy - Enda Murphy Eoin King, 2014.

La propagación del ruido en espacios exteriores para fuentes puntuales, presentan el comportamiento descrito en las normativas internacionales: ISO 9613-1:1993 – Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 1: Cálculo de la absorción del sonido por la atmósfera e ISO 9613-2:1996 Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 2: Método general de cálculo.

El cálculo de la propagación de ruido hacia puntos receptores en condiciones de propagación homogénea se realiza de manera separada y tiene en cuenta la suma de las condiciones de atenuación existentes en la trayectoria fuente/receptor de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

Ecuación 20.

Fuente: ISO 9613-2:1996 Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 2: Método general de cálculo.

Donde

$A_{div}$  = atenuación debido a la divergencia geométrica.

$A_{atm}$  = atenuación debido a la absorción atmosférica.

$A_{gr}$  = atenuación por efecto del suelo.

$A_{bar}$  = atenuación por efecto de barreras.

$A_{misc}$  = atenuación por otros efectos similares.

Las condiciones y parámetros incluidos en el método de cálculo del modelo, bajo la normativa ISO 9613, se presentan a continuación:

A continuación, en la Tabla 1722 se presentan las ecuaciones utilizadas en el cálculo de dispersión.

Tabla 172. Ecuaciones utilizadas en el cálculo de dispersión

Nombre	Fórmula
Divergencia geométrica ( $A_{div}$ )	$A_{div} = 20 \cdot \log(d/d_0) + 11$
Absorción atmosférica ( $A_{atm}$ )	$A_{atm} = ad/1000$
Efecto del suelo ( $A_{gr}$ )	$A_{gr} = A_s + A_r + A_m$ Cuando el sonido no es un tono puro. En estos casos la atenuación podría ser calculada mediante la ecuación: $A_{gr} = 4.8 - (2hm/100)[10 + (300/d)]$
Apantallamiento ( $A_{bar}$ )	$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0$ $A_{atm} = D_z > 0$
Reflexiones	El valor del coeficiente de reflexiones irá

	en función del objeto que produzca el apantallamiento, el cual puede variar entre diferentes absorciones según la constitución mecánica de dicho material
--	---

Fuente: ISO 9613-2:1996 Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 2: Método general de cálculo.

Tabla 173. Condiciones de atenuación del sonido en el espacio libre ISO 9613-2

Propiedad de atenuación	Propiedad de atenuación
P1 – Divergencia geométrica	Diferencia máx. GND + Difracción 1,0 dB
P2 – Absorción atmosférica	ISO 9613-1 a 20 °C; Presión atmosférica 1013,3 mbar
P3 – Perfil del terreno	Plano medio del perfil del terreno
P4 – Efecto del suelo	Función de coeficiente G adimensional del terreno
P5 – Reflexiones	Consideradas en efecto del suelo
P6 – Difracciones	Dependiente de la longitud de onda y la diferencia de trayectorias
P7 – Condición meteorológica	Homogénea, ISO 9613-1 a 20 °C y 70% humedad; Presión atmosférica 1013,3 mbar

Fuente: ISO 9613-1:1993 – Acústica: Atenuación del sonido en espacios exteriores – Parte 1: Cálculo de la absorción del sonido por la atmósfera.

- Configuración de los cálculos para el modelo

Las normativas y estándares de cálculo para la propagación acústica de las fuentes fijas y móviles son basadas en cálculos a partir de la información referente a la emisión de ruido de las fuentes, así como las propiedades de la propagación de los niveles en ambientes exteriores (efectos de la divergencia geométrica, absorción atmosférica, condiciones del terreno, la difracción y la reflexión de los medios de propagación). La Tabla 174, se presenta la configuración general para el desarrollo de los modelos:

Tabla 174. Configuración de Cálculo

Ítem	Descripción
Estándares Internacionales utilizados para la simulación de fuentes fijas e industriales	ISO 9613-1:1993 Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere ISO 9613-2:1996 Acoustics -- Attenuation of sound during propagation outdoors -- Part 2: General method of calculation
Estándares Internacionales utilizados para la simulación vial	NMPB Routes-2008: para Vías
Orden de reflexión	El orden de reflexión 1.
Método de cálculo utilizado	RayTracing
Factor de absorción de terreno	0,5 (suelo mixto)
Máximo error permitido	Cero (0)
Periodos de referencia	Diurno/Nocturno
Días de referencia	Hábil y No hábil
Modelo digital de terreno	Modo triangulación
Radio de búsqueda de fuentes	2800 m. Esta condición permitió que cada receptor estime los posibles aportes de fuentes de emisión de ruido a una distancia de 0,5 km
Grilla simétrica de receptores	Malla de 9 x 9
Características de las vías	Carriles únicos, con flujos promedios continuo, en superficie destapada/Porosa Y pavimentada
Altura de cálculo de los modelos	4 m

#### 5.1.11.4.4.5. Resultados de los modelos de ruido

Los mapas de ruido producidos por las interacciones de las fuentes de emisión respecto a las características de su entorno muestran la propagación de ruido sobre las zonas colindantes a las fuentes de emisión.

Estas modelaciones dan a conocer los contornos de las isófonas que representan el comportamiento espectral de las diferentes fuentes de emisión.

Los resultados de cada una de las modelaciones nos permiten hacer comparaciones respecto a la norma establecida por la Resolución 0627 del 2006 del MAVDT (Hoy Ministerio de Ambiente), y de esta manera poder analizar si hay o no cumplimiento de los límites permisibles de emisión de ruido y ruido ambiental según el uso del suelo.

Por otra parte, los resultados obtenidos muestran los niveles de ruido bajo un escenario actual Línea base, en el cual se establece el aporte de ruido del paso vehicular sobre las vías colindantes al proyecto y en el cual no se tienen en cuenta los aportes de ruido por fauna local. Asimismo, proyecta los niveles de ruido que se generarían por las actividades que se llevarán a cabo durante la construcción y tendido de las torres.

A continuación, en los siguientes numerales se muestran los resultados de las modelaciones para los niveles de ruido ambiental calculados para cada uno de los escenarios.

- Escenario de línea base día hábil

En primer lugar, se presentan los mapas de ruido asociados a la modelación la cual se dividió en cuatro sección Tramo 1 desde Cali (El Pórtico Alférez) hasta Cerrito, Tramo 2 desde Ginebra hasta Tuluá, Tramo 3 desde Andalucía hasta la Victoria y Tramo 4 desde Obando hasta el final del trazado. De esta manera, se presentan los mapas de ruido para cada tramo. En cumplimiento a los términos de referencia, en este primer numeral se presentan los resultados asociados al escenario de línea base contemplando los periodos diurno y nocturno para los días hábil y no hábil.

Cada mapa de ruido ilustra las emisiones asociadas al tránsito vehicular caracterizando de esta manera la dinámica actual de ruido ambiental. Para ello, se emplearon los aforos vehiculares los cuales se presentan en el numeral 5.1.11.2.3. Aforos vehiculares.



De manera introductoria, para entender los mapas de ruido, estos se presentan bajo una escala de colores los cuales representan las isófonas asociadas a las emisiones de ruido del tráfico vehicular. Los valores de estas isófonas se atenúan conforme se alejan del centro de la fuente de emisión, que en este caso es representada por las vías aforadas. Estas vías aforadas contemplan todas aquellas vías que se encuentran aledañas a la ubicación de las torres y a centros poblacionales de interés. De esta manera, se puede entender los aportes asociados al escenario actual y del escenario de construcción y conocer cuáles de esos aportes están generando o no los incumplimientos normativos establecidos por la Resolución 0627 del 2006 del MADS.

Entonces, cómo se puede observar en los mapas a continuación, los mayores niveles de ruido se presentaron en el Tramo 1. Esto se puede referenciar respecto a la envergadura de las isófonas las cuales muestran mayor amplitud para un nivel más alto respecto a los demás tramos en este escenario. La tendencia entre mayor y menor envergadura de las isófonas se asocia respecto a la cantidad de flujo vehicular tanto pesado como liviano. Asimismo, la franja de tránsito vehicular se distribuye en dos periodos de tiempo los cuales van de 7:00 a 21:00 horas para el periodo diurno y de 21:00 a 7:00 horas para el periodo nocturno. Entonces, la tendencia de emisión de ruido muestra que para los periodos diurnos las envergaduras de las isófonas tendrán mayor amplitud que en el periodo nocturno.

Es por esto, que los resultados a continuación muestran tanto en los mapas de ruido como en los niveles de ruido registrados en cada receptor, mayores niveles en el periodo diurno que en el periodo nocturno.

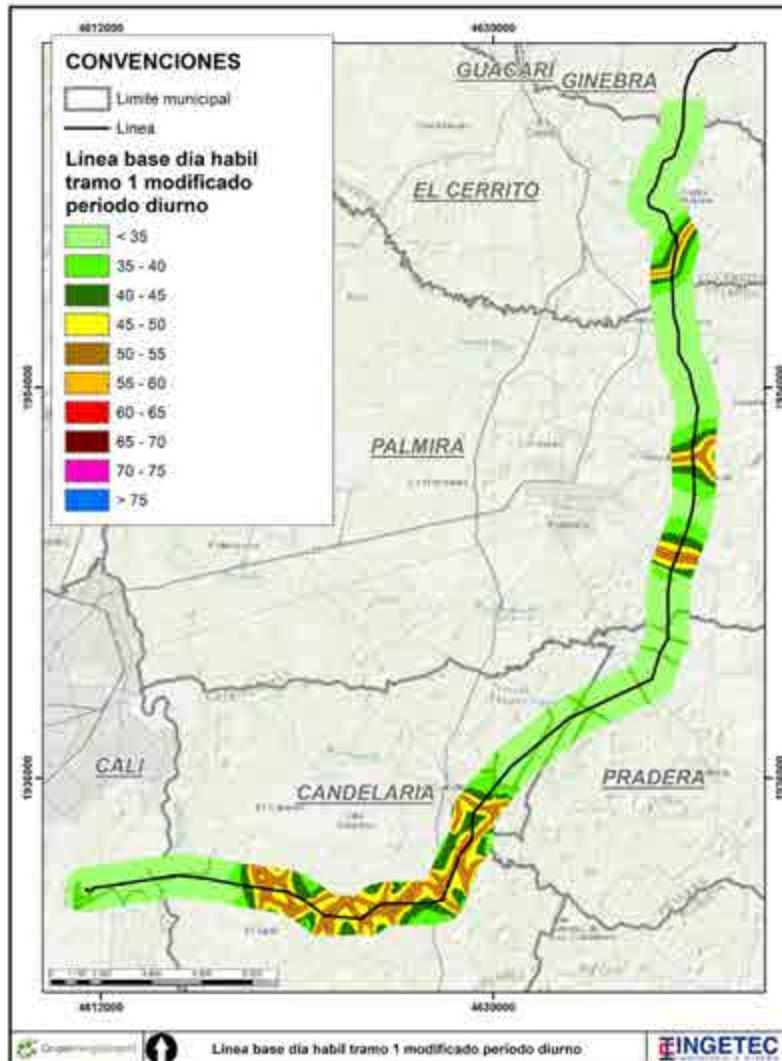


Figura 158. Mapa de ruido Línea base día hábil diurno tramo 1

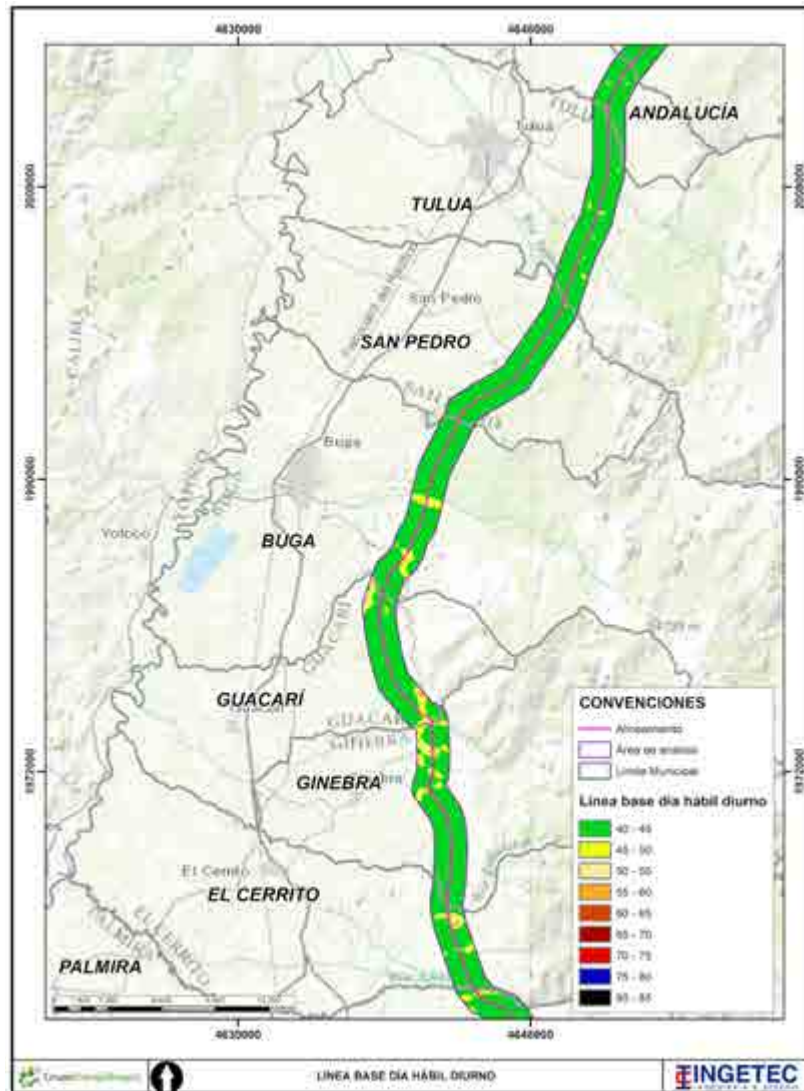


Figura 159. Mapa de ruido Línea base día hábil diurno tramo 2

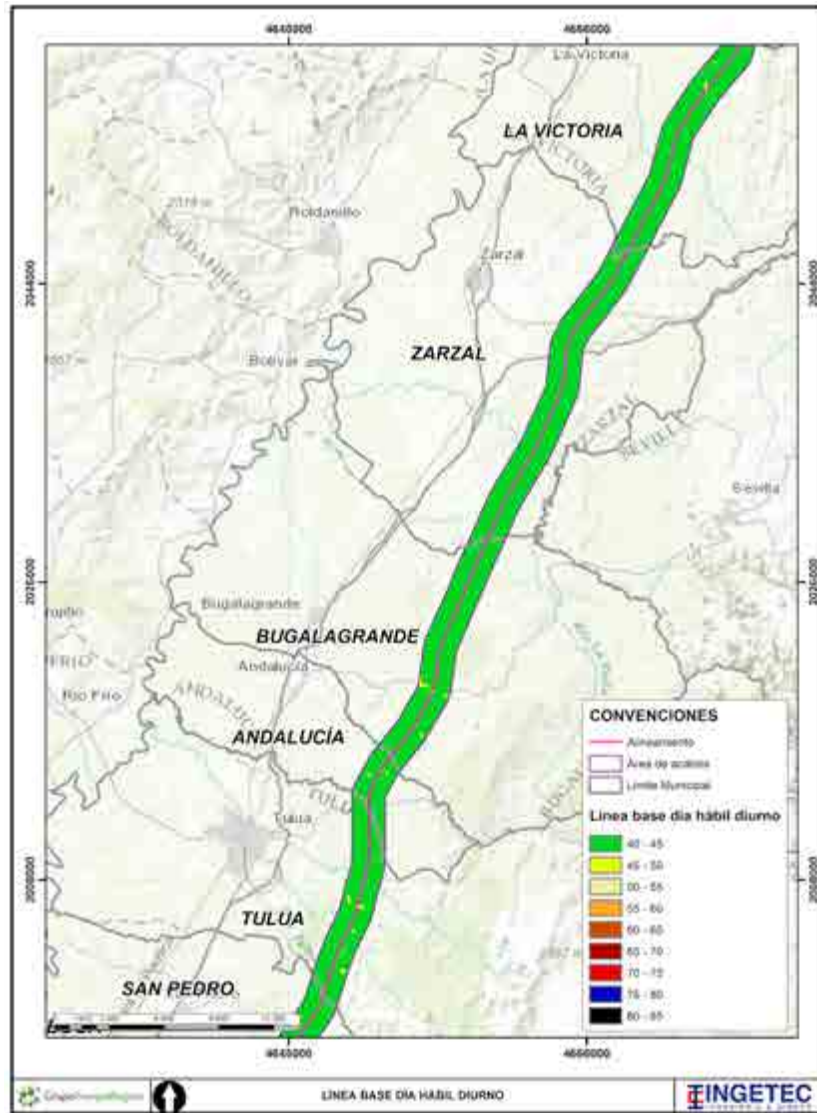


Figura 160. Mapa de ruido Línea base día hábil diurno tramo 3

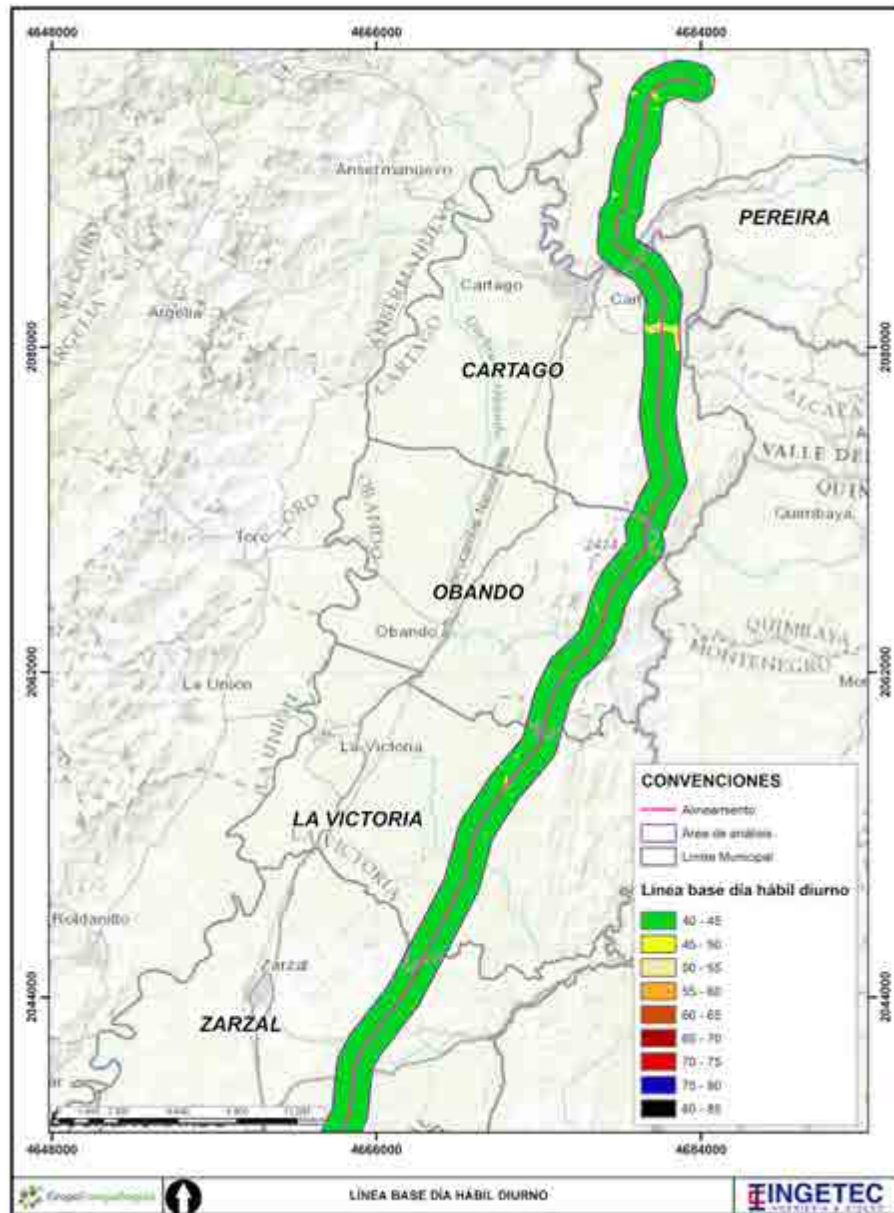


Figura 161. Mapa de ruido Línea base día hábil diurno tramo 4



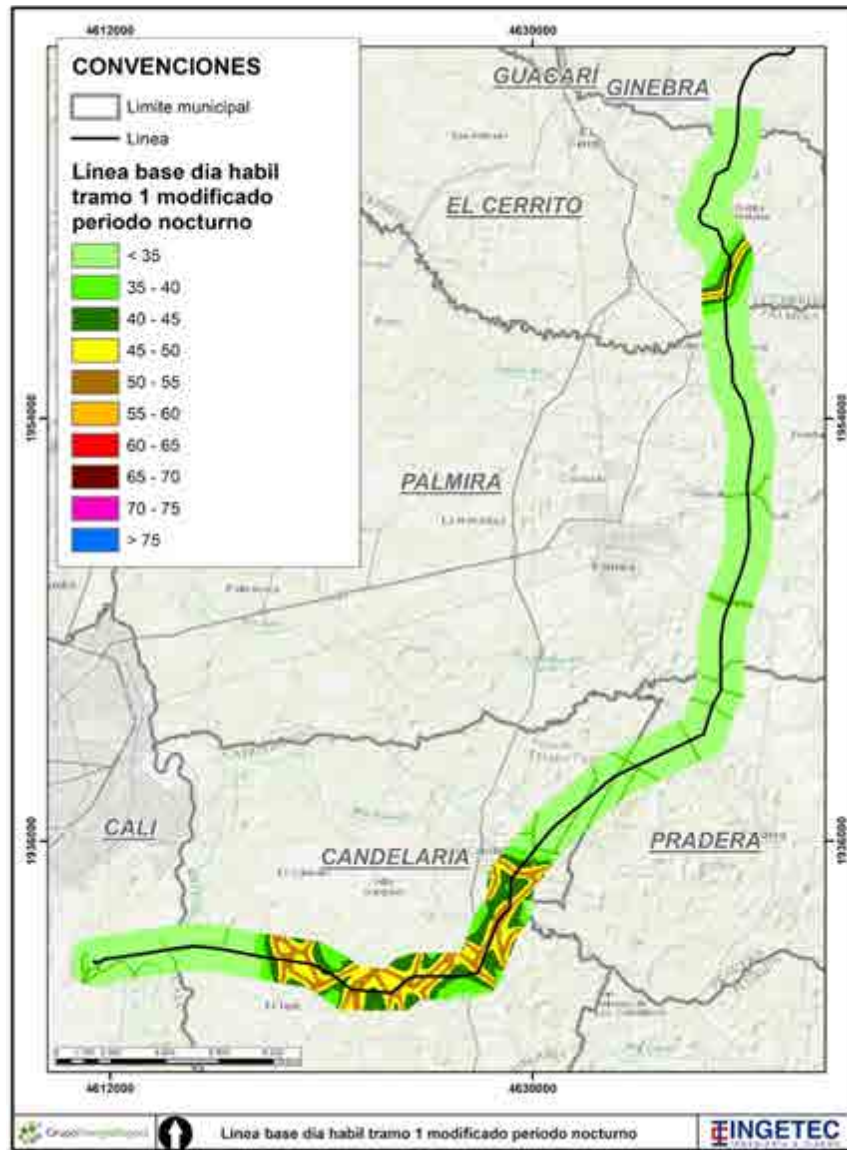


Figura 162. Mapa de ruido Línea base día hábil nocturno tramo 1

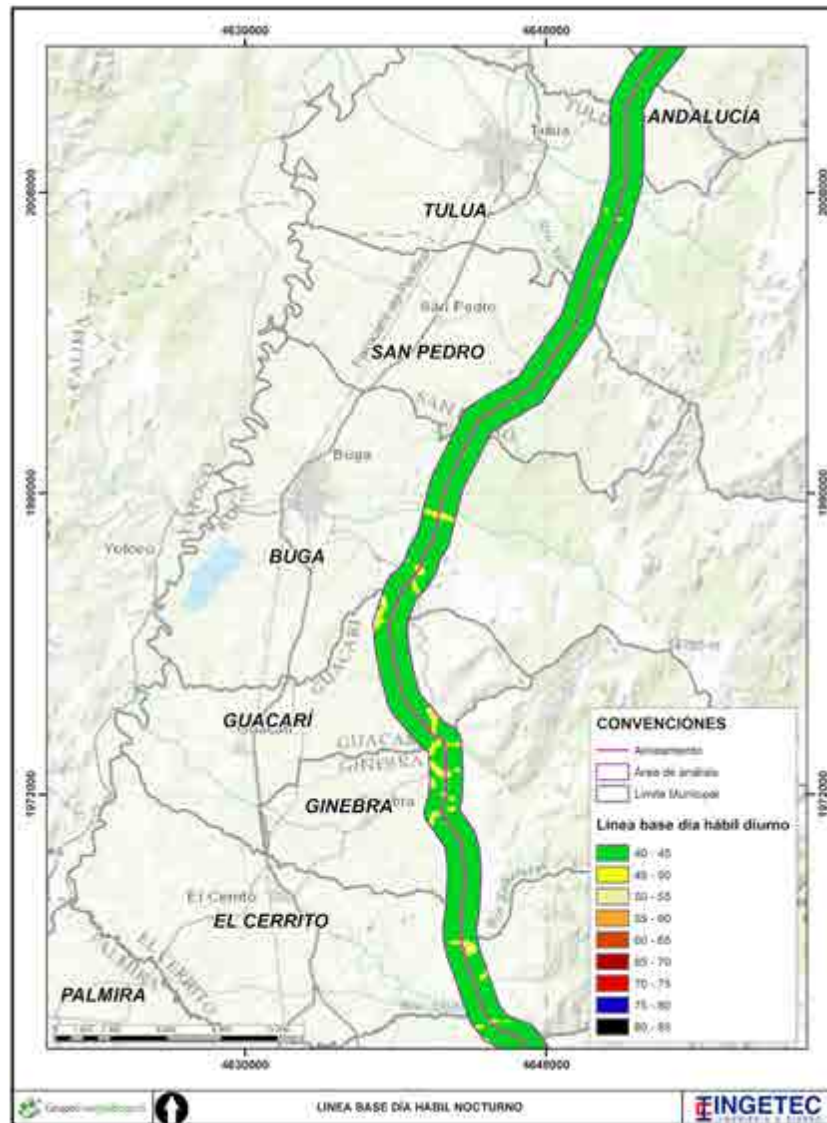


Figura 163. Mapa de ruido Línea base día hábil nocturno tramo 2



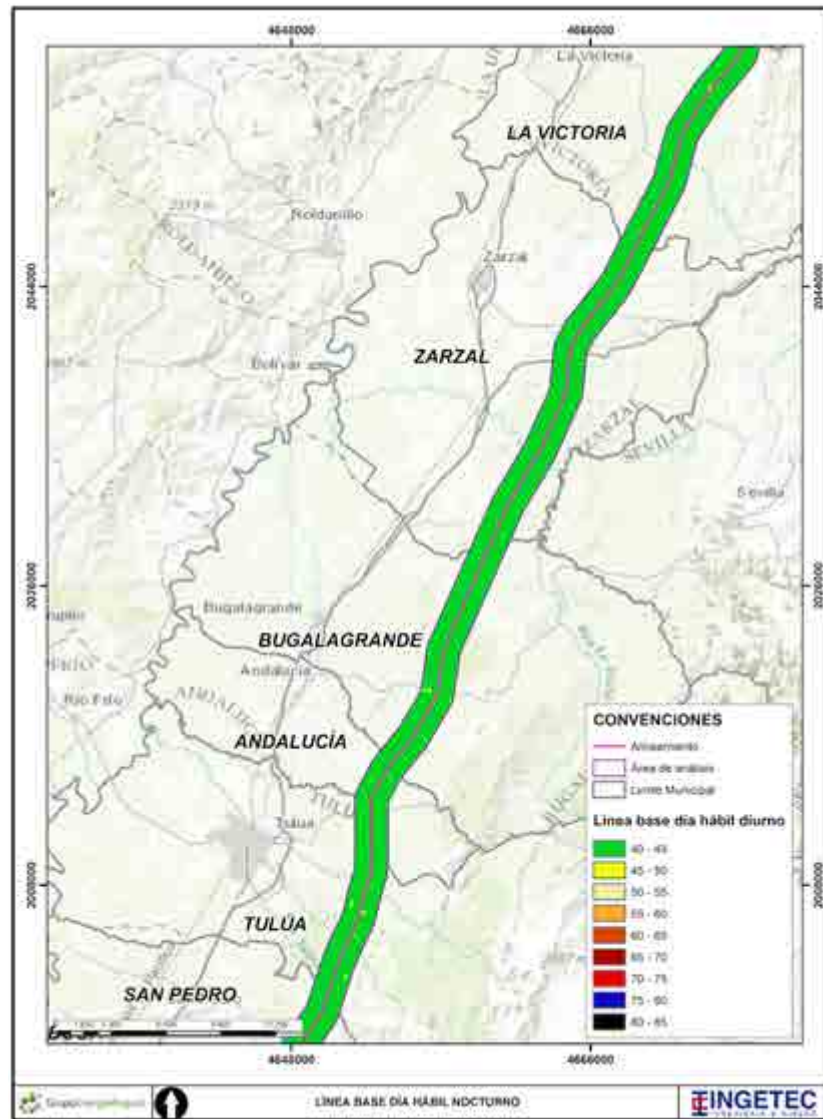


Figura 164. Mapa de ruido Línea base día hábil nocturno tramo 3

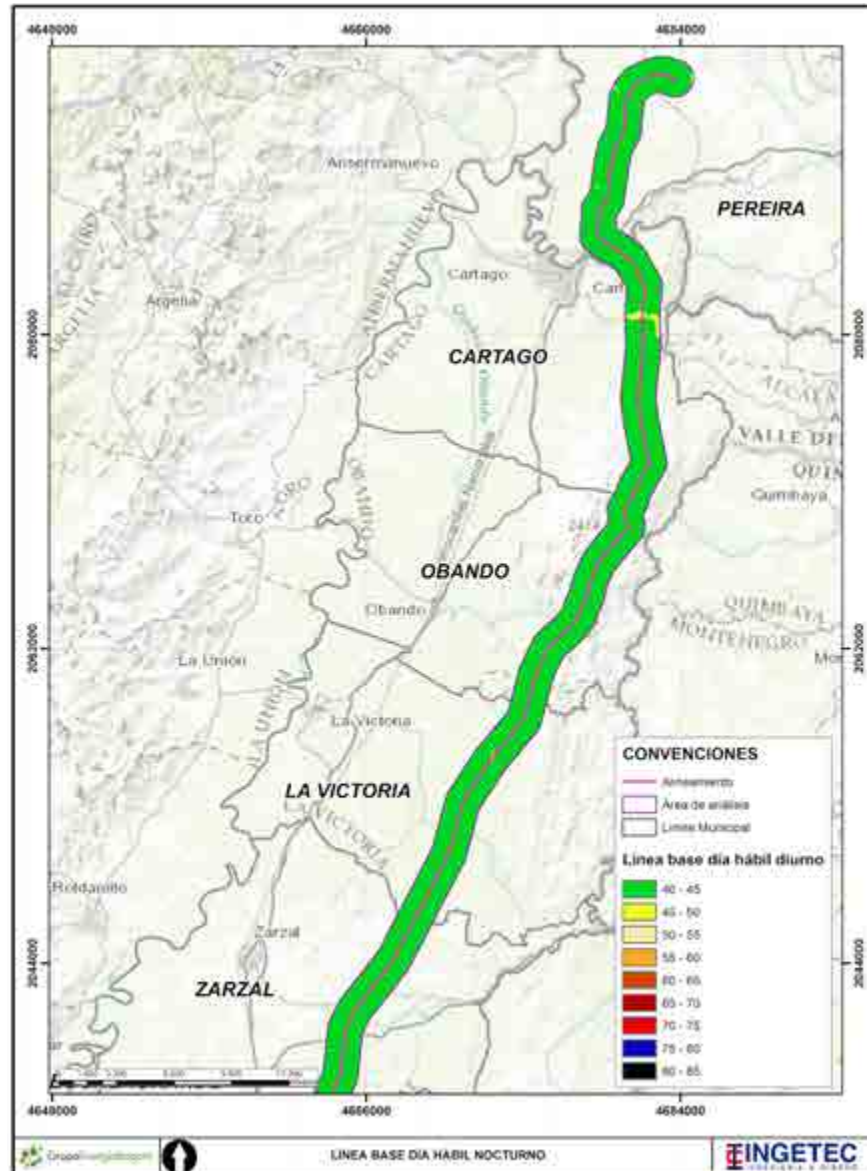


Figura 165. Mapa de ruido Línea base día hábil nocturno tramo 4

A continuación, se presentan las tablas con los valores obtenidos en los puntos receptores ubicados por el modelador. Cabe resaltar que estos puntos receptores fueron ubicados a lo largo de los modelos para obtener los valores exactos en esos puntos y poder entender como varían los niveles de ruido de un modelo a otro.

Tabla 175. Resultados Línea base día hábil tramo 1

Receptor	LrD dB(A)	LrN dB(A)
r1	29,9	27,7
r2	28	25,8
r3	42,1	39,8
r4	48,8	46,6
r5	51,2	49
r6	30,2	28
r7	27,6	24,5
r8	53,9	36
r9	49,9	32,1
r10	47,9	46,4

Tabla 176. Resultados Línea base día hábil tramo 2

Receptor	LrD dB(A)	LrN dB(A)
r11	45,6	43,4
r12	31,9	29,6
r13	26,4	24,2
r14	29,3	27,1
r15	35,1	32,9

Tabla 177. Resultados Línea base día hábil tramo 3

Receptor	LrD dB(A)	LrN dB(A)
r16	30,1	27,9
r17	34,4	32,2
r18	11,4	9,1
r19	24,8	22,6
r20	36,2	34

Tabla 178. Resultados Línea base día hábil tramo 4

Receptor	LrD dB(A)	LrN dB(A)
r21	37,1	34,8
r22	32,6	30,4
r23	36	33,8
r24	39,7	37,4

A continuación, se presenta la ubicación de los receptores ubicados a lo largo de los escenarios de modelación.

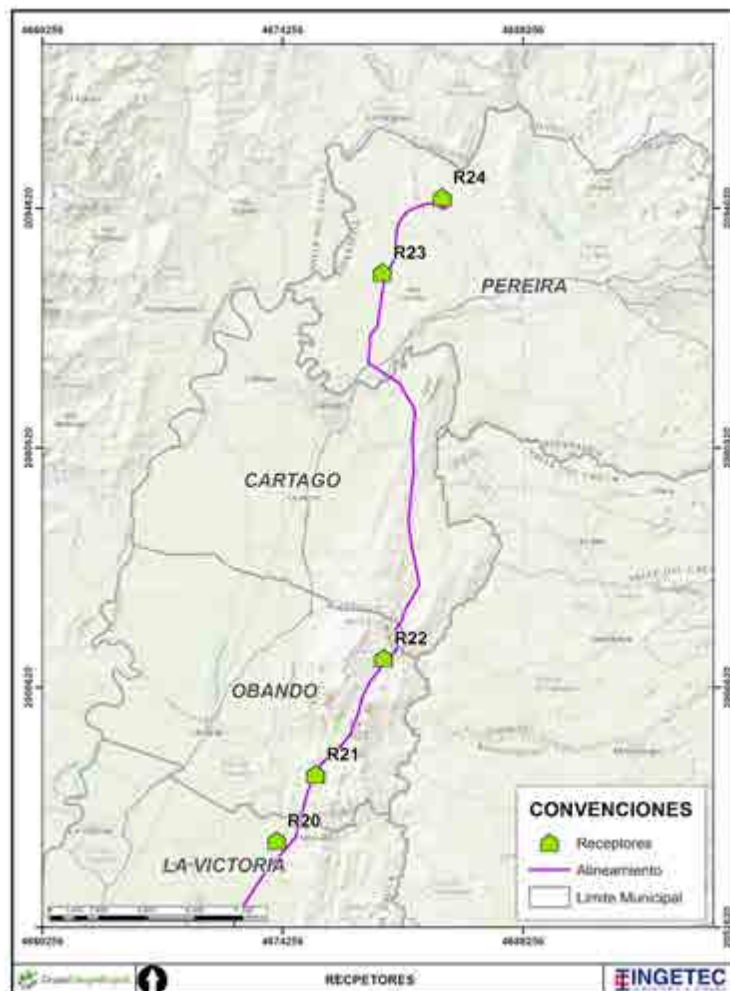


Figura 166. Ubicación de los receptores Tramo 4

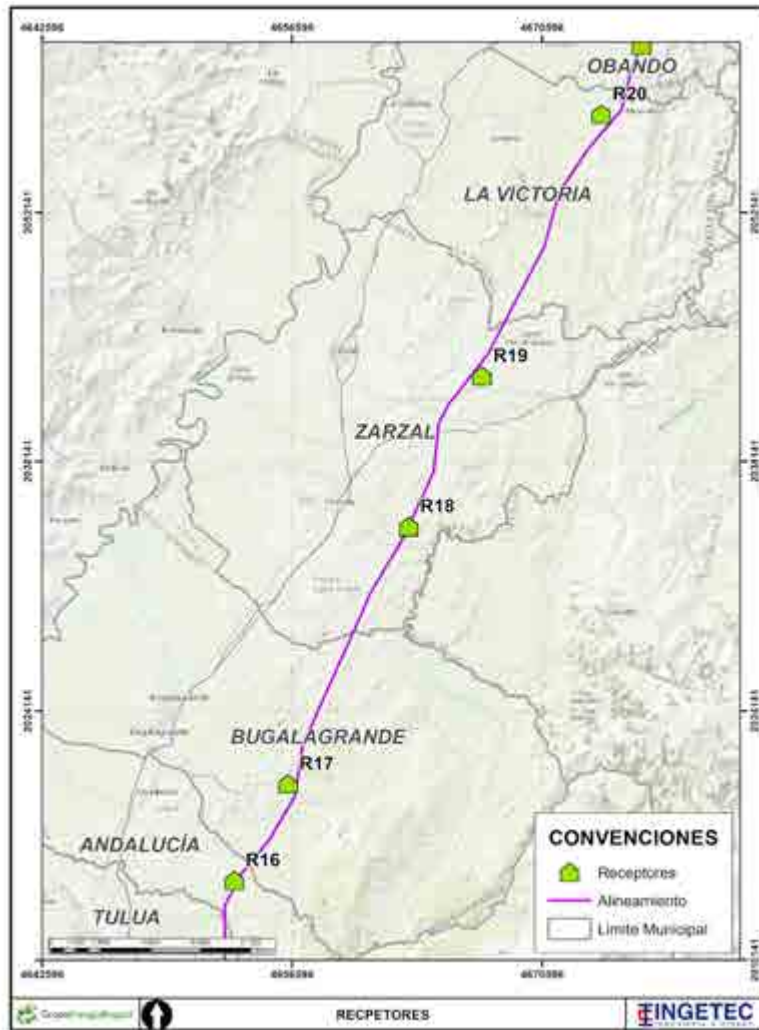


Figura 167. Ubicación de los receptores Tramo 3

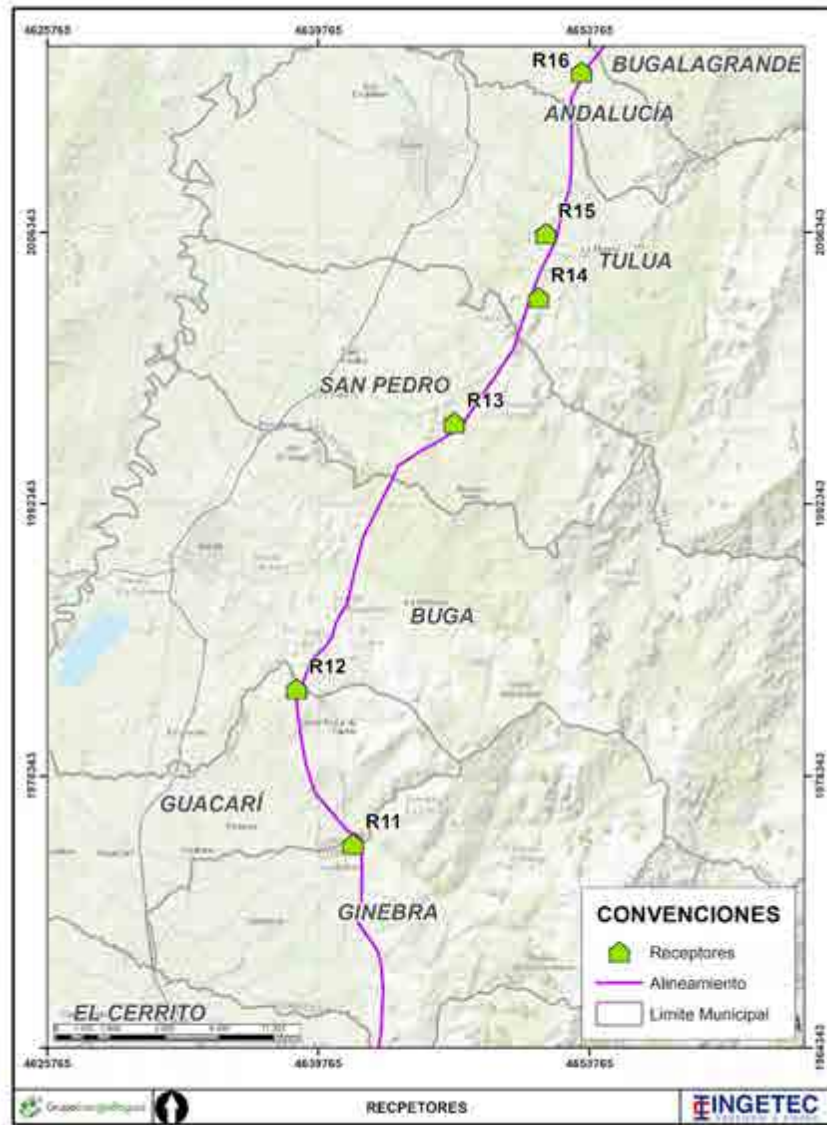


Figura 168. Ubicación de los receptores Tramo 2



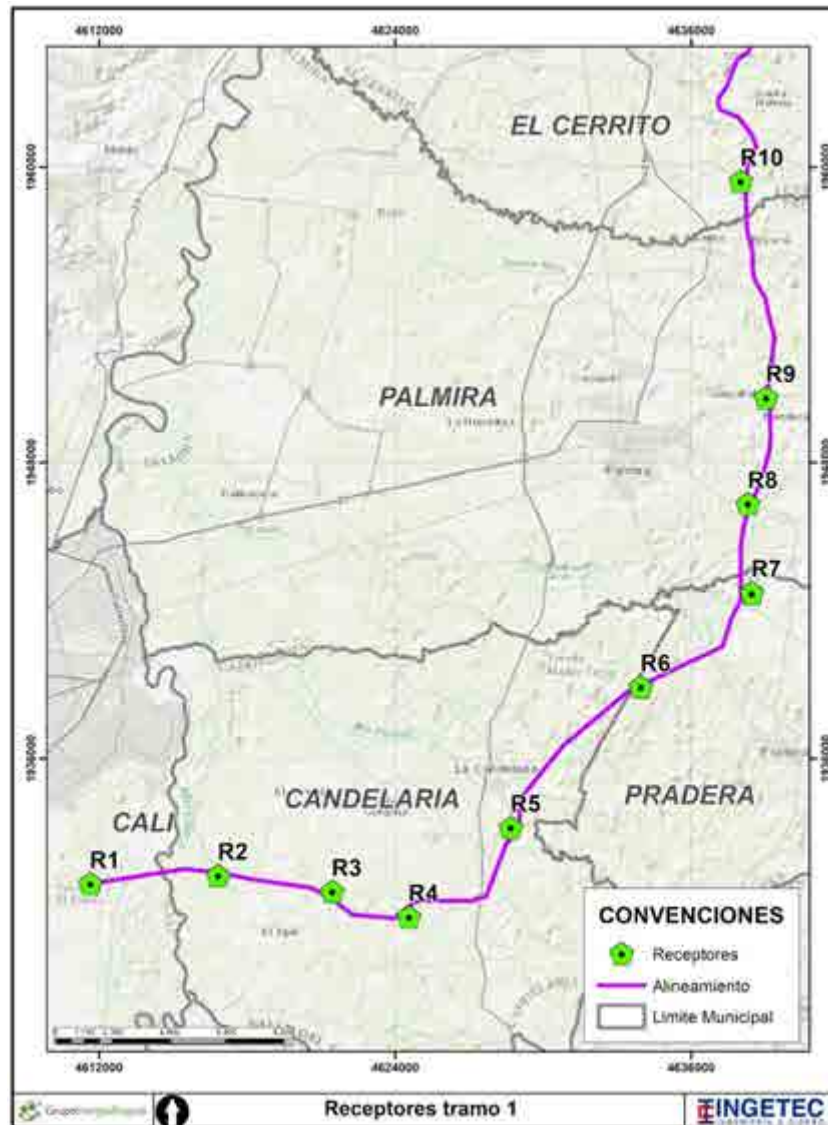


Figura 169. Ubicación de los receptores Tramo 1

El escenario de Línea base busca predecir las condiciones actuales de emisión donde los aportes de ruido se dan por el paso vehicular asociado a la vías y puntos aforados.

Los niveles de ruido obtenidos en esta modelación (modelación actual sin proyecto), ver de la Figura 151 a la Figura 165, muestra niveles de ruido que varían dentro de un rango de decibeles, donde los valores máximos se registran sobre la fuente de emisión (centro de las vías) y estos niveles de ruido se atenúan conforme las isófonas se alejan de la fuente de emisión hasta llegar a los valores de cumplimiento normativo. Es muy



importante resaltar, que la propagación del sonido depende de factores ambientales, topográficos y estructurales, que puede contribuir con la propagación como hay otros que la atenúan y la restringen. El proyecto de la Línea de Transmisión está ubicado sobre una llanura la cual no presenta grandes desniveles topográficos. Sin embargo, el proyecto está rodeado por barreras naturales como bosques y montañas los cuales van a mitigar en ciertos puntos la propagación del sonido disminuyendo considerablemente los niveles de ruido registrados alrededor de los mismos. Estas características en las zonas colindantes al eje de la línea de tensión van a generar que las isófonas tengan una menor envergadura.

En primer lugar, los resultados obtenidos de la Tabla 175 a la Tabla 178 muestran que los niveles de ruido en el periodo diurno son superiores a los niveles de ruido obtenidos en el periodo nocturno. Estos resultados son congruentes con la dinámica del flujo vehicular el cual tiende a disminuir en las horas de la noche. Entonces al disminuir el número de vehículos que pasan por las vías aledañas al proyecto, los niveles de ruido tienden a disminuir a su vez con la reducción del paso vehicular. Ver numeral 5.1.1.2.3. Aforo vehicular. Los niveles de ruido máximos obtenidos para el periodo diurno y nocturno tramo 1 fueron de 84,9 dB(A) y 82,7 dB(A) respectivamente. Para el tramo 2 el valor máximo registrado fue de 76,5 dB(A) en el periodo diurno y de 74,3 dB(A) para el periodo nocturno. Por otra parte, para el tramo 3 el valor máximo es de 71,5 dB(A) periodo diurno y de 69,8 dB(A) periodo nocturno. Finalmente, para el tramo 4 el valor máximo que se registró fue de 84,5 dB(A) para el periodo diurno y de 82,3 dB(A) para el periodo nocturno.

Los niveles de ruido registrados por cada receptor ubicado a lo largo de la vía, varían conforme estos se alejan de la fuente de emisión. Entre más alejados se encuentren de la vía estos registran menores valores de dB(A). Es decir, habrá atenuación de ruido por distancia respecto a la fuente de emisión.

Por otra parte, el comportamiento de las isófonas a lo largo de la vía muestran una geometría bastante irregular. Es decir, que la propagación radial respecto a la fuente de emisión muestra que los contornos de cada isófona tienen en su gran mayoría distancias diferentes cuando son medidas desde la fuente de emisión hasta un mismo contorno. Asimismo, la envergadura de los contornos varían a lo largo de las fuentes de emisión ya que las vías presentan un flujo vehicular diferente en cada vía aforada.

Un ejemplo para entender la diferencia en distancia que se da para cumplimiento de la norma del contorno de 55 dB(A), sería analizar la siguiente figura

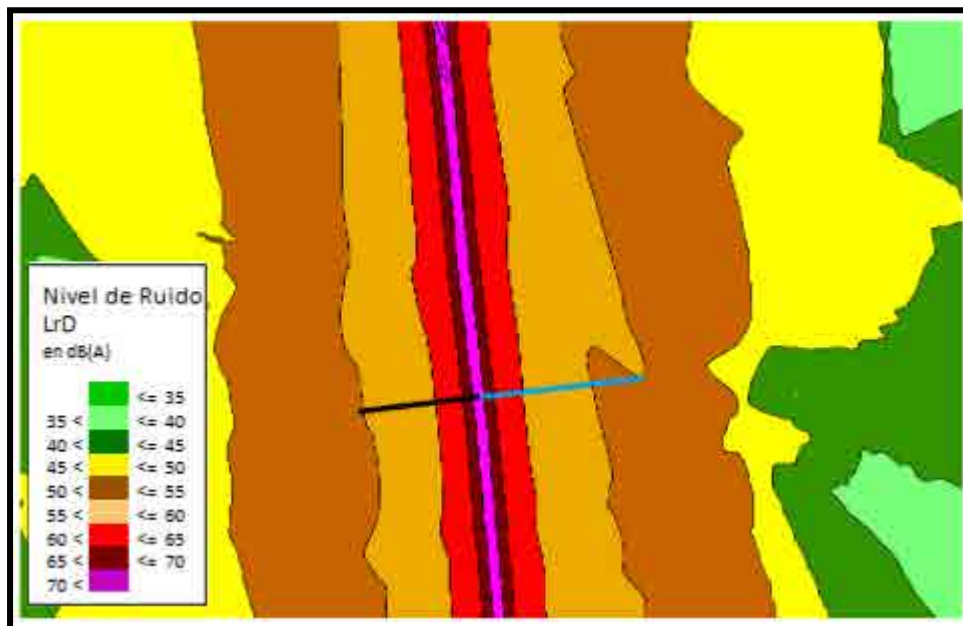


Figura 170. Comparación de longitudes respecto a un mismo contorno

En la anterior imagen se puede apreciar que el contorno de 55 dB(A) tiene diferentes medidas de longitud de propagación respecto al eje de emisión de la vía. La línea radial negra tiene una longitud de 221m, la cual fue medida desde el centro de la fuente de emisión hasta el contorno de 55 dB(A). Por otra parte, la línea radial azul cumpliendo las mismas condiciones registró una distancia de 297,2 m.

De esta manera, se afirma que las isófonas van a presentar irregularidades a lo largo de la fuente de emisión cuando son medidas radialmente desde un mismo punto.

Entonces, conforme nos movemos a lo largo de la vía podemos ver que estas distancias radiales medida desde el eje de emisión de ruido hasta un mismo contorno varían para el mapa de ruido.

Dada esta irregularidad de cada contorno la forma más pertinente de mostrar los resultados es en rango donde se expone el valor mínimo y máximo registrado, donde comienza el cumplimiento de la norma para cada periodo.

Es muy importante entender que según el uso del suelo la norma de los límites máximos permisibles (Resolución 0627 del MADS) varía según la predominancia de la zona o según la susceptibilidad a la cual está expuesta el receptor. Un tramo de la Línea se inscribe dentro de una zona industrial clasificada como Sector C. Ruido intermedio

Restringido donde el subsector es catalogado como zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas. Para este sector los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental son 75 dB(A) para el periodo diurno y de 70 dB(A) para el periodo nocturno.

Por otra parte, se tiene sectores donde la predominancia es para el Sector D. zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado donde los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental son 55 dB(A) para el periodo diurno y de 45 dB(A) para el periodo nocturno.

A continuación, se presentan los resultados de los niveles de ruido registrados en cada uno de los receptores comparados respecto a la norma. Ver Tabla 1799 a la Tabla 1822.

Tabla 179. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 1 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r1	D	29,9	55	27,7	45
r2	D	28	55	25,8	45
r3	C	42,1	80	39,8	70
r4	C	48,8	75	46,6	70
r5	D	51,2	55	49	45
r6	D	30,2	55	28	45
r7	D	27,6	55	24,5	45
r8	D	53,9	55	36	45
r9	D	49,9	55	32,1	45
r10	D	47,9	55	46,4	45

Tabla 180. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 2 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r11	D	45,6	55	43,4	45

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r12	D	31,9	55	29,6	45
r13	D	26,4	55	24,2	45
r14	D	29,3	55	27,1	45
r15	D	35,1	55	32,9	45

Tabla 181. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 3 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r16	D	30,1	55	27,9	45
r17	D	34,4	55	32,2	45
r18	C	11,4	80	9,1	70
r19	C	24,8	80	22,6	70
r20	C	36,2	80	34	70

Tabla 182. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 4 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r21	D	37,1	55	34,8	45
r22	D	32,6	55	30,4	45
r23	C	36	80	33,8	70
r24	C	39,7	75	37,4	70

Ahora bien, analizando los resultados obtenidos para la modelación de ruido para el escenario de Línea base día hábil donde las principales fuentes de emisión son las vías aforadas, ver numeral 5.1.1.2.3. Aforo vehicular, podemos ver en las anteriores tablas que únicamente los receptores r5 y r10 tramo 1 presentan incumplimiento normativo para el periodo nocturno de los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 0627 del MADS tanto para el periodo diurno como para el periodo nocturno. Estos resultados muestran que la dinámica de flujo vehicular en la zona de modelación puede ser considerada como baja ya que la gran mayoría de las vías son de categoría secundaria y terciaria.

Por otra parte, al tener un flujo vehicular bajo en la zona de estudio la propagación de ruido debido a esta fuente de emisión (tránsito vehicular) tiende a atenuarse rápidamente conforme este se aleja de la fuente de emisión. Cabe resaltar, que la propagación de ruido tiende a ser baja debido a que las fuentes de emisión de ruido se encuentran, en su gran mayoría rodeadas por fuentes naturales que de algún modo genera que la envergadura las isófonas sea menor en relación a fuentes con mayores potencias acústicas y que se encuentren en zonas abiertas que no contemplen ninguna barrera acústica.

- Escenario Línea base día no hábil

Como se mencionó en el escenario de Línea base día hábil esta modelación se dividió en cuatro secciones Tramo 1 desde Cali (El Pórtico Alférez) hasta Cerrito, Tramo 2 desde Ginebra hasta Tuluá, Tramo 3 desde Andalucía hasta la Victoria y Tramo 4 desde Obando hasta el final del trazado. De esta manera, se presentan los mapas de ruido para cada tramo. En cumplimiento a los términos de referencia, en este primer numeral se presentan los resultados asociados al escenario de línea base contemplando los periodos diurno y nocturno para los días no hábiles.

Cada mapa de ruido ilustra las emisiones asociadas al tránsito vehicular caracterizando de esta manera la dinámica actual de ruido ambiental. Para ello, se emplearon los aforos vehiculares los cuales se presentan en el numeral 5.1.11.2.3. Aforos vehiculares.

De manera introductoria, para entender los mapas de ruido, estos se presentan bajo una escala de colores los cuales representan las isófonas asociadas a las emisiones de ruido del tráfico vehicular. Los valores de estas isófonas se atenúan conforme se alejan del centro de la fuente de emisión, que en este caso es representada por las vías aforadas. Estas vías aforadas contemplan todas aquellas vías que se encuentran aledañas a la ubicación de las torres y a centros poblacionales de interés. De esta manera, se puede entender los aportes asociados al escenario actual y del escenario de construcción y

---

conocer cuáles de esos aportes están generando o no los incumplimientos normativos establecidos por la Resolución 0627 del 2006 del MADS.

Entonces, cómo se puede observar en los mapas a continuación, los mayores niveles de ruido se presentaron en el Tramo 1. Esto se puede referenciar respecto a la envergadura de las isófonas las cuales muestran mayor amplitud para un nivel más alto respecto a los demás tramos en este escenario. La tendencia entre mayor y menor envergadura de las isófonas se asocia respecto a la cantidad de flujo vehicular tanto pesado como liviano. Asimismo, la franja de tránsito vehicular se distribuye en dos periodos de tiempo los cuales van de 7:00 a 21:00 horas para el periodo diurno y de 21:00 a 7:00 horas para el periodo nocturno. Entonces, la tendencia de emisión de ruido muestra que para los periodos diurnos las envergaduras de las isófonas tendrán mayor amplitud que en el periodo nocturno.

Es por esto, que los resultados a continuación muestran tanto en los mapas de ruido como en los niveles de ruido registrados en cada receptor, mayores niveles en el periodo diurno que en el periodo nocturno.

A continuación, se presentan los mapas de ruido del escenario de Línea base día no hábil para los periodos diurno y nocturno.

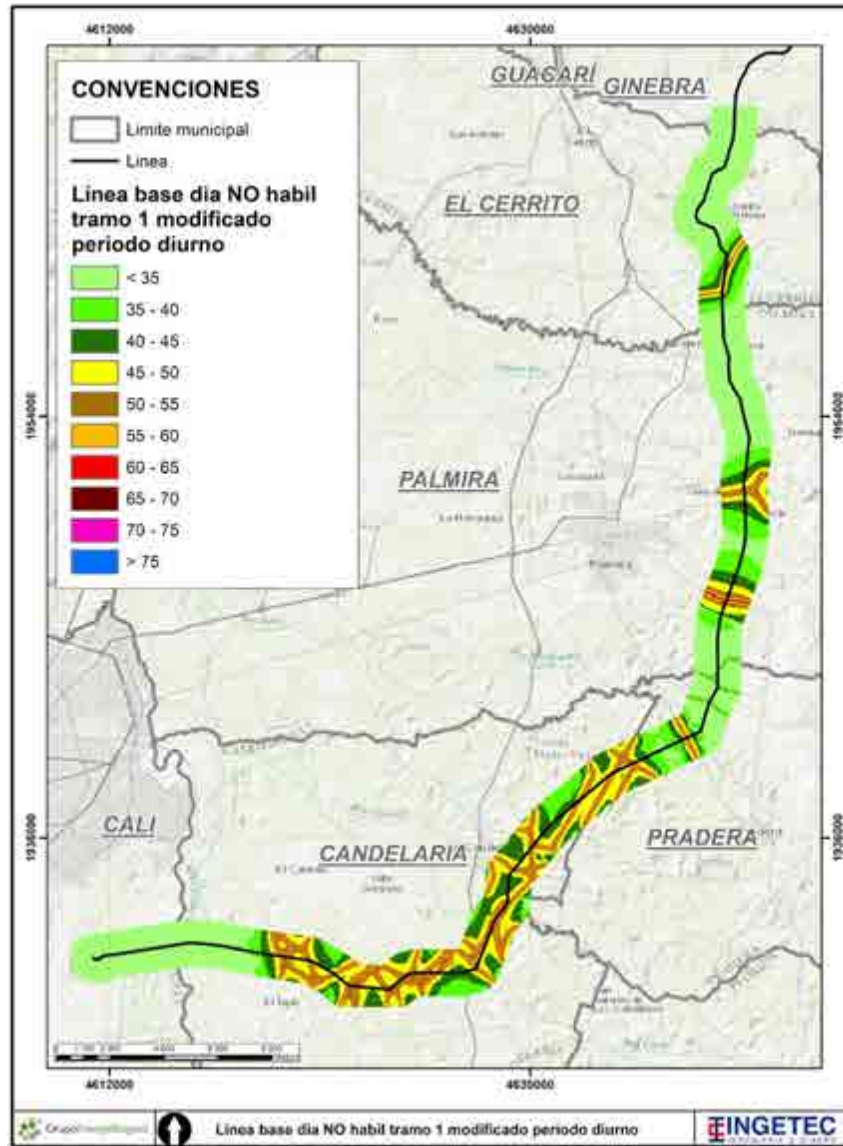


Figura 171. Mapa de ruido Línea base día no hábil diurno tramo 1



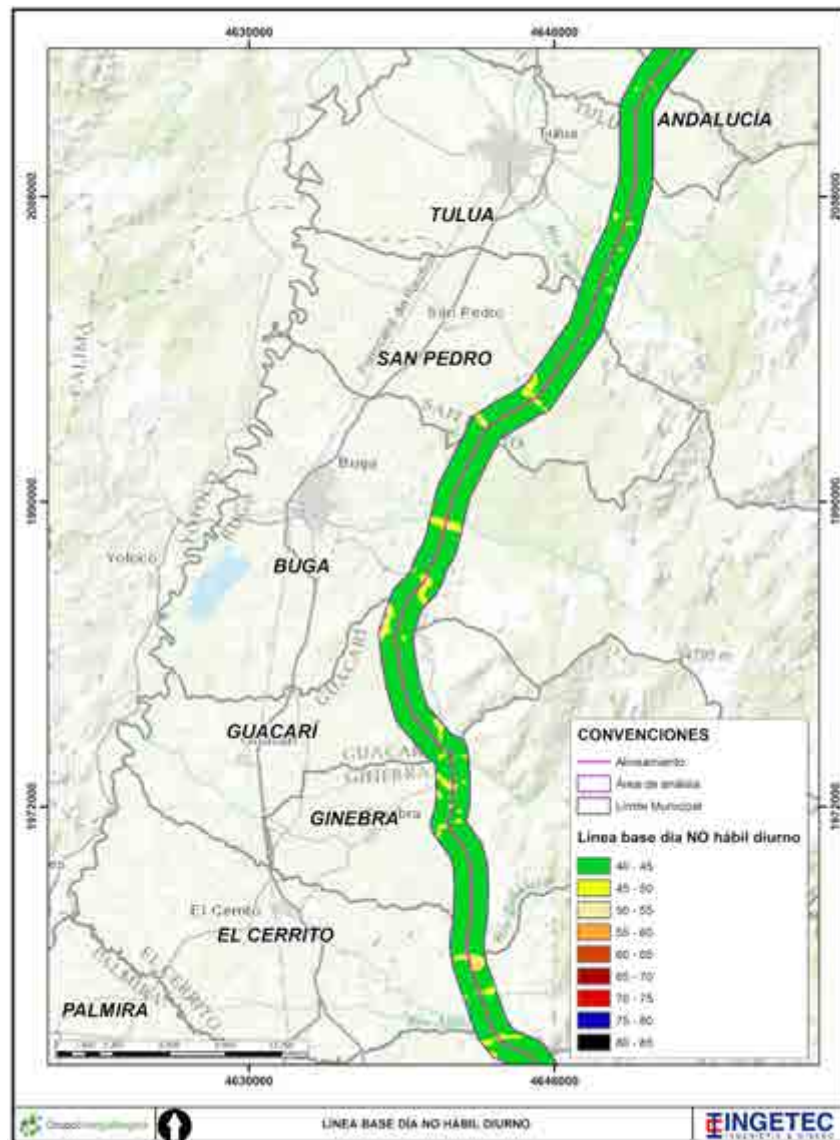


Figura 172. Mapa de ruido Línea base día no hábil diurno tramo 2

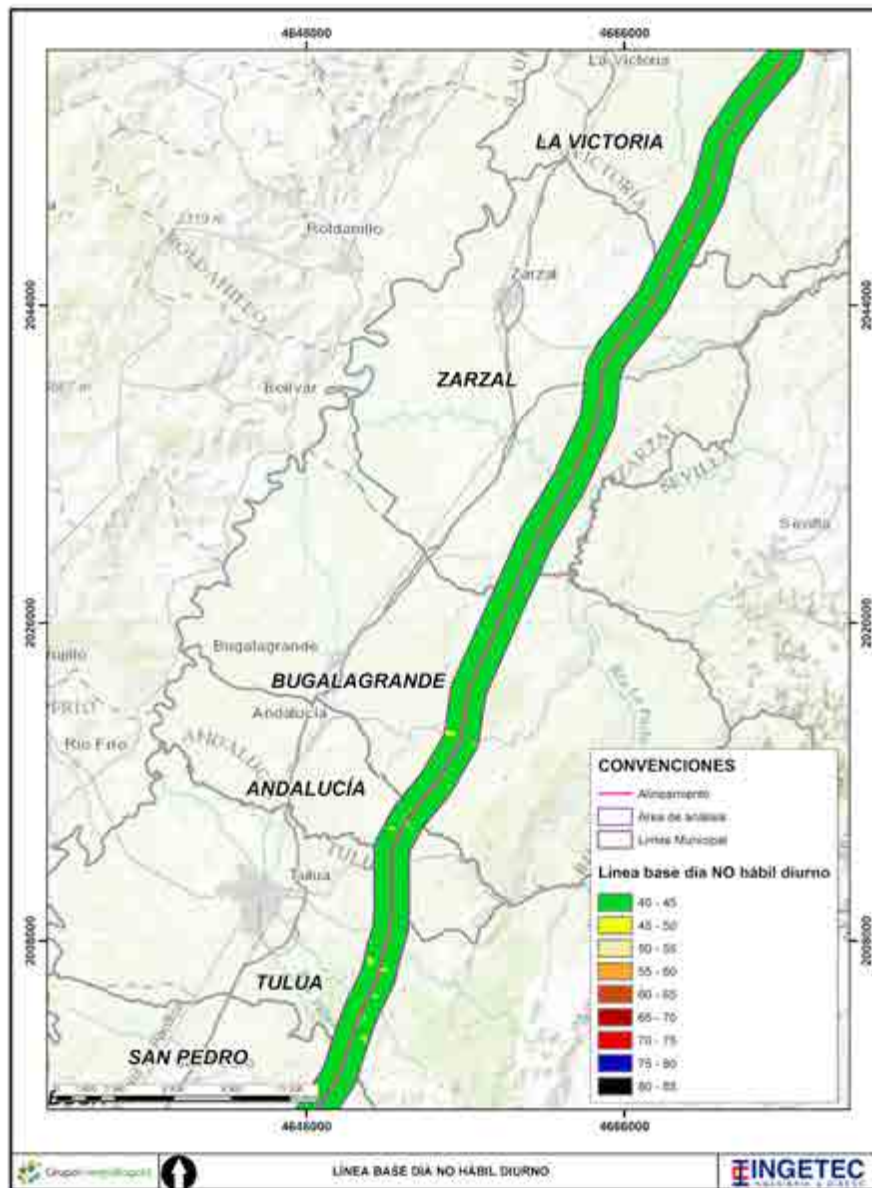


Figura 173. Mapa de ruido Línea base día no hábil diurno tramo 3

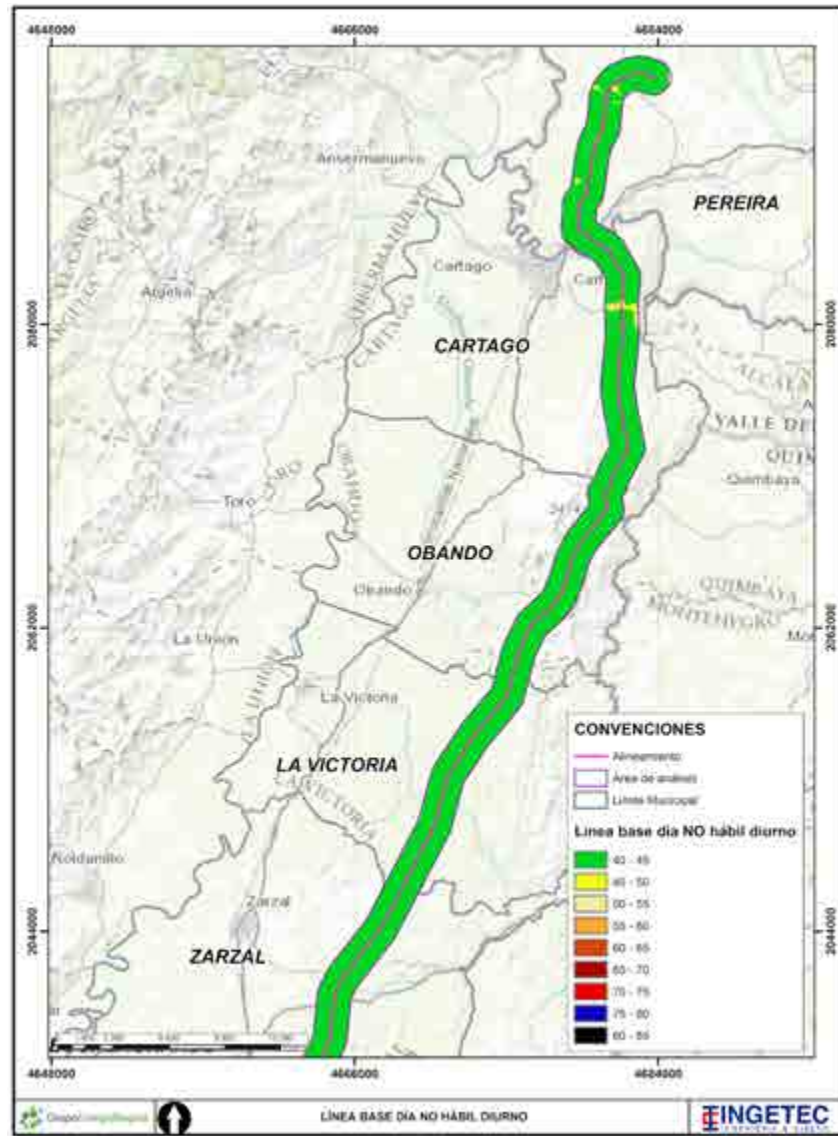


Figura 174. Mapa de ruido Línea base día no hábil diurno tramo 4

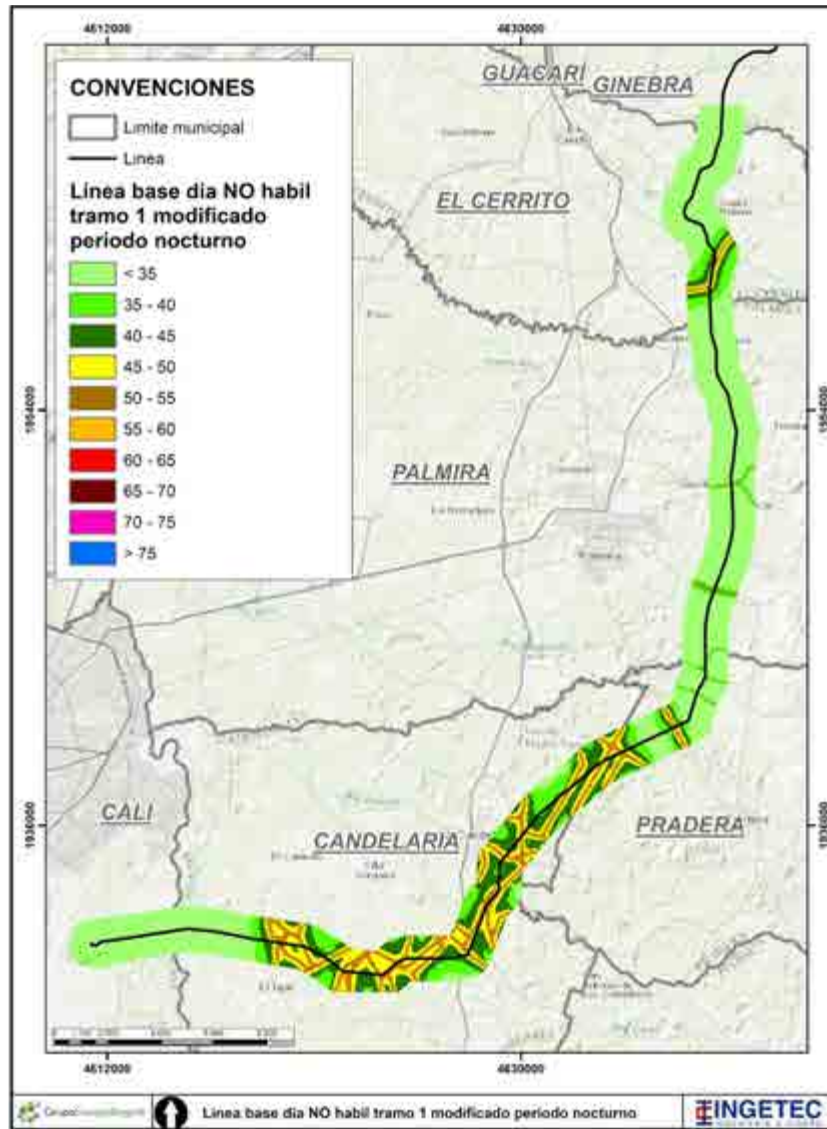


Figura 175. Mapa de ruido Línea base día no hábil nocturno tramo 1



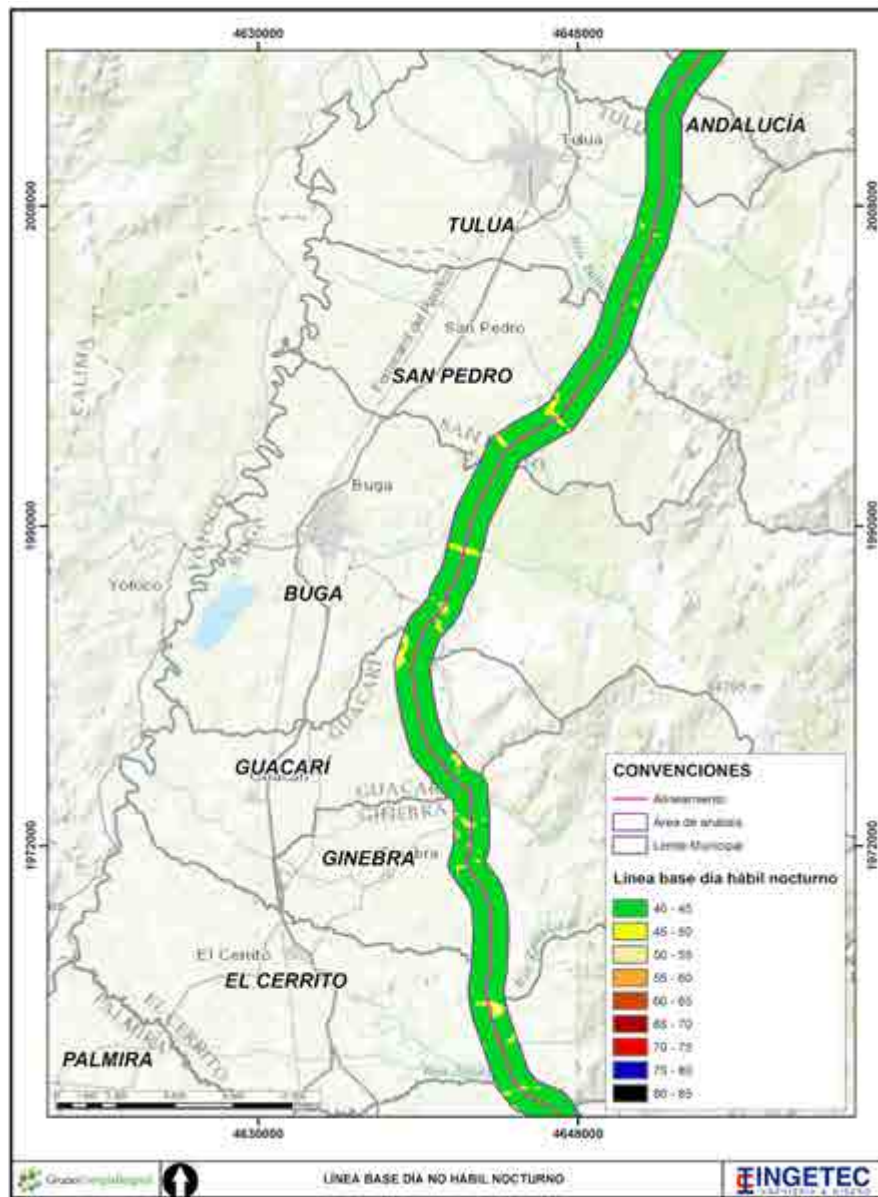


Figura 176. Mapa de ruido Línea base día no hábil nocturno tramo 2

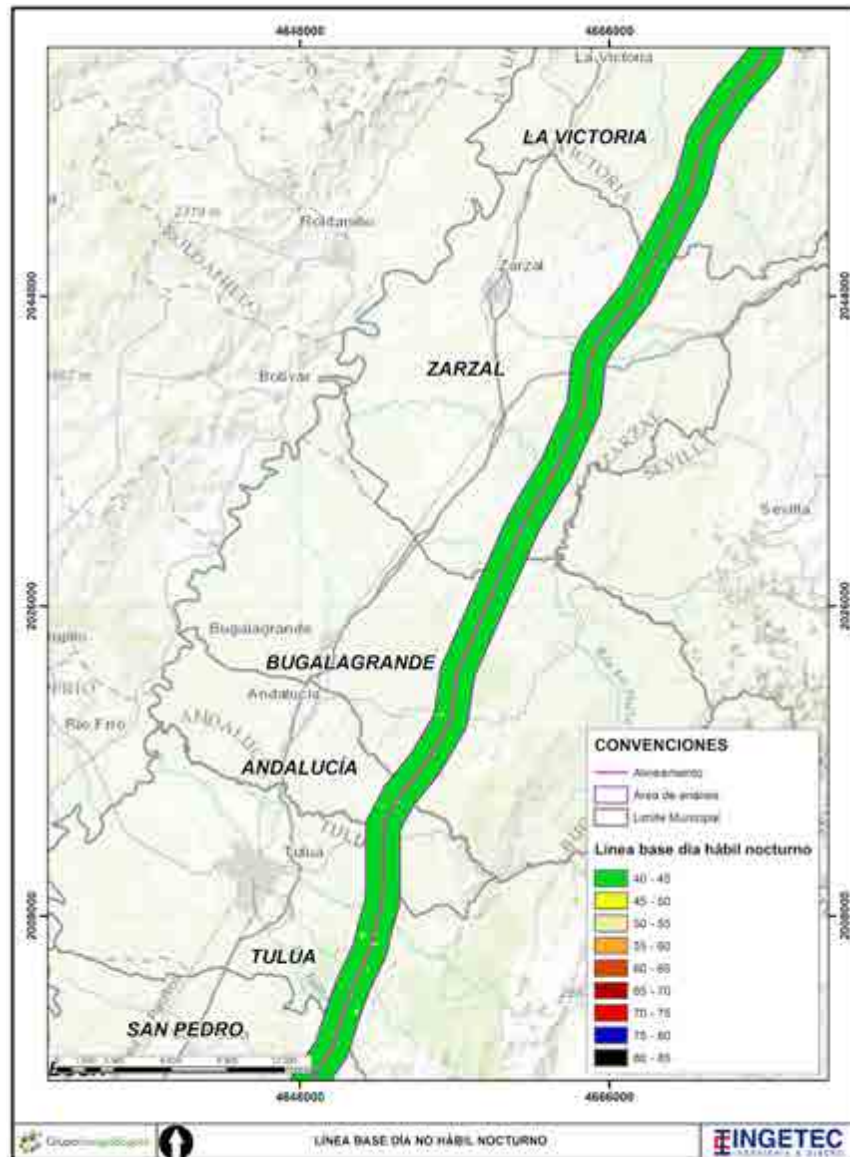


Figura 177. Mapa de ruido Línea base día no hábil nocturno tramo 3

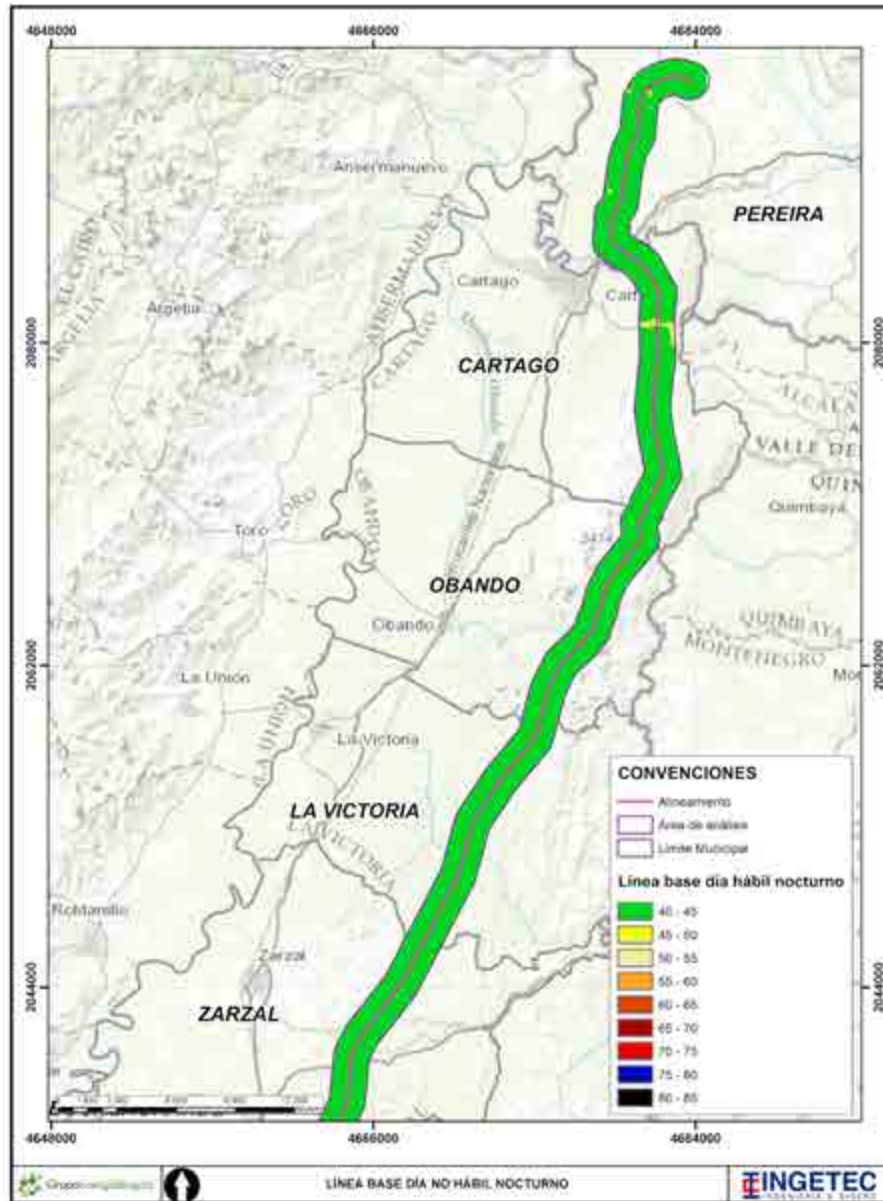


Figura 178. Mapa de ruido Línea base día no hábil nocturno tramo 4

A continuación, se presentan las tablas con los valores obtenidos en los puntos receptores ubicados por el modelador. Cabe resaltar que estos puntos receptores fueron ubicados a lo largo de los modelos para obtener los valores exactos en esos puntos y poder entender como varían los niveles de ruido de un modelo a otro.



Tabla 183. Resultados Línea base día no hábil tramo 1

Receptor	LrD dB(A)	LrN dB(A)
r1	13,8	21,5
r2	25,3	23,7
r3	41,5	39,3
r4	48,3	46,1
r5	50,7	48,5
r6	46,4	44,1
r7	27,6	24,3
r8	54,9	37,2
r9	50,3	32,7
r10	46,4	46,4

Tabla 184. Resultados Línea base día no hábil tramo 2

Receptor	LrD dB(A)	LrN dB(A)
r11	41,6	39,3
r12	31,5	29,3
r13	43,2	41
r14	29,3	27
r15	35,1	32,8

Tabla 185. Resultados Línea base día no hábil tramo 3

Receptor	LrD dB(A)	LrN dB(A)
r16	29,5	27,3
r17	33,8	31,6
r18	11,3	9,1
r19	24,9	22,6
r20	30,7	28,5

Tabla 186. Resultados Línea base día no hábil tramo 4

Receptor	LrD dB(A)	LrN dB(A)
r21	31,4	29,2
r22	27	24,8
r23	37,2	35
r24	40,9	38,7

Como se puede observar en las anteriores tablas los niveles de ruido en el periodo nocturno son más bajos en comparación a los niveles de ruido del periodo diurno. Estos resultados están asociados a la dinámica general del flujo vehicular el cual tiende a disminuir en el periodo nocturno. Entonces, al tener menor cantidad de vehículos en una misma vía analizada, sus niveles de emisión de ruido tienden a disminuir.

Para poder entender como varían los niveles de emisión de ruido del escenario de Línea base día no hábil respecto al escenario de Línea base día hábil, a continuación, se presentan las tablas comparativas.

Tabla 187. Comparación de los niveles de ruido escenario de Línea base día hábil respecto al día no hábil tramo 1

Receptor	Niveles de ruido Lr Diurno dB(A)		Niveles de ruido Lr Nocturno dB(A)	
	Día hábil	Día no hábil	Día hábil	Día no hábil
r1	29,9	13,8	27,7	21,5
r2	28	25,3	25,8	23,7
r3	42,1	41,5	39,8	39,3
r4	48,8	48,3	46,6	46,1
r5	51,2	50,7	49	48,5
r6	30,2	46,4	28	44,1
r7	27,6	27,6	24,5	24,3
r8	53,9	54,9	36	37,2
r9	49,9	50,3	32,1	32,7
r10	47,9	46,4	46,4	46,4

Tabla 188. Comparación de los niveles de ruido escenario de Línea base día hábil respecto al día no hábil tramo 2

Receptor	Niveles de ruido Lr Diurno dB(A)		Niveles de ruido Lr Nocturno dB(A)	
	Día hábil	Día no hábil	Día hábil	Día no hábil
r11	45,6	41,6	43,4	39,3
r12	31,9	31,5	29,6	29,3
r13	26,4	43,2	24,2	41
r14	29,3	29,3	27,1	27
r15	35,1	35,1	32,9	32,8

Tabla 189. Comparación de los niveles de ruido escenario de Línea base día hábil respecto al día no hábil tramo 3

Receptor	Niveles de ruido Lr Diurno dB(A)		Niveles de ruido Lr Nocturno dB(A)	
	Día hábil	Día no hábil	Día hábil	Día no hábil
r16	30,1	29,5	27,9	27,3
r17	34,4	33,8	32,2	31,6
r18	11,4	11,3	9,1	9,1
r19	24,8	24,9	22,6	22,6
r20	36,2	30,7	34	28,5

Tabla 190. Comparación de los niveles de ruido escenario de Línea base día hábil respecto al día no hábil tramo 4

Receptor	Niveles de ruido Lr Diurno dB(A)		Niveles de ruido Lr Nocturno dB(A)	
	Día hábil	Día no hábil	Día hábil	Día no hábil
r21	37,1	31,4	34,8	29,2
r22	32,6	27	30,4	24,8
r23	36	37,2	33,8	35
r24	39,7	40,9	37,4	38,7

Como se puede observar en las anteriores tablas, los niveles de ruido para el escenario Línea base día no hábil tienden a ser menores que los niveles de ruido registrados en el escenario de Línea base día hábil. Estas diferencias son la respuesta al cambio en el flujo vehicular el cual tiende a reducirse para día no hábiles. De esta manera, al reducirse el número de vehículos, los niveles de ruido se atenúan conforme disminuyen los vehículos que transitan por hora en las vías modeladas.

A continuación, se presentan las tablas comparativas de los niveles de ruido registrados en cada receptor respecto a los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 0627 del 2006 del MADS.

Tabla 191. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 1 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r1	D	13,8	55	21,5	45
r2	D	25,2	55	23,7	45
r3	C	41,5	80	39,3	70
r4	C	48,3	75	46,1	70
r5	D	50,7	55	48,5	45
r6	D	46,4	55	44,1	45
r7	D	26,5	55	24,3	45
r8	D	27,8	55	25,6	45
r9	D	42	55	39,8	45
r10	D	38,3	55	36,1	45

Tabla 192. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 2 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r11	D	41,6	55	39,3	45
r12	D	31,5	55	29,3	45

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r13	D	43,2	55	41	45
r14	D	29,3	55	27	45
r15	D	35,1	55	32,8	45

Tabla 193. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 3 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r16	D	29,5	55	27,3	45
r17	D	33,8	55	31,6	45
r18	C	11,3	80	9,1	70
r19	C	24,9	80	22,6	70
r20	C	30,7	80	28,5	70

Tabla 194. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 4 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido receptores Nocturno	Límites Permisibles Normatividad aplicable nocturno
		LrD dB(A)		LrN dB(A)	
r21	D	31,4	55	29,2	45
r22	D	27	55	24,8	45
r23	C	37,2	80	35	70
r24	C	40,9	75	38,7	70

Finalmente, analizando los resultados obtenidos para la modelación de ruido para el escenario de Línea base día no hábil donde las principales fuentes de emisión son las vías aforadas, ver numeral 5.1.1.2.3. Aforo vehicular, podemos ver en las anteriores tablas

que únicamente el receptor r5 tramo 1 presentó incumplimiento normativo de los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 0627 del MADS tanto para el periodo diurno como para el periodo nocturno. Estos resultados muestran que la dinámica de flujo vehicular en la zona de modelación puede ser considerada como baja ya que la gran mayoría de las vías son de categoría secundaria y terciaria.

Por otra parte, al tener un flujo vehicular bajo en la zona de estudio la propagación de ruido debido a esta fuente de emisión (tránsito vehicular) tiende a atenuarse rápidamente conforme este se aleja de la fuente de emisión. Cabe resaltar, que la propagación de ruido tiende a ser baja debido a que las fuentes de emisión de ruido se encuentran, en su gran mayoría rodeadas por fuentes naturales que de algún modo genera que la envergadura las isófonas sea menor en relación a fuentes con mayores potencias acústicas y que se encuentren en zonas abiertas que no contemplen ninguna barrera acústica.

- Escenario Construcción Cimentación

Del mismo modo que en los anteriores escenarios, se presentan los mapas de ruido asociados a la modelación la cual se dividió en cuatro secciones Tramo 1 desde Cali (El Pórtico Alférez) hasta Cerrito, Tramo 2 desde Ginebra hasta Tuluá, Tramo 3 desde Andalucía hasta la Victoria y Tramo 4 desde Obando hasta el final del trazado. De esta manera, se presentan los mapas de ruido para cada tramo. En cumplimiento a los términos de referencia, en estos escenarios a continuación, se presentan los resultados asociados a las diferentes etapas de construcción. En una primera instancia, se presentan los resultados del escenario de construcción etapa de cimentación la cual contempla todas las actividades de cimentación con su maquinaria asociada. Es importante entender que se llevaron a cabo dos etapas diferentes debido a que cada etapa es temporalmente diferente lo que genera que cada etapa emplee maquinaria diferente.

Cada mapa de ruido ilustra las emisiones asociadas al tránsito vehicular caracterizando de esta manera la dinámica actual de ruido ambiental, como también el tráfico asociado a los vehículos del proyecto los cuales transitarán por los accesos proyectados para ingresar a cada torre. Asimismo, las emisiones de ruido de los procesos de construcción de la maquinaria en los frentes de obra.

Para entender los resultados de los mapas de ruido, del mismo modo que en los escenarios anteriormente mencionados, estos se presentan bajo una escala de colores los cuales representan las isófonas asociadas a las emisiones de ruido del tráfico vehicular y de los frentes de obra de la etapa de cimentación. Los valores de estas

---

isófonas se atenúan conforme se alejan del centro de la fuente de emisión, que en este caso es representada por las vías aforadas, accesos y frentes de obra.

Entonces, cómo se puede observar en los mapas a continuación, los mayores niveles de ruido se presentaron a lo largo de las vías aforadas y accesos asociados como también en los puntos de obra donde se proyecta la ubicación de cada torre. Es importante entender que solo se contempla como escenario de modelación el periodo diurno.

A continuación, se presentan los mapas de ruido asociados a los escenarios de construcción en la etapa de cimentación.



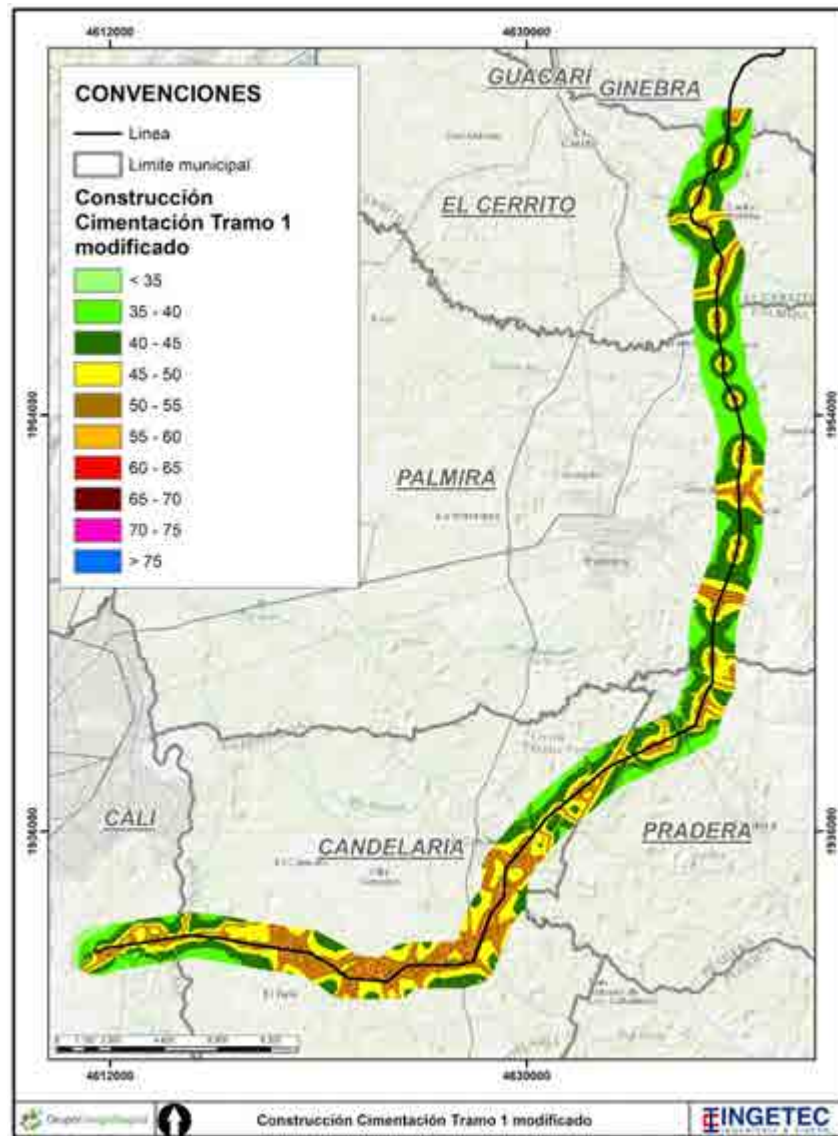


Figura 179. Mapa de ruido Construcción cimentación tramo 1

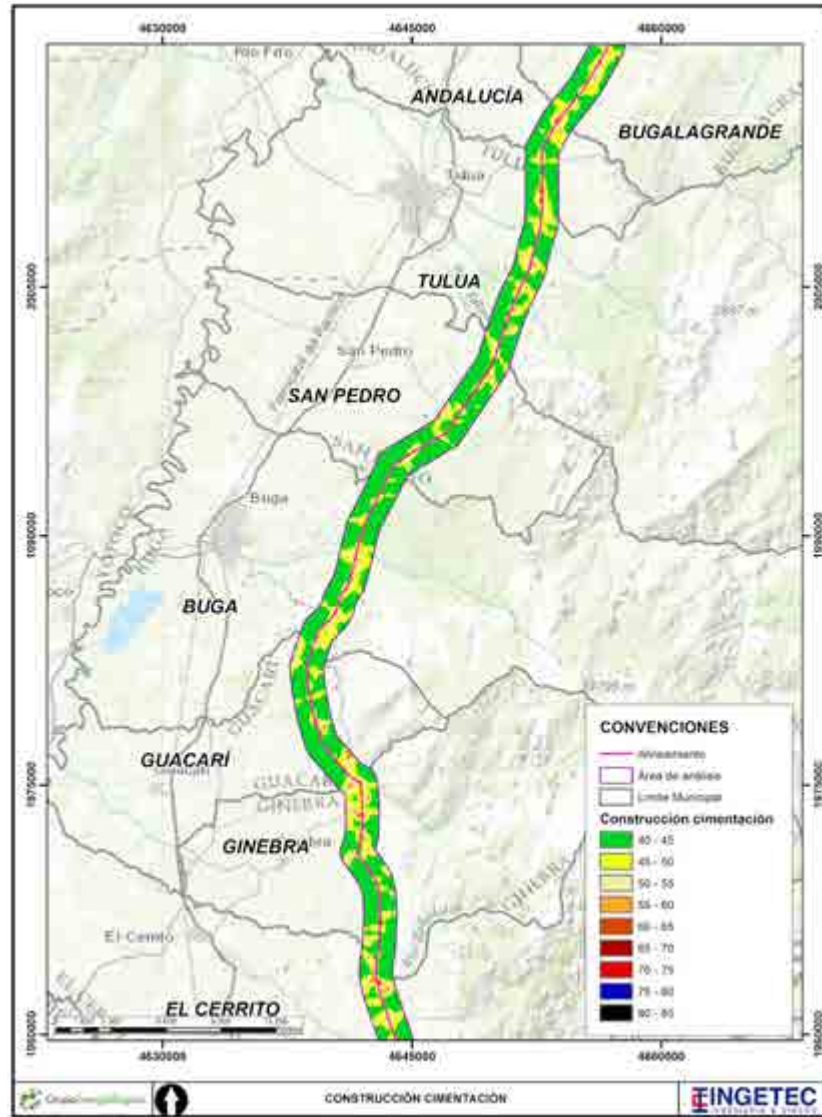


Figura 180. Mapa de ruido Construcción cimentación tramo 2

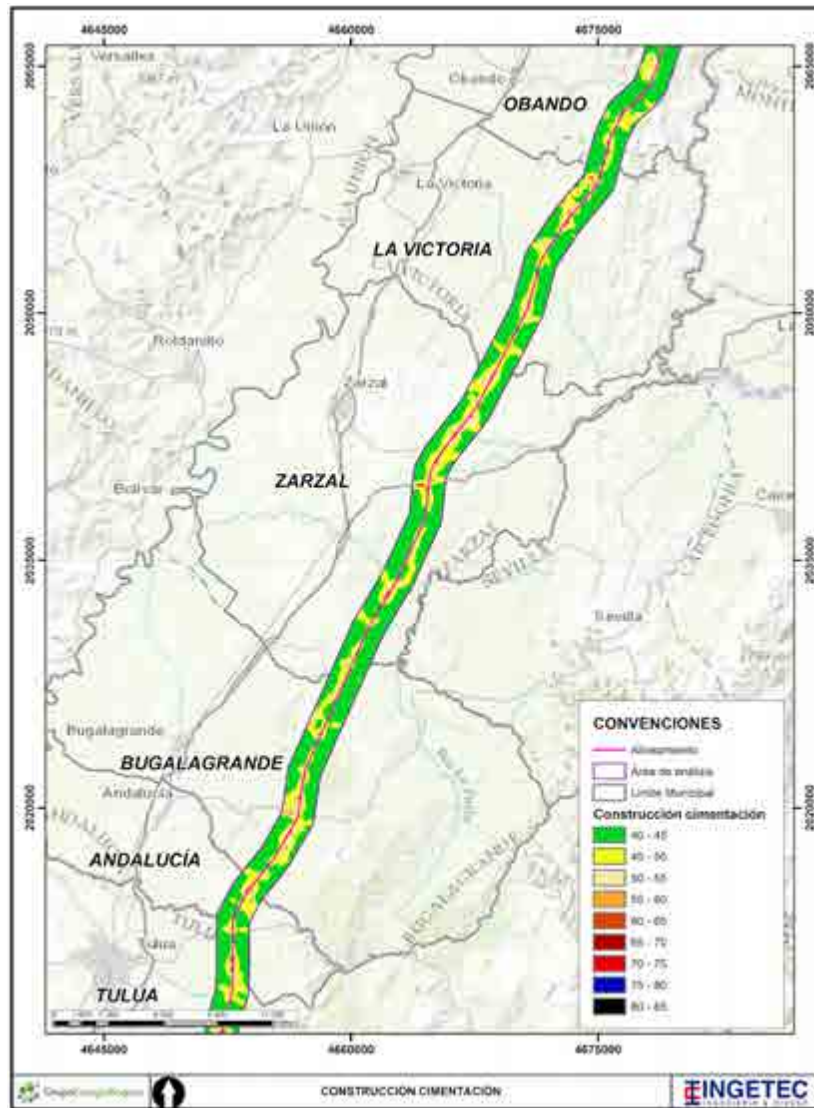


Figura 181. Mapa de ruido Construcción cimentación tramo 3

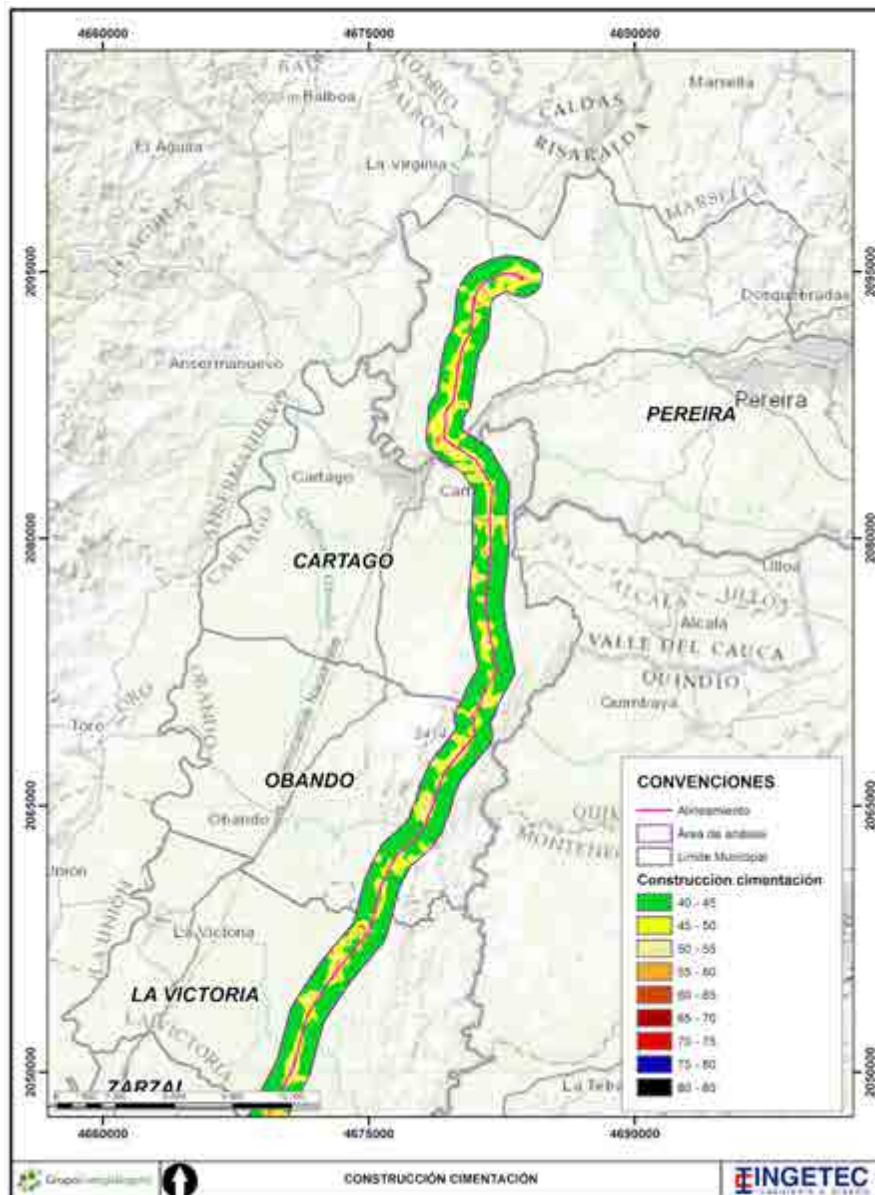


Figura 182. Mapa de ruido Construcción cimentación tramo 4

Los escenarios de construcción fueron modelados para la etapa de cimentación y la etapa de tendido de manera independiente ya que ambos escenarios son temporalmente diferentes. Asimismo, para conocer la dinámica de propagación de ruido a lo largo del proyecto, para el escenario de construcción etapa de cimentación se modeló entre patios de tendido las actividades de cimentación para 2 torres en simultáneo. De esta manera,

se puede conocer el escenario más crítico donde se registraron los niveles más altos de emisión de ruido a lo largo de la Línea de tensión.

Por otra parte, para establecer las condiciones de emisión proyectadas del proyecto se incluyeron dentro de los modelos los accesos a las torres por donde transitarán vehículos asociados a las actividades de construcción. Ver capítulo 3. Descripción del proyecto. Asimismo, el tránsito vehicular modelado en las vías aledañas al proyecto, tanto para el escenario de construcción de cimentación como para el de tendido, es el mismo empleado para el escenario de Línea Base. Ver 5.1.1.2.3. Aforo vehicular y emisiones móviles.

Cabe resaltar que, la maquinaria se modeló para un periodo de operación comprendido entre las 6 am y 6 pm.

El modelo arrojó un valor máximo de 85 dB(A) para el tramo 1, de 84,7 dB(A), para el tramo 2 de 82,4 dB(A), para el tramo 3 de 82,4 y de 84,59 dB(A) para el tramo 4. Estos valores máximos se dan para el centro de las fuentes de emisión y se va a atenuando conforme los contornos de las isófonas se alejan de la fuente.

Por otra parte, analizando el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 0627 del 2006 del MADS el cual para el escenario de construcción en la etapa de cimentación está regido por el contorno de la isófona de 55 dB(A) para un Sector D. Siendo este el límite más restrictivo, la distancia medida respecto a la fuente de emisión hasta el contorno de 55 dB(A) será la distancia de propagación de ruido donde no se tendrá cumplimiento normativo hasta llegar a dicho contorno. Esa distancia radial será la zona de incumplimiento. Es por esto que, el contorno de 55 dB(A) será la distancia máxima en la cual se dará el inicio del cumplimiento normativo. Cabe resaltar que al tener contornos más restrictivos estos tendrán una mayor envergadura y los cumplimientos se darán para distancias mucho mayores.

Ahora bien, analizando las isófonas obtenidas para el escenario de construcción etapa de cimentación, se obtuvo que el contorno de 55 dB(A) de mayor envergadura se dio para una distancia máxima de 95 m. Es de suma importancia entender que esa distancia es medida de forma radial respecto a la fuente de emisión, que en este caso son las áreas de cimentación de las torres. Es decir que, por encima de distancias radiales a 95 m medidos desde las fuentes de emisión de ruido, siempre se estará en cumplimiento normativo.

A continuación, se presenta la tabla con la maquinaria empleada para la etapa de cimentación.



Tabla 195. Maquinaria escenario de construcción etapa de cimentación

Descripción del equipo	Cantidad	Lugar de operación
Perforadora manual	1	Excavación y cimentación
Compresor	1	Excavación y cimentación
Retroexcavadora	1	Excavación y cimentación
Vibratory tamper	1	Excavación y cimentación
Cement mixer trucker	1	Excavación y cimentación

A continuación, se presentan las tablas de los resultados obtenidos en los mismos receptores analizados en los anteriores escenarios con el fin de conocer como las actividades de construcción contribuyen con los aportes de ruido en las diferentes zonas del proyecto.

Tabla 196. Resultados Construcción etapa cimentación tramo 1

Receptor	LrD dB(A)
r1	51,3
r2	46,2
r3	49,5
r4	49,6
r5	53,2
r6	47,7
r7	47,8
r8	57,1
r9	53,8
r10	51,2

Tabla 197. Resultados Construcción etapa cimentación tramo 2

Receptor	LrD dB(A)
r11	49,9
r12	37
r13	42,3
r14	38
r15	42,7

Tabla 198. Resultados Construcción etapa cimentación tramo 3

Receptor	LrD dB(A)
r16	35,5
r17	47,3
r18	44,6
r19	47,2
r20	45,4

Tabla 199. Resultados Construcción etapa cimentación tramo 4

Receptor	LrD dB(A)
r21	55,8
r22	43,1
r23	48,5
r24	43,6

A continuación, se presentan las tablas comparativas de los niveles de ruido registrados en el escenario de construcción etapa de cimentación respecto a los niveles de ruido obtenidos en el escenario de Línea base día hábil.

Tabla 200. Comparación de los resultados escenario de construcción cimentación respecto al escenario de Línea base tramo 1

Receptor	Construcción etapa cimentación	Línea base día hábil
	LrD dB(A)	LrD dB(A)
r1	51,3	29,9
r2	46,2	28
r3	49,5	42,1
r4	49,6	48,8
r5	53,2	51,2
r6	47,7	30,2
r7	47,8	26,8



Receptor	Construcción etapa cimentación	Línea base día hábil
	LrD dB(A)	LrD dB(A)
r8	57,1	28,7
r9	53,8	42
r10	51,2	38,3

Tabla 201. Comparación de los resultados escenario de construcción cimentación respecto al escenario de Línea base tramo 2

Receptor	Construcción etapa cimentación	Línea base día hábil
	LrD dB(A)	LrD dB(A)
r11	49,9	45,6
r12	37	31,9
r13	42,3	26,4
r14	38	29,3
r15	42,7	35,1

Tabla 202. Comparación de los resultados escenario de construcción cimentación respecto al escenario de Línea base tramo 3

Receptor	Construcción etapa cimentación	Línea base día hábil
	LrD dB(A)	LrD dB(A)
r16	35,5	30,1
r17	47,3	34,4
r18	44,6	11,4
r19	47,2	24,8
r20	45,4	36,2

Tabla 203. Comparación de los resultados escenario de construcción cimentación respecto al escenario de Línea base tramo 4

Receptor	Construcción etapa cimentación	Línea base día hábil
	LrD dB(A)	LrD dB(A)
r21	55,8	37,1
r22	43,1	32,6
r23	48,5	36
r24	43,6	39,7

Como se puede observar en las anteriores tablas, todos los receptores presentan un aumento en los niveles de ruido debido a las actividades de construcción que se llevarán a cabo a lo largo del proyecto. Cabe recordar, que para el escenario de construcción las fuentes de emisión de ruido están asociadas tanto a fuentes móviles como a fuentes fijas o de área.

El mayor aumento en los niveles de ruido se dio para el receptor r18 el cual registró un aumento de 33,1 dB(A). Por otra parte, el receptor que registró el menor cambio fue el receptor r4 con una diferencia de 0,8 dB(A).

Es muy importante resaltar que, si bien hay un aumento de los niveles de ruido generados por las diferentes actividades de construcción, este impacto es calificado como temporal ya que una vez cesen las actividades el impacto desaparece y se obtienen las mismas condiciones determinadas en el escenario de línea base.

A continuación, se presentan las tablas comparativas de los niveles de ruido obtenidos en los receptores respecto a la norma.

Tabla 204. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 1 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r1	D	51,3	55
r2	D	46,2	55

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r3	C	49,5	80
r4	C	49,6	75
r5	D	53,2	55
r6	D	47,7	55
r7	D	47,8	55
r8	D	57,1	55
r9	D	53,8	55
r10	D	51,2	55

Tabla 205. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 2 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r11	D	49,9	55
r12	D	37	55
r13	D	42,3	55
r14	D	38	55
r15	D	42,7	55

Tabla 206. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 3 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r16	D	35,5	55
r17	D	47,3	55

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r18	C	44,6	80
r19	C	47,2	80
r20	C	45,4	80

Tabla 207. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 4 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r21	D	55,8	55
r22	D	43,1	55
r23	C	48,5	80
r24	C	43,6	75

Como se puede observar en las anteriores tablas, los resultados obtenidos en los receptores para el escenario de construcción en la etapa de cimentación muestran cumplimiento de la norma salvo el receptor r8 y r21. Estos receptores presentan incumplimiento normativo debido a que el uso del suelo asociado a estos receptores es más estricto en comparación a los demás receptores. Asimismo, cabe recordar que la mayoría de los receptores fueron ubicados por el modelador con el fin de entender puntualmente la percepción de un posible receptor la distancia que se encuentra el mismo. Esto se llevó a cabo debido a la falta de receptores sensibles cercanos a los frentes de obra de cada torre.

Por otra parte, estos cumplimientos normativos se dan a lo largo del proyecto debido a la baja cantidad de maquinaria empleada en la etapa de cimentación y por los rangos de tiempo de operación los cuales son únicamente para el periodo diurno. Al tener unos bajos niveles de emisión de ruido y la topografía asociada al proyecto, la atenuación de la propagación será de alguna manera restringida llegando muy rápidamente a los cumplimientos normativos establecidos por la Resolución 0627 del 2006 del MADS.

Estas emisiones de ruido no representan cambios significativos en la dinámica actual de ruido ambiental en la zona y no presenta afectaciones considerables para la población adyacente al proyecto. Cabe resaltar que el impacto generado por las emisiones de ruido generadas por el proyecto son temporales y de muy corta duración lo que no genera ninguna alteración que perdure en el tiempo.

- Escenario Construcción Tendido

Finalmente, se presentan los mapas de ruido asociados a la modelación del escenario de tendido la cual se dividió en cuatro secciones. Tramo 1 desde Cali (El Pórtico Alférez) hasta Cerrito, Tramo 2 desde Ginebra hasta Tuluá, Tramo 3 desde Andalucía hasta la Victoria y Tramo 4 desde Obando hasta el final del trazado. De esta manera, se presentan los mapas de ruido para cada tramo. En cumplimiento a los términos de referencia, en estos escenarios a continuación, se presentan los resultados asociados a las diferentes etapas de construcción. De esta manera, se presentan los resultados del escenario de construcción etapa de tendido la cual contempla todas las actividades de tendido.

Cada mapa de ruido ilustra las emisiones asociadas al tránsito vehicular caracterizando de esta manera la dinámica actual de ruido ambiental, como también el tráfico asociado a los vehículos del proyecto los cuales transitarán por los accesos proyectados para ingresar a cada torre. Asimismo, las emisiones de ruido de los procesos de tendido.

Para entender los resultados de los mapas de ruido, del mismo modo que en los escenarios anteriormente mencionados, estos se presentan bajo una escala de colores los cuales representan las isófonas asociadas a las emisiones de ruido del tráfico vehicular y de los frentes de obra de la etapa de tendido. Los valores de estas isófonas se atenúan conforme se alejan del centro de la fuente de emisión, que en este caso es representada por las vías aforadas, accesos y frentes de obra.

Entonces, cómo se puede observar en los mapas a continuación, los mayores niveles de ruido se presentaron a lo largo de las vías aforadas y accesos asociados como también en los puntos de tendido donde se proyecta la ubicación de cada torre. Es importante entender que solo se contempla como escenario de modelación el periodo diurno.

En primer lugar, se presentan a continuación los mapas de ruido asociados a los escenarios de construcción en la etapa de tendido.

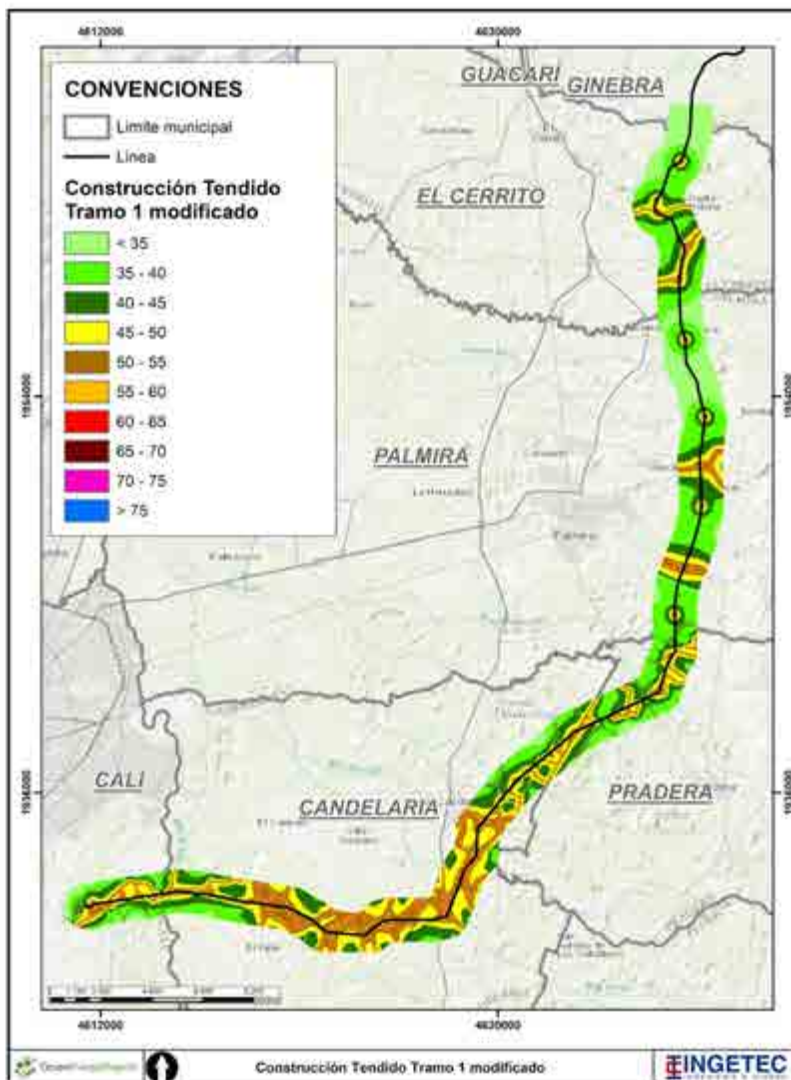


Figura 183. Mapa de ruido Construcción tendido tramo 1

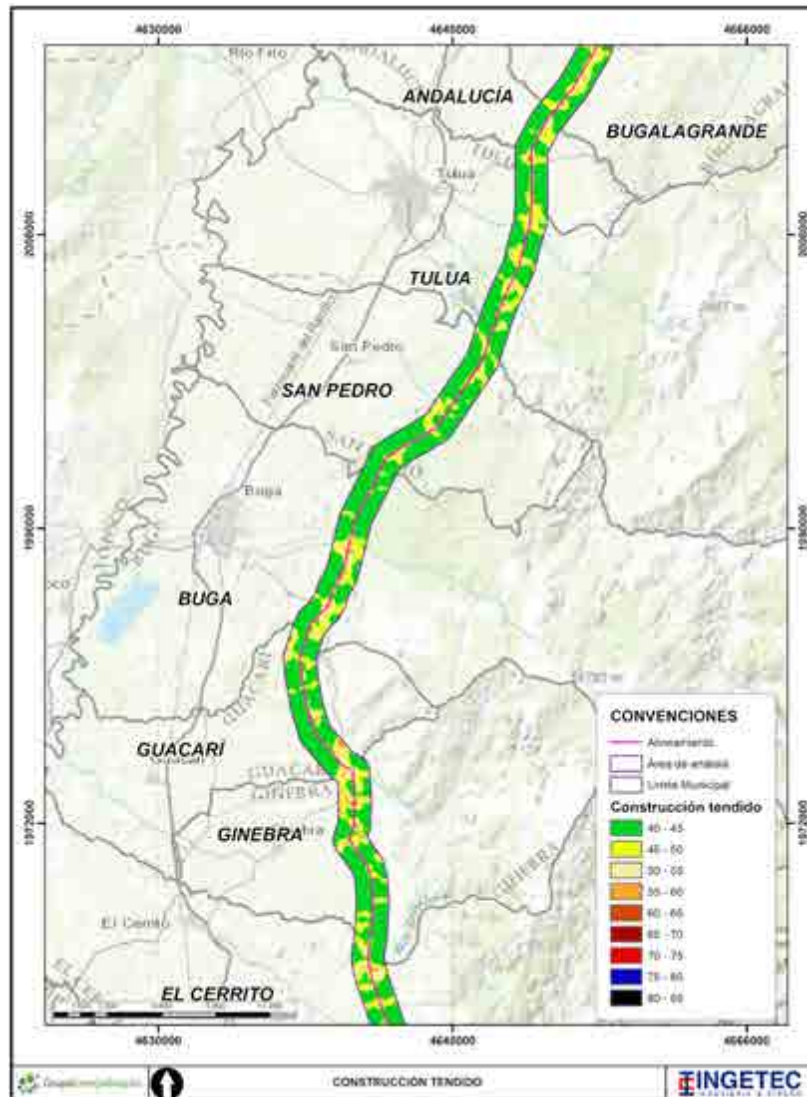


Figura 184. Mapa de ruido Construcción tendido tramo 2



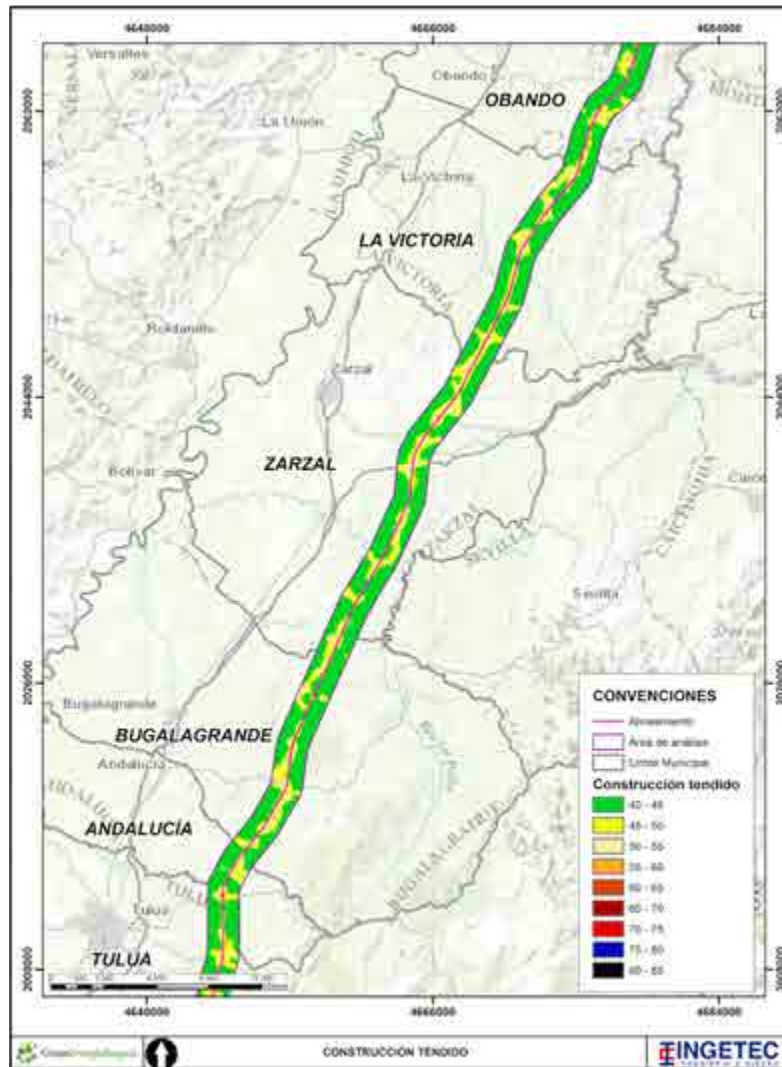


Figura 185. Mapa de ruido Construcción tendido tramo 3

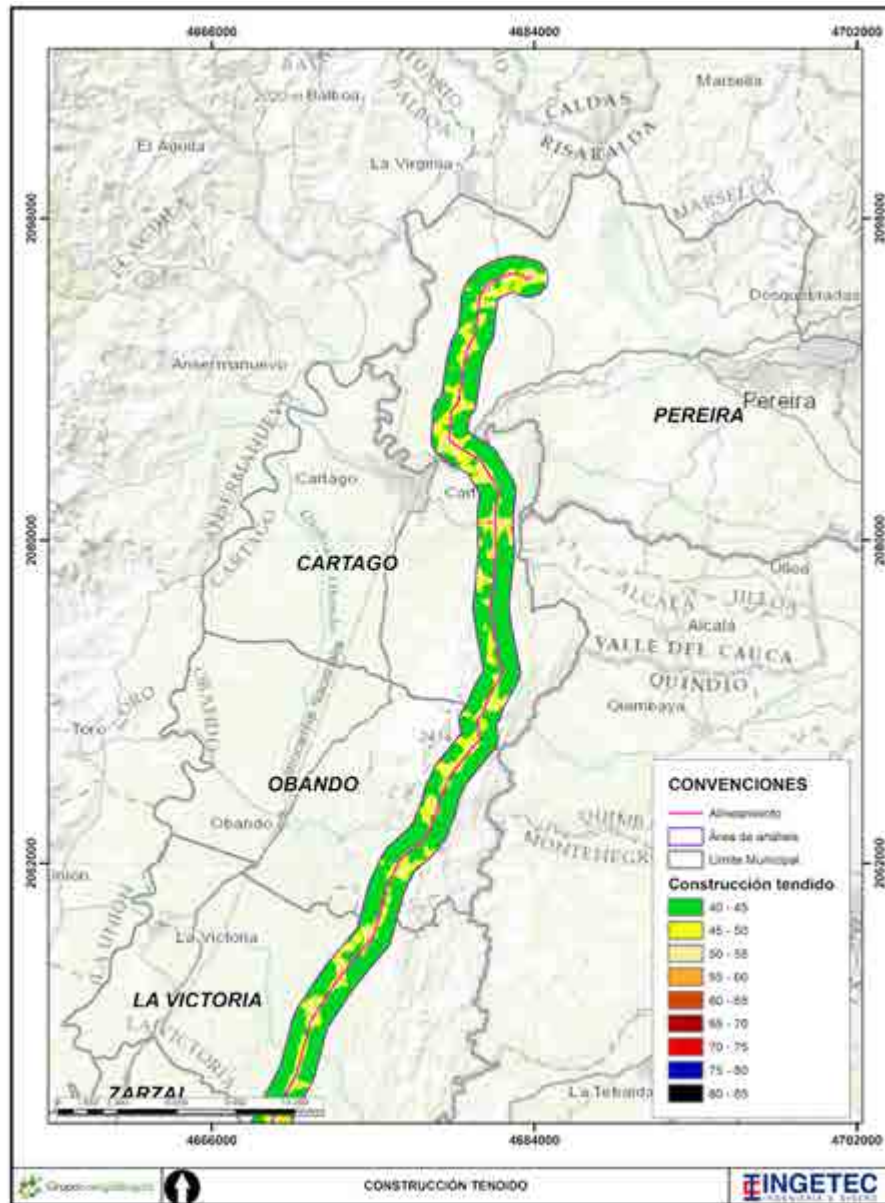


Figura 186. Mapa de ruido Construcción tendido tramo 4

El escenario de construcción en la etapa de tendido fue modelado de manera independiente para conocer la dinámica de propagación de ruido bajo las actividades de tendido a lo largo del proyecto. Esta modelación se llevó a cabo implementando las fuentes de emisión en cada patio de tendido ubicado a lo largo del proyecto. Para cada extremo de los patios de tendido se ubicó un malacate y al otro extremo un freno y la

respectiva maquinaria asociada al proceso de tendido. Para este escenario se modeló en simultáneo todas las plazas de tendido con el fin de poder conocer la dinámica de dispersión de ruido a lo largo de todo el proyecto.

Por otra parte, para establecer las condiciones de emisión proyectadas del proyecto se incluyeron dentro de los modelos los accesos a las torres por donde transitarán vehículos asociados a las actividades de construcción. Ver capítulo 3. Descripción del proyecto.

Cabe resaltar que, la maquinaria se modeló para un periodo de operación comprendido entre las 6 am y 6 pm.

El modelo arrojó un valor máximo de 82,9 dB(A) para el tramo 1, de 79,2 dB(A) para el tramo 2 de 82,4 dB(A), para el tramo 3 de 83,6 dB(A) y de 86,6 dB(A) para el tramo 4. Estos valores máximos se dan para el centro de las fuentes de emisión y se va atenuando conforme los contornos de las isófonas se alejan de la fuente.

Por otra parte, analizando el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 0627 del 2006 del MADS el cual para el escenario de construcción en la etapa de tendido está regido por el contorno de la isófona de 55 dB(A) para un Sector D. Siendo este el límite más restrictivo, la distancia medida respecto a la fuente de emisión hasta el contorno de 55 dB(A) será la distancia de propagación de ruido donde no se tendrá cumplimiento normativo hasta llegar a dicho contorno. Esa distancia radial será la zona de incumplimiento. Es por esto que, el contorno de 55 dB(A) será la distancia máxima en la cual se dará el inicio del cumplimiento normativo. Cabe resaltar que al tener contornos más restrictivos estos tendrán una mayor envergadura y los cumplimientos se darán para distancias mucho mayores.

Ahora bien, analizando las isófonas obtenidas para el escenario de construcción etapa de cimentación, se obtuvo que el contorno de 55 dB(A) de mayor envergadura se dio para una distancia de 90 m. Es de suma importancia entender que esa distancia es medida de forma radial respecto a la fuente de emisión, que en este caso son los patios de tendido de las torres. Es decir que, por encima de distancias radiales a 90 m medidos desde las fuentes de emisión de ruido, siempre se estará en cumplimiento normativo.

A continuación, se presenta la una tabla con la maquinaria empleada para la etapa de tendido.

Tabla 208. Maquinaria escenario de construcción etapa de tendido

Descripción del equipo	Cantidad	Lugar de operación
Tendido	1	Tendido
Freno	1	Tendido

A continuación, se presentan las tablas de los resultados obtenidos en los mismos receptores analizados en los anteriores escenarios con el fin de conocer como las actividades de construcción contribuyen con los aportes de ruido en las diferentes zonas del proyecto.

Tabla 209. Resultados Construcción etapa tendido tramo 1

Receptor	LrD dB(A)
r1	63,4
r2	45,8
r3	45,2
r4	49,4
r5	53,1
r6	47,8
r7	46
r8	56,9
r9	53,7
r10	51,9

Tabla 210. Resultados Construcción etapa tendido tramo 2

Receptor	LrD dB(A)
r11	48,8
r12	33
r13	43,3
r14	37,9
r15	37,4

Tabla 211. Resultados Construcción etapa tendido tramo 3

Receptor	LrD dB(A)
r16	34,5
r17	45,6
r18	44,5
r19	46,6
r20	45,3

Tabla 212. Resultados Construcción etapa tendido tramo 4

Receptor	LrD dB(A)
r21	55,8
r22	43,1
r23	48,5
r24	43,6

A continuación, se presentan las tablas comparativas de los niveles de ruido registrados en el escenario de construcción etapa de tendido respecto a los niveles de ruido obtenidos en el escenario de Línea base día hábil.

Tabla 213. Comparación de los resultados escenario de construcción tendido respecto al escenario de Línea base tramo 1

Receptor	Construcción etapa tendido	Línea base día hábil
	LrD dB(A)	LrD dB(A)
r1	63,4	29,9
r2	45,8	28
r3	45,2	42,1
r4	49,4	48,8
r5	53,1	51,2
r6	47,8	30,2
r7	46	26,8
r8	56,9	28,7
r9	53,7	42
r10	51,9	38,3

Tabla 214. Comparación de los resultados escenario de construcción tendido respecto al escenario de Línea base tramo 2

Receptor	Construcción etapa tendido	Línea base día hábil
	LrD dB(A)	LrD dB(A)
r11	48,8	45,6
r12	33	31,9
r13	43,3	26,4
r14	37,9	29,3
r15	37,4	35,1

Tabla 215. Comparación de los resultados escenario de construcción tendido respecto al escenario de Línea base tramo 3

Receptor	Construcción etapa tendido	Línea base día hábil
	LrD dB(A)	LrD dB(A)
r16	34,5	30,1
r17	45,6	34,4
r18	44,5	11,4
r19	46,6	24,8
r20	45,3	36,2

Tabla 216. Comparación de los resultados escenario de construcción tendido respecto al escenario de Línea base tramo 4

Receptor	Construcción etapa tendido	Línea base día hábil
	LrD dB(A)	LrD dB(A)
r21	55,8	37,1
r22	43,1	32,6
r23	48,5	36
r24	43,6	39,7

Como se puede observar en las anteriores tablas, todos los receptores presentan un aumento en los niveles de ruido debido a las actividades de construcción que se llevarán a cabo a lo largo del proyecto. Cabe recordar, que para el escenario de construcción las fuentes de emisión de ruido están asociadas tanto a fuentes móviles como a fuentes fijas o de área. Asimismo, es de suma importancia entender que los receptores fueron ubicados a criterio del modelador con el fin de entender puntualmente los cambios de un escenario a otro. La cercanía de la ubicación de los receptores a las fuentes de emisión de ruido asociadas al proyecto permite que los receptores registren mayores niveles de ruido. Entonces, esto nos permite entender que particularmente en el punto r18 que presentó un mayor cambio en los niveles de ruido, que para las zonas ubicadas a las mismas distancias a la cual se encuentra el punto r18 percibirán el mismo aumento en los niveles de ruido emitidos por la maquinaria. Sin embargo, estos niveles son considerados como poco significativo debido a que estas emisiones se dan para periodos cortos de tiempo y también por el bajo número de maquinaria.

El mayor aumento en los niveles de ruido se dio para el receptor r18 el cual registró un aumento de 33,5 dB(A). Por otra parte, el receptor que registró el menor cambio fue el receptor r4 con una diferencia de 0,6 dB(A).

Es muy importante resaltar que, si bien hay un aumento de los niveles de ruido generados por las diferentes actividades de construcción, este impacto es calificado como temporal ya que una vez cesen las actividades el impacto desaparece y se obtienen las mismas condiciones determinadas en el escenario de línea base.

Tabla 217. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 1 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r1	D	63,4	55
r2	D	45,8	55
r3	C	45,2	80
r4	C	49,4	75
r5	D	53,1	55
r6	D	47,8	55
r7	D	46	55
r8	D	56,9	55



Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r9	D	53,7	55
r10	D	51,9	55

Tabla 218. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 2 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r11	D	48,8	55
r12	D	33	55
r13	D	43,3	55
r14	D	37,9	55
r15	D	37,4	55

Tabla 219. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 3 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r16	D	34,5	55
r17	D	45,6	55
r18	C	44,5	80
r19	C	46,6	80
r20	C	45,3	80

Tabla 220. Comparación de los resultados obtenidos en los receptores tramo 4 respecto a la norma

Receptor	Sector	Niveles de ruido receptores Diurno	Límites Permisibles Normatividad aplicable diurno
		LrD dB(A)	
r21	D	55,8	55
r22	D	43,1	55
r23	C	48,5	80
r24	C	43,6	75

Como se puede observar en las anteriores tablas, los resultados obtenidos en los receptores para el escenario de construcción en la etapa de cimentación muestran cumplimiento de la norma salvo los receptores r1, r8 y r21. Estos receptores presentan incumplimiento normativo debido a que el uso del suelo asociado a estos receptores es más estricto en comparación a los demás receptores. Asimismo, cabe recordar que la mayoría de los receptores fueron ubicados por el modelador con el fin de entender puntualmente la percepción de un posible receptor la distancia que se encuentra el mismo. Esto se llevó a cabo debido a la falta de receptores sensibles cercanos a los frentes de obra de cada torre.

Por otra parte, estos cumplimientos normativos se dan a lo largo del proyecto debido a la baja cantidad de maquinaria empleada en la etapa de cimentación y por los rangos de tiempo de operación los cuales son únicamente para el periodo diurno. Al tener unos bajos niveles de emisión de ruido y la topografía asociada al proyecto, la atenuación de la propagación será de alguna manera restringida llegando muy rápidamente a los cumplimientos normativos establecidos por la Resolución 0627 del 2006 del MADS.

Estas emisiones de ruido no representan cambios significativos en la dinámica actual de ruido ambiental en la zona y no presenta afectaciones considerables para la población adyacente al proyecto. Cabe resaltar que el impacto generado por las emisiones de ruido generadas por el proyecto son temporales y de muy corta duración lo que no genera ninguna alteración que perdure en el tiempo.

- Escenario Construcción helicóptero

Con el fin de entender un escenario hipotético en el cual se llevará a cabo el uso de un helicóptero para las actividades de construcción, y entendiendo que la información del mismo se limita a las necesidades del constructor a la hora de estipular las características y condiciones de la aeronave, se estableció con base en supuestos de criticidad dictados por el decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, un escenario sustentado bajo el escenario más crítico. Dicho esto, los parámetros específicos para la implementación del método de ruido de aeronaves en el modelo, se establecen dentro del marco de la ingeniería de detalle el cual no es objeto del presente estudio.

De esta manera, para mostrar la dinámica de propagación de ruido establecida por las actividades del helicóptero, se propuso como escenario más crítico una fuente puntual a nivel del suelo con el fin de proyectar el evento donde el helicóptero estaría más cercano a un receptor hipotético. Del mismo modo, y en virtud de seguir bajo el concepto de criticidad se estableció dentro de las actividades que llevará a cabo el helicóptero, tres momentos de emisión con duración de 10 minutos cada uno distribuidos a lo largo del periodo de evaluación de una jornada diurna. En cuanto a los niveles de emisión se empleó como potencia acústica los niveles de “approaching noise” establecidos por el documento Rotorcraft Flight Manual” (RFM) par un Bell 206 P/N BHT-206L3-FM el cual establece como valor 90,4 dB.

De esta manera, al obtener los resultados se puede observar que las envergaduras de las isófonas tienden a ser bastante bajas. Esto debido a que el modelo dentro de sus cálculos lleva a cabo un promedio donde evalúa los 30 minutos de la emisión total del helicóptero dentro una jornada de 14 horas equivalentes a un periodo diurno. Entonces, al tener bajos periodos de emisión para una única fuente con la potencia acústica anteriormente mencionada, el mapa de ruido resultante muestra las isófonas que no superan los 61 dB(A) siendo este el valor máximo registrado a lo largo del modelo. Del mismo modo, dentro de los mapas de ruido que se presentan a continuación, se observa que la envergadura de la isófona que establece el límite máximo permisibles de ruido ambiental (55 dB(A) sector D. zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado) no supera el área de influencia.

Finalmente, es importante entender que el impacto por ruido se asocia al tipo de fuente, tiempo de emisión y la vulnerabilidad de los receptores que están expuestos a la fuente. De esta manera, se entiende que el uso del helicóptero se dará para algunas torres donde el acceso por vía terrestre es ilimitado, por lo que en estas zonas no se presentan receptores sensibles los cuales se vayan a ver impactados por la emisión del ruido del helicóptero. Asimismo, la duración de la emisión de ruido del helicóptero se dará para

unos cuantos minutos que dura la descarga del material y se dará para máximo tres descargas en el día. Es importante entender que la descarga de material no será periódica. Esta será por máximo 2 días en cada torre donde se requiera el uso del helicóptero. Es por esto, que el impacto asociado al helicóptero se considera como poco significativo teniendo en cuenta que no se van a impactar receptores sensibles aledaños a la zona de operación del helicóptero, los tiempos de emisión son reducidos y no perduran en el tiempo. A continuación, en la siguiente tabla se presentan las coordenadas de las torres donde se proyecta el uso del helicóptero y donde se llevó a cabo la modelación dicha modelación.

Tabla 221. Ubicación de las torres donde se proyecta el uso del helicóptero

Torre	Este	Norte
TVA035V	4681937,678	2082423,878
TVA034V	4681921,164	2082871,517
TVA040	4681839,744	2080172,043
TVA041	4681868,668	2079262,47
TVA042	4681802,252	2078625,914
TVA043	4681713,311	2077773,381
TVA071V	4677645,43	2063212,571
TVA073V	4676506,412	2062196,611
TVA072V	4676957,813	2062599,247
TVA161	4664520,333	2037589,597
TVA051	4682212,749	2072644,875
TVA170	4662940,024	2034100,394
TVA174	4661838,236	2032247,662
TVA191	4658175,383	2024471,563
TVA239N	4650416,82	2002109,558
TVA240N	4650202,37	2001460,45
TVA241N	4649876,182	2000473,092
TVA242	4649807,436	2000264,995
TVA245	4648757,924	1998727,251
TVA247N	4648445,045	1998268,811
TVA248	4648160,258	1997851,526
TVA249NV	4647972,443	1997576,328
TVA250N	4647659,458	1997117,718
TVA251	4647351,248	1996666,101
TVA261V*	4643011,681	1992473,829
TVA264V*	4642067,224	1990607,016
TVA266V*	4641844,888	1989716,45
TVA278	4640854,817	1986614,008

<b>Torre</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
TVA280	4640626,612	1986193,247
TVA288	4639072,944	1983483,066
TVA289	4638905,903	1982995,225
TVA293	4638783,54	1980812,914
TVA299	4639555,01	1977537,862
TVA309N	4642005,728	1973908,822

A continuación, se presentan los mapas de ruido obtenidos con la modelación del helicóptero como una fuente puntual. Es importante entender que se modeló el ejercicio del helicóptero como fuente puntual para todas las torres proyectadas donde se espera se pueda llevar a cabo la actividad de descargue de materiales con el helicóptero. Las figuras que se muestran a continuación, muestran el zoom de una torre por variante con el fin de entender la dinámica de propagación de ruido asociado a esta fuente de emisión, sin embargo se modeló la fuente de emisión para todas las torres donde se proyecta el uso del helicóptero.

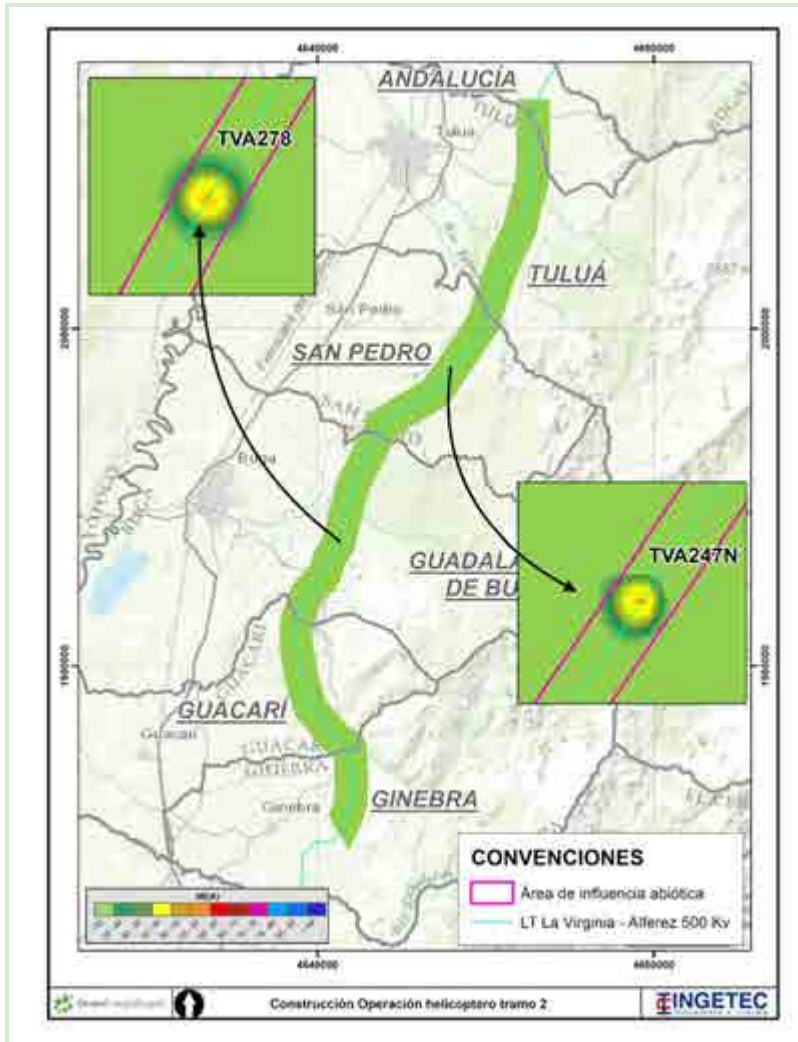


Figura 187. Mapa de ruido Construcción helicóptero tramo 2

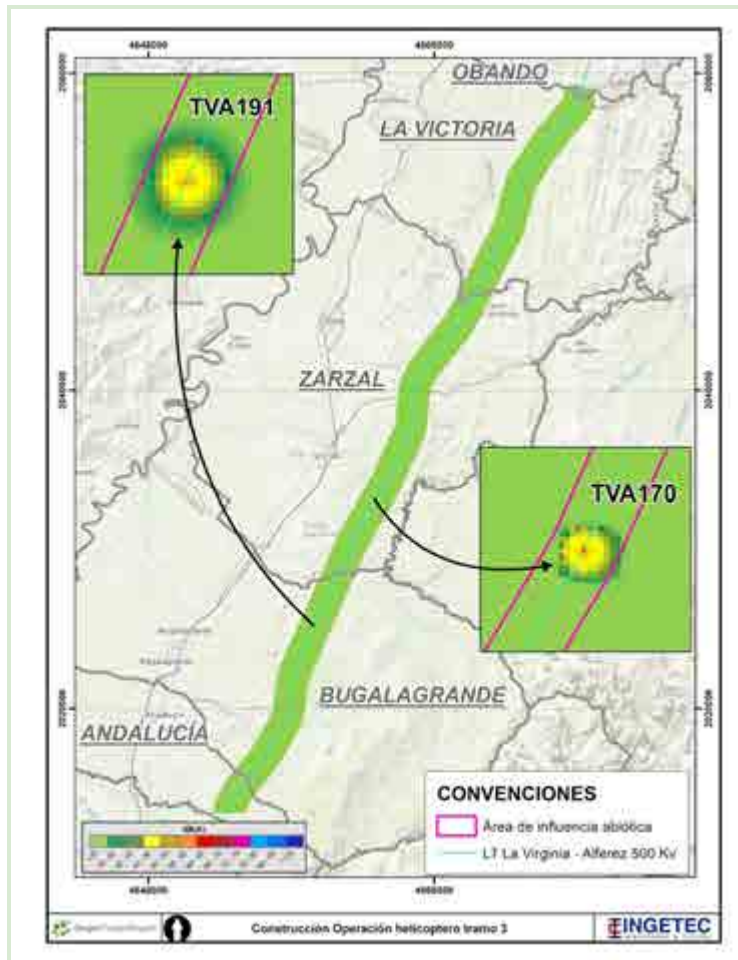


Figura 188. Mapa de ruido Construcción helicóptero tramo 3



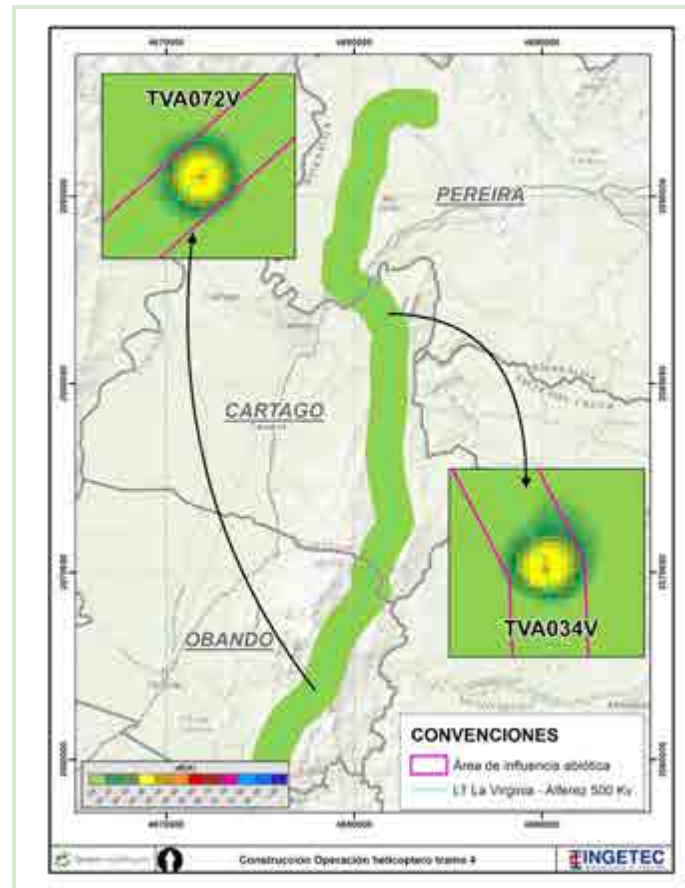


Figura 189. Mapa de ruido Construcción helicóptero tramo 4

- Escenario patios de almacenamiento

Para la modelación de los patios de almacenamiento se llevó a cabo los escenarios de línea base y de operación dándole cumplimiento a los términos de referencia los cuales establecen los criterios de modelación. De esta manera, se obtienen los resultados de los niveles de ruido registrados en cada receptor, asimismo, los mapas de ruido resultantes con el fin de entender tanto la dinámica actual de ruido ambiental como la proyectada. Esto permite comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos dentro del marco de la resolución 0627 del 2006 del MADS.

Con el fin de entender como los receptores perciben las emisiones de ruido asociadas a las fuentes vehiculares y fuentes asociadas al proyecto se ubicaron receptores al frente de las edificaciones cercanas a las vías y la ubicación de los patios de almacenamiento.

A continuación, se presenta la ubicación de los receptores anteriormente mencionados para cada patio de almacenamiento.

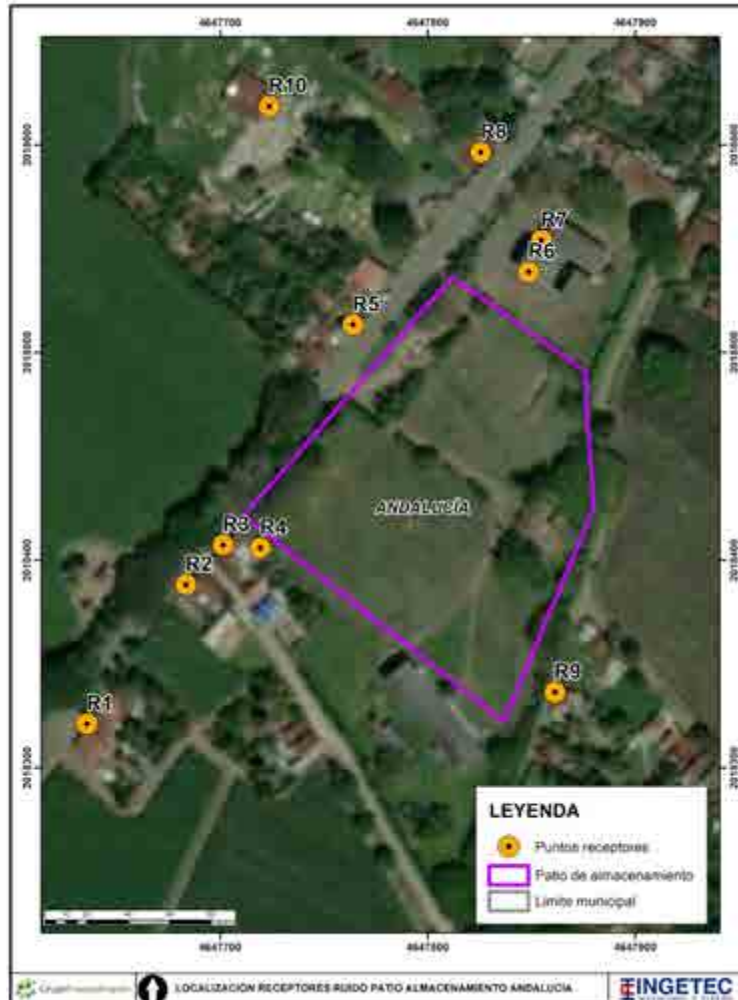


Figura 190. Receptores patio de almacenamiento 1



Figura 191. Receptores patio de almacenamiento 2

A continuación, se presentan los resultados de los niveles de ruido registrados en los receptores sensibles y sus mapas de ruido correspondientes.

- Escenario de Línea base Patio de almacenamiento 1

En primer lugar, se presentan los mapas de ruido asociados al escenario de línea base día hábil y no hábil periodo diurno y nocturno.

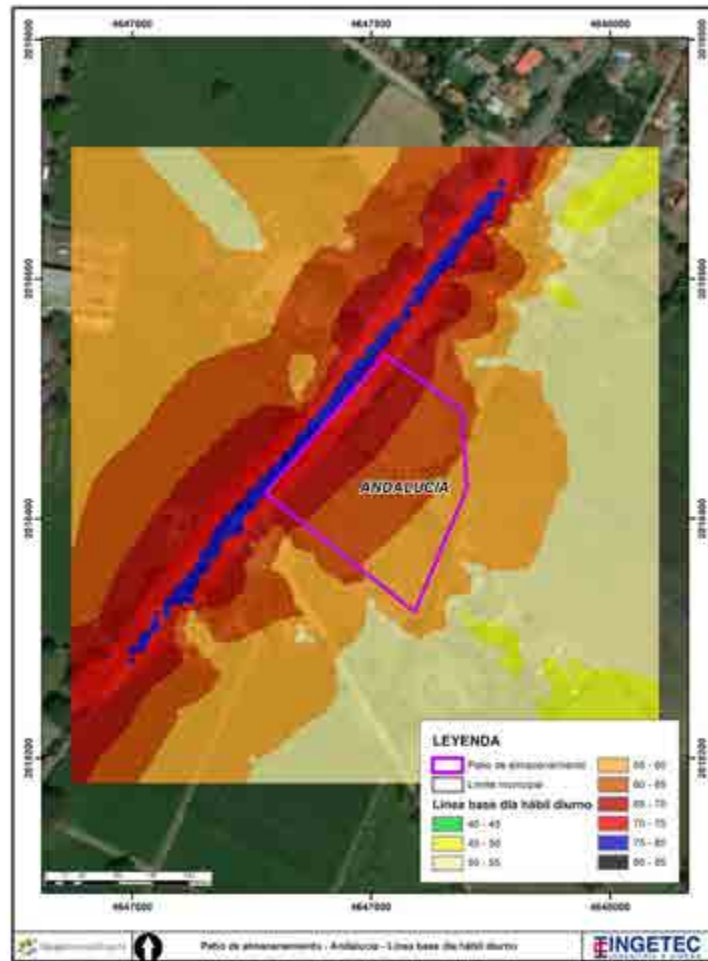


Figura 192. Mapa de ruido escenario de Línea base día hábil diurno patio 1

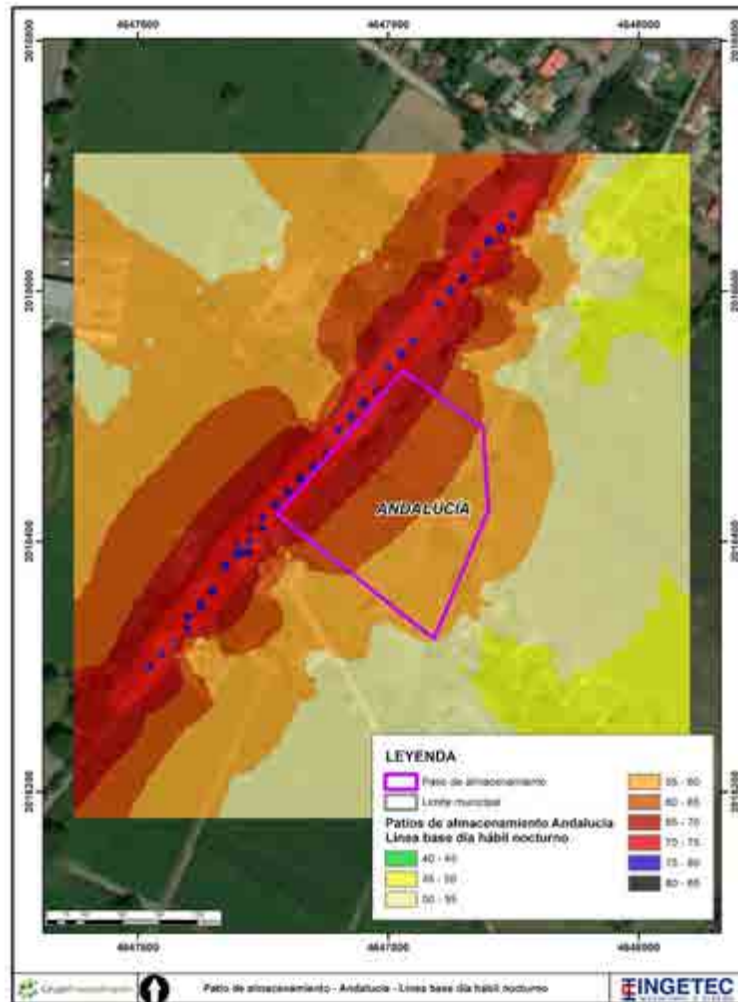


Figura 193. Mapa de ruido escenario de Línea base día hábil nocturno patio 1

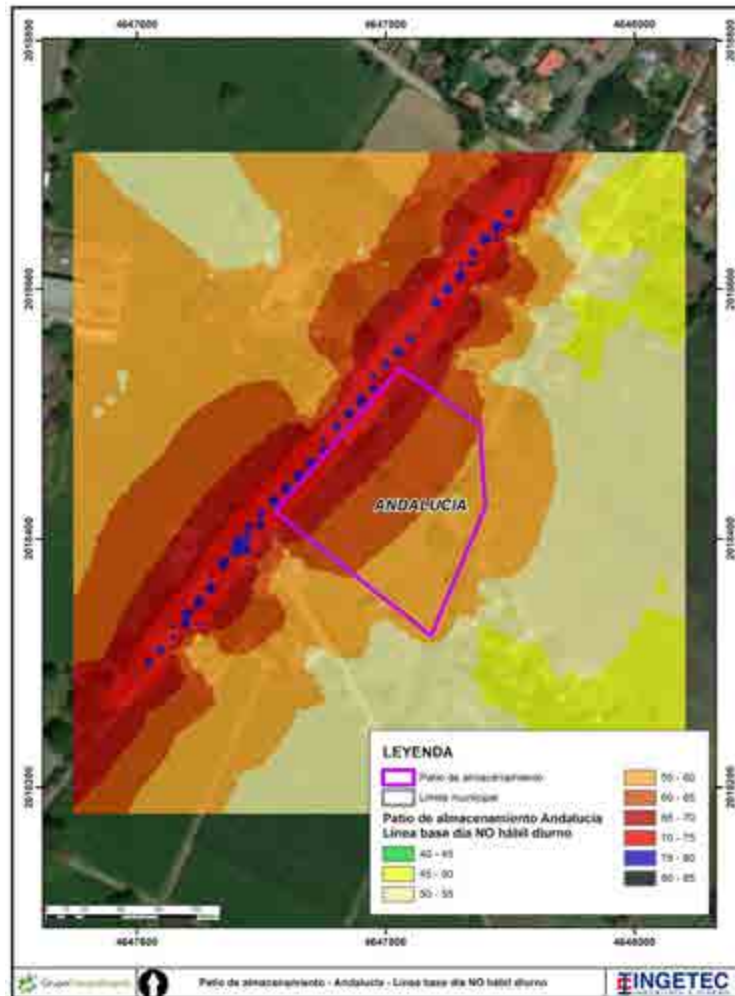


Figura 194. Mapa de ruido escenario de Línea base día no hábil diurno patio 1



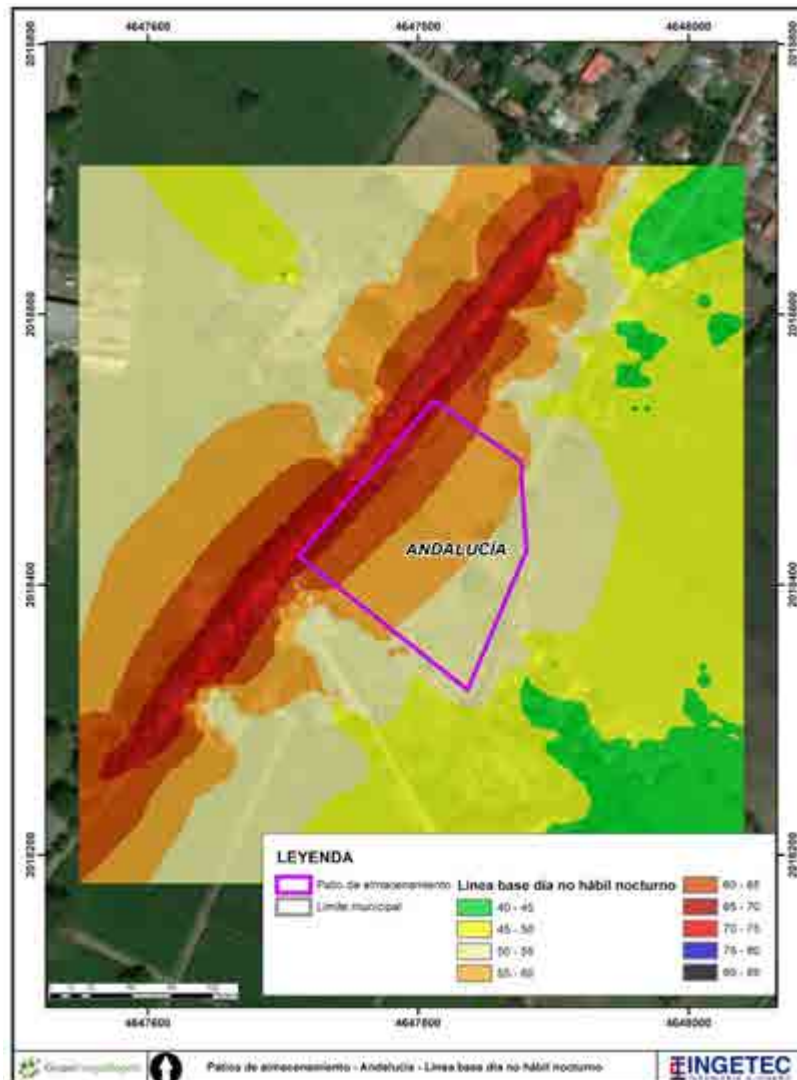


Figura 195. Mapa de ruido escenario de Línea base día no hábil nocturno patio 1

A continuación, se presentan los resultados de los niveles de ruido registrados por cada receptor. Cabe resaltar que los resultados fueron comparados con la resolución 0627 del 2006 del MADS donde se asocia la ubicación de los receptores con el sector B (tranquilidad y ruido moderado) y subsector (zonas residenciales). Este sector establece como límites máximos permisibles para el período diurno 65 dB(A) y el periodo nocturno 50 dB(A). Esta comparación nos permite establecer si actualmente la zona está en cumplimiento normativo dadas las fuentes de emisión asociadas al flujo vehicular.



Tabla 222. Comparación de los resultados Escenario Línea base día hábil patio 1 respecto a la norma

Receptor	Niveles de ruido escenario día hábil diurno dB(A)	Niveles de ruido escenario día no hábil diurno dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido escenario día hábil nocturno dB(A)	Niveles de ruido escenario día no hábil nocturno dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable diurno
R1	78,1	76,9	65	76,6	72,4	50
R2	77,8	76,6	65	76,3	72,2	50
R3	77,5	76,4	65	76,1	71,9	50
R4	69,8	68,9	65	67,9	64,2	50
R5	74,3	73,2	65	72,8	68,7	50
R6	66,9	65,8	65	65,2	61,2	50
R7	69,3	68,2	65	67,8	63,7	50
R8	73,2	72,1	65	71,7	67,6	50
R9	59,2	58,7	65	56,2	53,5	50
R10	59,4	58,3	65	57,9	53,8	50

Como se puede observar en la anterior tabla, la gran mayoría de los receptores presentaron incumplimiento normativo debido al tránsito vehicular de la vía aledaña al proyecto. Esto nos permite entender que actualmente los niveles de ruido ambiental en las zonas aledañas al proyecto presentan incompatibilidad normativa por los aportes de los vehículos livianos y pesados.

- Escenario de Operación Patio de Almacenamiento 1

A continuación, se presentan los resultados obtenidos bajo el escenario de operación del patio de almacenamiento 1.

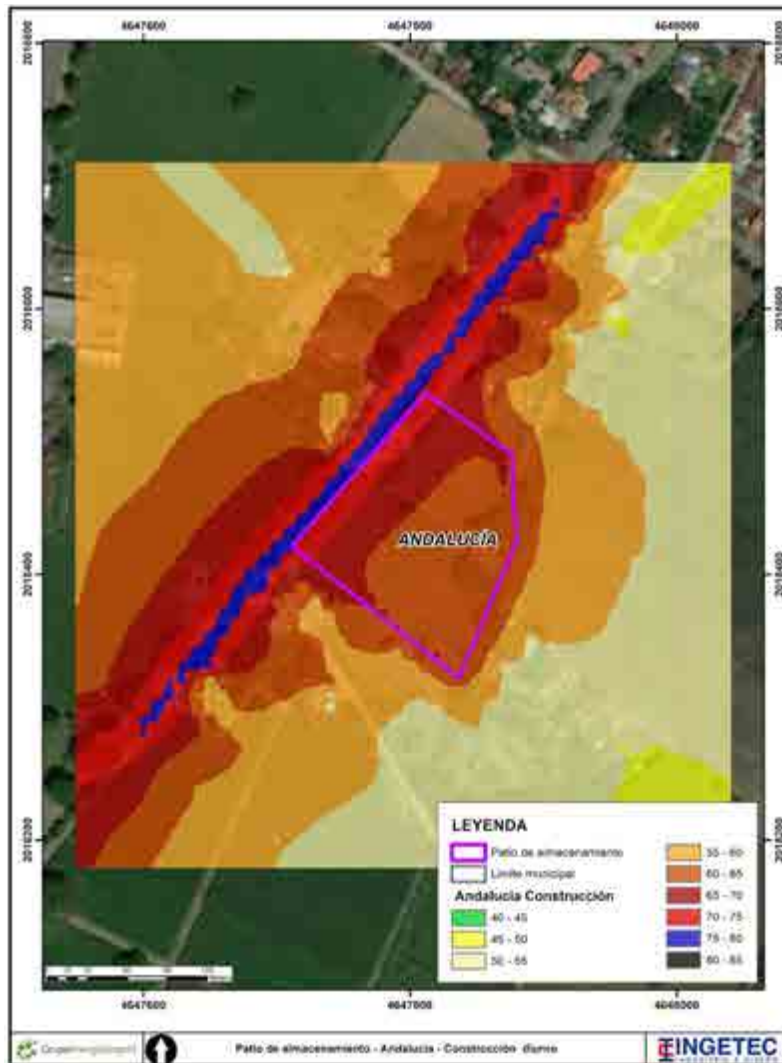


Figura 196. Mapa de ruido escenario de Operación Patio de Almacenamiento 1

Tabla 223. Comparación de los resultados Escenario de Operación patio 1 y Línea base respecto a la norma

Receptor	Niveles de ruido escenario de Línea base diurno dB(A)	Niveles de ruido escenario de operación dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable diurno
R1	78,1	78,1	65
R2	77,8	77,8	65
R3	77,5	77,5	65
R4	69,9	69,9	65
R5	74,3	74,3	65
R6	66,9	66,9	65
R7	69,3	69,3	65
R8	73,2	73,2	65
R9	59,4	59,4	65
R10	59,4	59,4	65

Como se puede observar en la anterior tabla, los niveles de ruido asociados a las actividades de operación del patio de almacenamiento no superan los registrados por el escenario de Línea base. Esto permite afirmar que los niveles de ruido del escenario de Línea base envuelven los niveles de ruido del escenario de operación, por lo que los niveles de ruido de la maquinaria asociada al proyecto no generarán mayores aportes de ruido a la dinámica actual de ruido ambiental.

- Escenario de Línea base día hábil patios de almacenamiento 2

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el escenario de Línea base del patio de almacenamiento 2, con sus respectivos niveles de ruido registrados en cada receptor y sus mapas de ruido asociados. Cabe resaltar que para la zona de estudio del patio de almacenamiento 2 los resultados fueron comparados respecto al Sector C (ruido intermedio) subsector (Zonas con usos permitidos industriales) donde sus límites máximos permisibles para el periodo diurno son de 75 dB(A) y 70 dB(A) periodo nocturno.

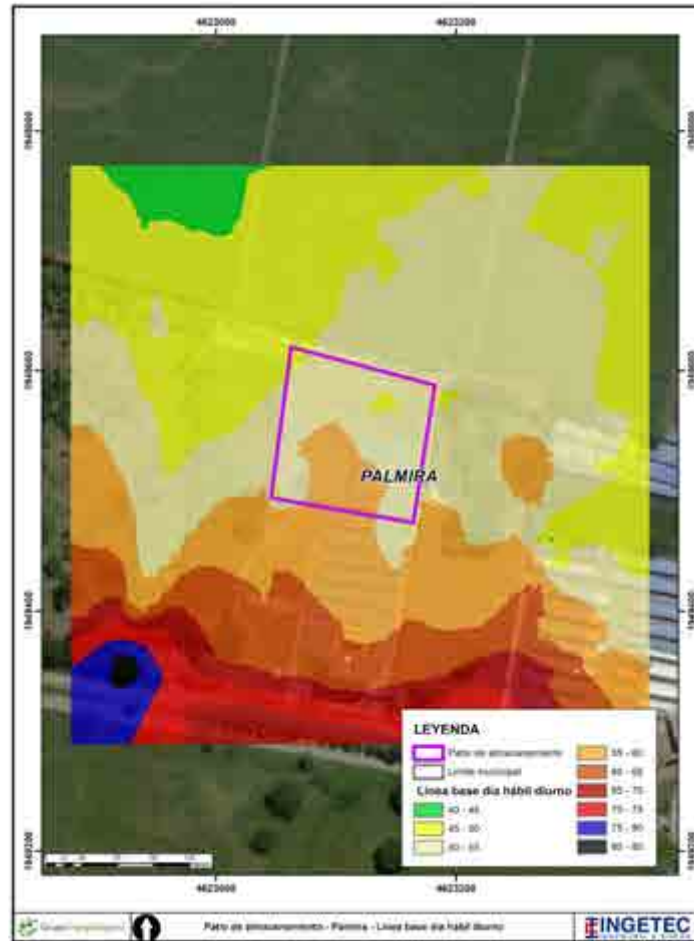


Figura 197. Mapa de ruido escenario de Línea base día hábil diurno patio 2

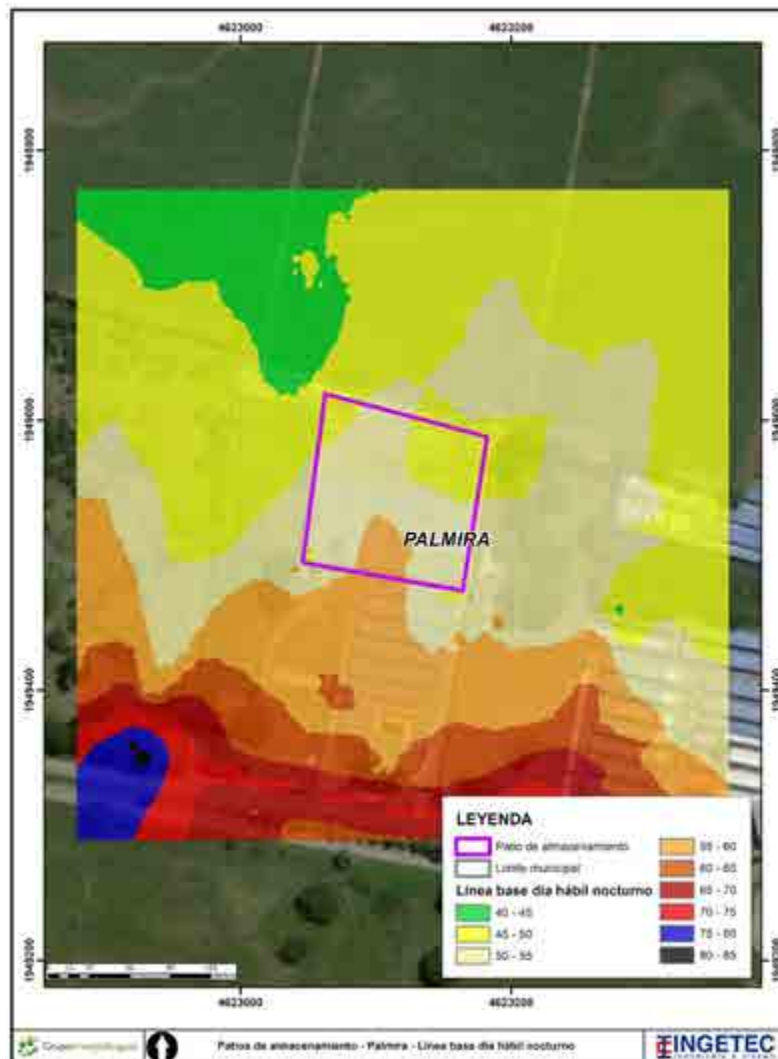


Figura 198. Mapa de ruido escenario de Línea base día hábil nocturno patio 2

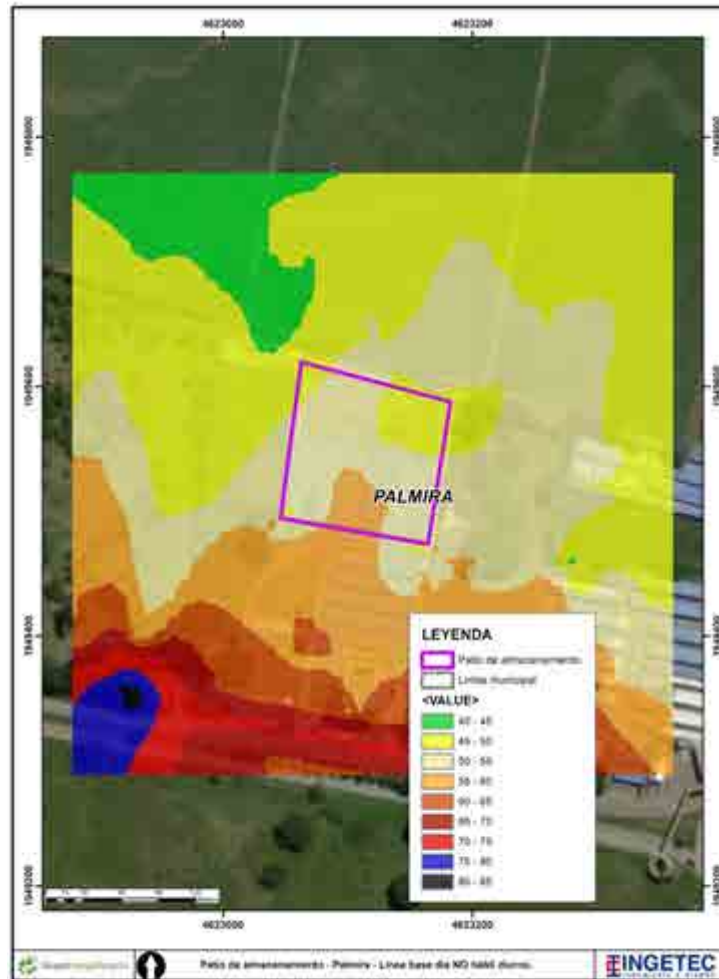


Figura 199. Mapa de ruido escenario de Línea base día no hábil diurno patio de almacenamiento 2

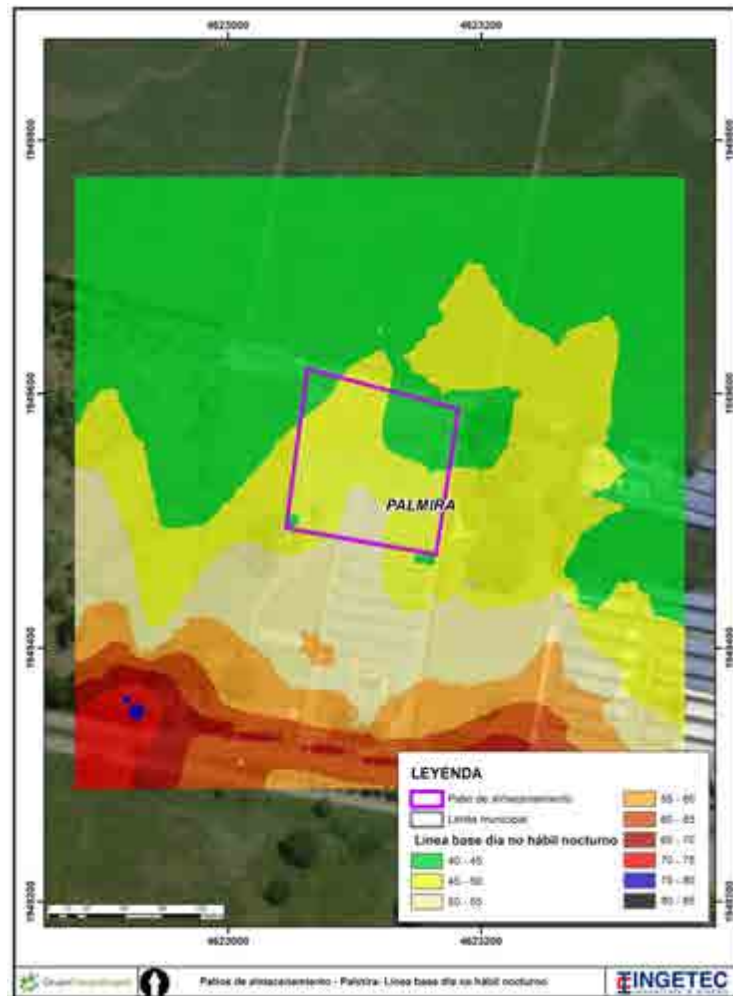


Figura 200. Mapa de ruido escenario de Línea base día no hábil nocturno patio de almacenamiento 2

Tabla 224. Comparación de los resultados Escenario Línea base patio 2 respecto a la norma

Receptor	Niveles de ruido escenario día hábil diurno dB(A)	Niveles de ruido escenario día no hábil diurno dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido escenario día hábil nocturno dB(A)	Niveles de ruido escenario día no hábil nocturno dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable diurno
R1	67,7	67,7	75	62,3	62,3	70



Receptor	Niveles de ruido escenario día hábil diurno dB(A)	Niveles de ruido escenario día no hábil diurno dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable diurno	Niveles de ruido escenario día hábil nocturno dB(A)	Niveles de ruido escenario día no hábil nocturno dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable diurno
R2	71,6	71,6	75	66,3	66,3	70
R3	64,4	64,4	75	59	59	70
R4	56,6	56,6	75	51,3	51,3	70
R5	60,9	60,9	75	54,9	54,9	70
R6	56,7	56,7	75	51,3	51,3	70

Como se puede observar en la anterior tabla, todos los receptores sensibles se encuentran en cumplimiento normativo debido a que el proyecto se encuentra en una zona considerada de uso industrial y donde los límites máximos son más permisibles en comparación al resto de los sectores que se asocian en la norma 0627 del 2006 del MADS.

- Escenario de operación patio de almacenamiento 2

A continuación, se presentan los resultados de los niveles y mapas de ruido obtenidos en la modelación para el escenario de operación del patio de almacenamiento 2.

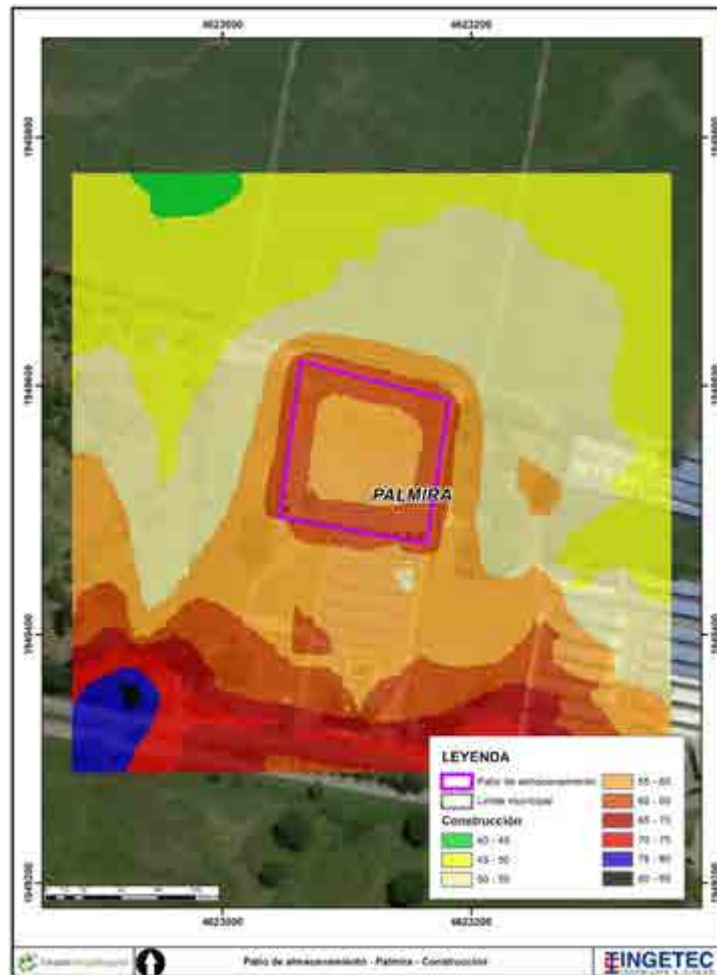


Figura 201. Mapa de ruido escenario operación patio 2

Tabla 225. Comparación de los resultados Escenario de Operación patio 2 respecto a la norma

Receptor	LrD dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable diurno	LrN dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable nocturno
R1	67,7	75	62,3	70
R2	71,6	75	66,3	70
R3	64,4	75	59	70

Receptor	LrD dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable diurno	LrN dB(A)	Límites permisibles Normatividad aplicable nocturno
R4	56,6	75	51,3	70
R5	60,9	75	54,9	70
R6	56,7	75	51,3	70

Como se puede observar en la anterior tabla, los niveles de ruido asociados a las actividades de operación del patio de almacenamiento no superan los registrados por el escenario de Línea base. Esto permite afirmar que los niveles de ruido del escenario de Línea base envuelven los niveles de ruido del escenario de operación, por lo que los niveles de ruido de la maquinaria asociada al proyecto no generarán mayores aportes de ruido a la dinámica actual de ruido ambiental.

#### 5.1.11.5. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones de cada componente de análisis en la caracterización atmosférica:

#### **Meteorología:**

La caracterización meteorológica se realizó a partir de los registros de 40 estaciones climatológicas, 34 estaciones operadas por el IDEAM y 6 estaciones operadas por la CVC.

Se analizaron los registros de temperatura media en 12 estaciones cercanas al área de estudio para el periodo 1996 – 2019, encontrando que la temperatura se encuentra relacionada con la altitud, a medida que la altura aumenta la temperatura disminuye.

La precipitación se caracterizó a partir de los registros de 31 estaciones analizadas para el periodo entre 1975 a 2019, de este análisis se identificó que el régimen anual de lluvias presenta un comportamiento de tipo bimodal, con periodos secos predominantes entre diciembre - febrero y junio - agosto y períodos húmedos predominantes entre marzo -

mayo y septiembre - noviembre, Siendo el mes más húmedo octubre y el mes más seco agosto.

Del análisis de velocidad del viento realizado a partir de las estaciones Aeropuerto Alfonso Bonilla y Palmira ICA localizadas en la zona sur de la línea de transmisión, la estación Aeropuerto Farfán y Centro Administrativo La Unión localizadas en la zona intermedia de la línea y la estación Aeropuerto Matecaña ubicada en la zona norte del proyecto, se determinó que en la zona sur (1,72 m/s) y en la zona norte (1,9 m/s) se presentan velocidades más altas que en la zona centro (1,56 m/s).

### **Calidad del aire:**

Se realizó la caracterización de calidad del aire en el área de influencia del proyecto, con el objetivo de conocer los niveles de contaminación existentes en el territorio. La caracterización integró la identificación de fuentes de emisiones atmosféricas, el análisis de concentración de contaminantes atmosféricos y el reconocimiento de receptores sensibles.

Se consultaron los inventarios de emisiones atmosféricas del departamento del Valle del Cauca y Risaralda, en los que se reconoció que el área de influencia comprende diversas actividades comerciales e industriales que emiten contaminantes atmosféricos, siendo la agricultura, producción de alimentos y procesamiento de caña, producción de concentrados, extracción de minerales, procesamiento de metales y producción de papel y procesamiento de maderables, las principales actividades. Para complementar el inventario de emisiones regional, se realizó un recorrido en campo por el área de influencia del proyecto, identificando varios trapiches, fábricas de aceites y alimentos, así como de maderas en el recorrido.

Además de las fuentes fijas puntuales y dispersas, se reconocieron los principales accesos que serán utilizados por el proyecto para la construcción y operación del mismo. Se realizó un aforo vehicular en 13 accesos a lo largo del trazado, mediante un conteo manual de vehículos y conocer la flota vehicular circundante en el territorio, así como los trazados lineales. Con los resultados se estimaron las emisiones vehiculares con el modelo IVE, de los cuales se concluyeron los siguientes aspectos:

- Las emisiones principales corresponden al contaminante CO por parte de toda la flota vehicular.
- Las emisiones diarias de CO son de 406 kg, las de NOx son 55,97 kg, las de SOx 1,73 kg, las de PST 7,94 kg, las de PM10 7,15 kg y las de PM2.5 0,56 kg.

- Los vehículos livianos emiten en mayor proporción SOx que los demás grupos, mientras que las motos lideran los demás contaminantes.

En la identificación de fuentes de emisión, también se identificaron los receptores sensibles presentes en el área de influencia. Estos se caracterizan por ser más vulnerables ante la contaminación atmosférica, siendo de especial análisis y manejo. En el recorrido se encontraron 45 centros de estudios (escuelas, colegios, instituciones educativas y hogares infantiles), 5 cementerios, 12 parques, 28 sitios de encuentro para hacer deporte (canchas y polideportivos), 29 iglesias, 3 casetas comunales, 4 piscinas o balnearios y 1 eco hotel. La mayoría de los receptores sensibles se localizan en los municipios de Tuluá, San Pedro, Guacarí, Ginebra, Obando y Cartago.

Finalmente, se consultaron los datos disponibles de niveles de calidad del aire que han sido monitoreados en el territorio, especialmente dentro del área de influencia del proyecto. La primera información de consulta fueron las mediciones disponibles en el SISAIRE de la red de monitoreo de la CVC, CARDER y DAGMA. Los resultados fueron complementados con un monitoreo de calidad del aire realizado por GEB en el 2018 en el área de influencia del proyecto.

De la consulta ante el SIAC se definieron las siguientes conclusiones:

- La red del SISAIRE cuenta con 9 estaciones representativas del área de estudio del proyecto: 3 en Cali, 3 en Palmira, 1 en Tuluá, 1 en Buga y 1 en La Virginia. Las estaciones combinadas miden PST, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub>. La comparación directa espacial no es representativa de todas las estaciones, ya que difieren de periodos de monitoreo entre estaciones.
- El parámetro PM<sub>10</sub> es el único que ha sido monitoreado en todos los SVCA del SISAIRE identificados. Las concentraciones históricas monitoreadas han sido moderadas, con una tendencia a disminuir en los últimos años. Las estaciones con reporte de mayor contaminación corresponden a Pance, Palmira y U. Valle. Las concentraciones de PM<sub>10</sub> han oscilado entre 5 y 90 ug/m<sup>3</sup> diarios.
- El PM<sub>2.5</sub> solo ha sido monitoreado en tres SVCA: Tuluá, U. Valle (Cali) y La Dolores (Palmira), las cuales se distribuyen en el sur y centro del Proyecto. Se puede deducir que la contaminación por PM<sub>2.5</sub> varía entre 5 y 45 ug/m<sup>3</sup> en la ciudad de Cali, mientras que en las estaciones urbanas las concentraciones oscilan entre 2 y 25 ug/m<sup>3</sup>.
- El O<sub>3</sub> es monitoreado en 5 estaciones del SIAC. Las mayores concentraciones de O<sub>3</sub> se presentaron en el SVCA de Pance y U. Valle, ambas situadas en la ciudad de Cali. Las concentraciones de las estaciones monitoreadas oscilaron en promedio entre 2 y 70 ug/m<sup>3</sup>, con picos atípicos de hasta 165 ug/m<sup>3</sup>.

- En cuanto al  $\text{SO}_2$ , este solo es monitoreado en 3 estaciones en Palmira y Cali. Las concentraciones obtenidas fueron relativamente altas, aunque los datos de monitoreo son inferiores al 2008, periodo en que la calidad del combustible en Colombia no era con reducción de azufre y sus concentraciones eran mucho más altas en el territorio nacional. En promedio, los datos oscilaron entre 2 y  $30 \text{ ug/m}^3$ .
- Solo las estaciones de Pance y U. Valle monitorean  $\text{NO}_2$ , a pesar de que es un contaminante criterio significativo. Las concentraciones monitoreadas en las estaciones oscilaron entre 5 y  $60 \text{ ug/m}^3$ .
- De todas las estaciones disponibles del SIAC, las localizadas en el sector urbanizado (Cali, Palmira y Candelaria) fueron las que reportaron, de manera general, las mayores concentraciones, especialmente de material particulado.

Finalmente, del monitoreo realizado por GEB en el 2018 en el área de influencia del proyecto se puede concluir lo siguiente:

- La calidad del aire del área de influencia se clasificó, de acuerdo al ICA, como buena en el sector norte y central del área de influencia. En el sector sur o urbano del área de influencia, la calidad del aire se clasificó como aceptable a dañina, de acuerdo con los resultados de material particulado.
- Los monitoreos de  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  todos fueron inferiores a los límites máximos permisibles de la Resolución 2254 de 2017 en todas las estaciones de monitoreo.
- Los resultados de  $\text{PM}_{10}$  fueron moderados a altos en la campaña de monitoreo, especialmente en las estaciones ubicadas en Ginebra y Palmira, donde se presentaron varios días de incumplimiento normativo.

#### **Ruido:**

- Los modelos de ruido arrojaron resultados que nos permiten entender la dinámica de propagación de ruido para el escenario actual y proyectado a lo largo del proyecto. Dentro de estos resultados se pudo identificar que para el escenario de Línea base, tanto para el día hábil como para el día no hábil, la gran mayoría de los receptores mostraron compatibilidad normativa, es decir, que el ruido asociado a las fuentes de emisión, en este caso el tráfico vehicular, no exceden en su gran mayoría los límites máximos permisibles de ruido ambiental establecidos por norma. Los únicos receptores que presentaron excedencia de la norma fueron para el día hábil periodo nocturno, los receptores r5 y r10. En cuanto al día no hábil únicamente el receptor r10 presentó incumplimiento en el periodo nocturno. Estos resultados concuerdan con la dinámica actual de la zona la cual presenta bajo tráfico vehicular asociado a las actividades económicas y sociales de la zona.

Por otra parte, los escenarios de construcción tanto para la etapa de cimentación y tendido no mostraron cambios significativos en los niveles de ruido ambiental en comparación al escenario de Línea base periodo diurno. Cabe resaltar que estas últimas modelaciones se llevaron a cabo para una jornada diurna de trabajo. Únicamente el receptor r8 presentó incumplimiento normativo en la etapa de cimentación y los receptores r1 y r8 para la etapa de tendido. Seguido a esto, es importante destacar que estos cumplimientos normativos para la gran mayoría de los receptores, se da debido a que la maquinaria empleada para las diferentes etapas de construcción será utilizada únicamente en el horario diurno el cual no es tan restrictivo en comparación al periodo nocturno. Asimismo, la baja cantidad y tipo de maquinaria asociada al proyecto no generan grandes aportes de ruido ambiental.

Las isófonas obtenidas para el escenario de construcción etapa de cimentación, se obtuvo que el contorno de 55 dB(A) de mayor envergadura se dio para una distancia máxima de 95 m. Es de suma importancia entender que esa distancia es medida de forma radial respecto a la fuente de emisión, que en este caso son las áreas de cimentación de las torres. Es decir que, por encima de distancias radiales a 95 m medidos desde las fuentes de emisión de ruido, siempre se estará en cumplimiento normativo.

Por otra parte, las isófonas obtenidas para el escenario de construcción etapa de cimentación, se obtuvo que el contorno de 55 dB(A) de mayor envergadura se dio para una distancia de 90 m. Asimismo, esa distancia es medida de forma radial respecto a la fuente de emisión, que en este caso son los patios de tendido de las torres. Es decir que, por encima de distancias radiales a 90 m medidos desde las fuentes de emisión de ruido, siempre se estará en cumplimiento normativo.