

--	--	--	--	--	--	--



UPME 04-2014

**REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 KV
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO ALFÉREZ SAN MARCOS**

**CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO
NUMERAL 3.2.9 GEOTECNIA**



ESCALA SIN	FORMATO CARTA	CÓDIGO GEB EEB-U414-CT101223-L390-EST-1003_2.9	CÓDIGO CONTRATISTA EEB-U414-CT101223-L390-EST-1003_2.9	HOJA Página 1 de 46	REV 0
-----------------------------	--------------------------------	--	--	---	------------------------

**UPME 04-2014
REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 KV
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO ALFÉREZ SAN MARCOS**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
3 caracterización del área de influencia del proyecto	4
3.2 MEDIO ABIÓTICO	4
3.2.9 Geotecnia	4
3.2.9.1 Metodología	4
3.2.9.2 Zonificación Geotécnica	6
3.2.9.3 Capacidad portante de los sitios de torre	43
3.2.9.4 Estratificación de taludes y nivel de fracturamiento	45
3.2.9.5 Procesos Morfodinámicos dentro del AID	45

**UPME 04-2014
REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 KV
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO ALFÉREZ SAN MARCOS**

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.2.9-1 Categoría y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables	7
Tabla 3.2.9-2 Valores de susceptibilidad por litología	7
Tabla 3.2.9-3 Valores de susceptibilidad por geomorfología	10
Tabla 3.2.9-4 Valores de susceptibilidad por hidrogeología	13
Tabla 3.2.9-5 Valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra	16
Tabla 3.2.9-6 Ponderación de drenajes según su tipo	19
Tabla 3.2.9-7 Valores de susceptibilidad por densidad de drenajes	19
Tabla 3.2.9-8 Ponderación de fallas según su tipo	22
Tabla 3.2.9-9 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas	22
Tabla 3.2.9-10 Valores de susceptibilidad por pendientes	25
Tabla 3.2.9-11 Valores de susceptibilidad por intensidad de erosión	28
Tabla 3.2.9-12 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno	30
Tabla 3.2.9-13 Intervalos de categoría de precipitación	34
Tabla 3.2.9-14 Intervalos de categorías de sismicidad	37
Tabla 3.2.9-15 Categorías para la zonificación geotécnica	39
Tabla 3.2.9-16 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica	41
Tabla 3.2.9-17 Capacidad portante y zonificación geotécnica por torre	43

**UPME 04-2014
REFUERZO SUROCCIDENTAL A 500 KV
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO ALFÉREZ SAN MARCOS**

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.2.9-1 Diagrama metodológico para la obtención de la zonificación geotécnica	6
Figura 3.2.9-2 Susceptibilidad por litología	8
Figura 3.2.9-3 Mapa de susceptibilidad por litología	9
Figura 3.2.9-4 Susceptibilidad por geomorfología	11
Figura 3.2.9-5 Mapa de susceptibilidad por geomorfología	12
Figura 3.2.9-6 Susceptibilidad por hidrogeología	14
Figura 3.2.9-7 Mapa de susceptibilidad por hidrogeología	15
Figura 3.2.9-8 Susceptibilidad por cobertura de la tierra	17
Figura 3.2.9-9 Mapa de susceptibilidad por cobertura de la tierra	18
Figura 3.2.9-10 Susceptibilidad por densidad de drenajes	20
Figura 3.2.9-11 Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes	21
Figura 3.2.9-12 Susceptibilidad por densidad fallas	23
Figura 3.2.9-13 Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas	24
Figura 3.2.9-14 Susceptibilidad por pendientes	25
Figura 3.2.9-15 Mapa de susceptibilidad por pendientes	27
Figura 3.2.9-16 Susceptibilidad por intensidad de erosión	28
Figura 3.2.9-17 Mapa de susceptibilidad por intensidad de erosión	29
Figura 3.2.9-18 Susceptibilidad general del terreno en el Área de Influencia Indirecta AI	31
Figura 3.2.9-19 Susceptibilidad general del terreno en el Área de Influencia Directa AID	31
Figura 3.2.9-20 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno	33
Figura 3.2.9-21 Factor detonante por precipitación	35
Figura 3.2.9-22 Mapa factor detonante por precipitación	36
Figura 3.2.9-23 Mapa de factor detonante por sismicidad	38
Figura 3.2.9-24 Distribución de la zonificación geotécnica en el AI	40
Figura 3.2.9-25 Distribución de la zonificación geotécnica en el AID	40
Figura 3.2.9-26 Mapa de zonificación geotécnica a procesos erosivos y de remoción en masa	42

3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

3.2 MEDIO ABIÓTICO

3.2.9 Geotecnia

En atención a la solicitud de información adicional requerida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA el día 17 de agosto de 2018, en el marco del trámite de licencia ambiental, iniciado mediante auto 03652 de 04 de julio de 2018, referente al requerimiento veinte tres (23) *“Ajustar el Estudio de Impacto Ambiental (capítulos) de conformidad con la definición del área de influencia del proyecto para los medios abiótico, biótico y socioeconómico, y teniendo en cuenta la totalidad de los requerimientos anteriormente mencionados (caracterización ambiental, ambiental, demanda uso y aprovechamiento de recursos naturales, y evaluación de impactos ambientales)”*

De acuerdo con los Términos de Referencia para el tendido de líneas de transmisión LITER-1-01, se desarrolla a continuación la zonificación geotécnica del área de influencia del Proyecto Alférez – San Marcos.

3.2.9.1 Metodología

La zonificación considerada involucra la información de numerales anteriores asociados a las temáticas de geología, geomorfología, suelos, hidrología, hidrogeología y clima.

Es así como la zonificación geotécnica del Área de Influencia del Proyecto se definió mediante la división e identificación del terreno en zonas geotécnicamente homogéneas, calificadas de acuerdo con las condiciones de estabilidad que pueden afectar la construcción y operación del proyecto, por lo cual por medio de una herramienta SIG (Sistema de Información Geográfica), se definen áreas con características similares en cuanto a litología (geología), geomorfología, cobertura de la tierra, densidad de drenajes, densidad de fallas pendientes.

Por otra parte, al incorporar los factores detonantes precipitación y amenaza sísmica se obtiene la amenaza relativa (zonificación geotécnica) a la ocurrencia de procesos erosivos y de remoción en masa, calificada desde muy baja a muy alta, de acuerdo con el esquema metodológico modificado. (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 1999).

Para el desarrollo de la zonificación, se adelantaron las siguientes etapas (ver Figura 3.2.9-1).

Recopilación y análisis de información existente. En esta etapa de trabajo, se realizó el análisis de la información existente que se incorporó al modelo de análisis (información topográfica e información temática).

Elaboración del mapa base digital, escala 1:25.000 del IGAC; incluye curvas de nivel, drenajes, vías y zonas urbanas entre otras.

Estudio de las variables geo ambientales o factores del terreno. Análisis y cartografía de variables como geología, geomorfología, fallas, cobertura de la tierra, pendientes, intensidad de erosión, drenajes, precipitación y sismicidad.

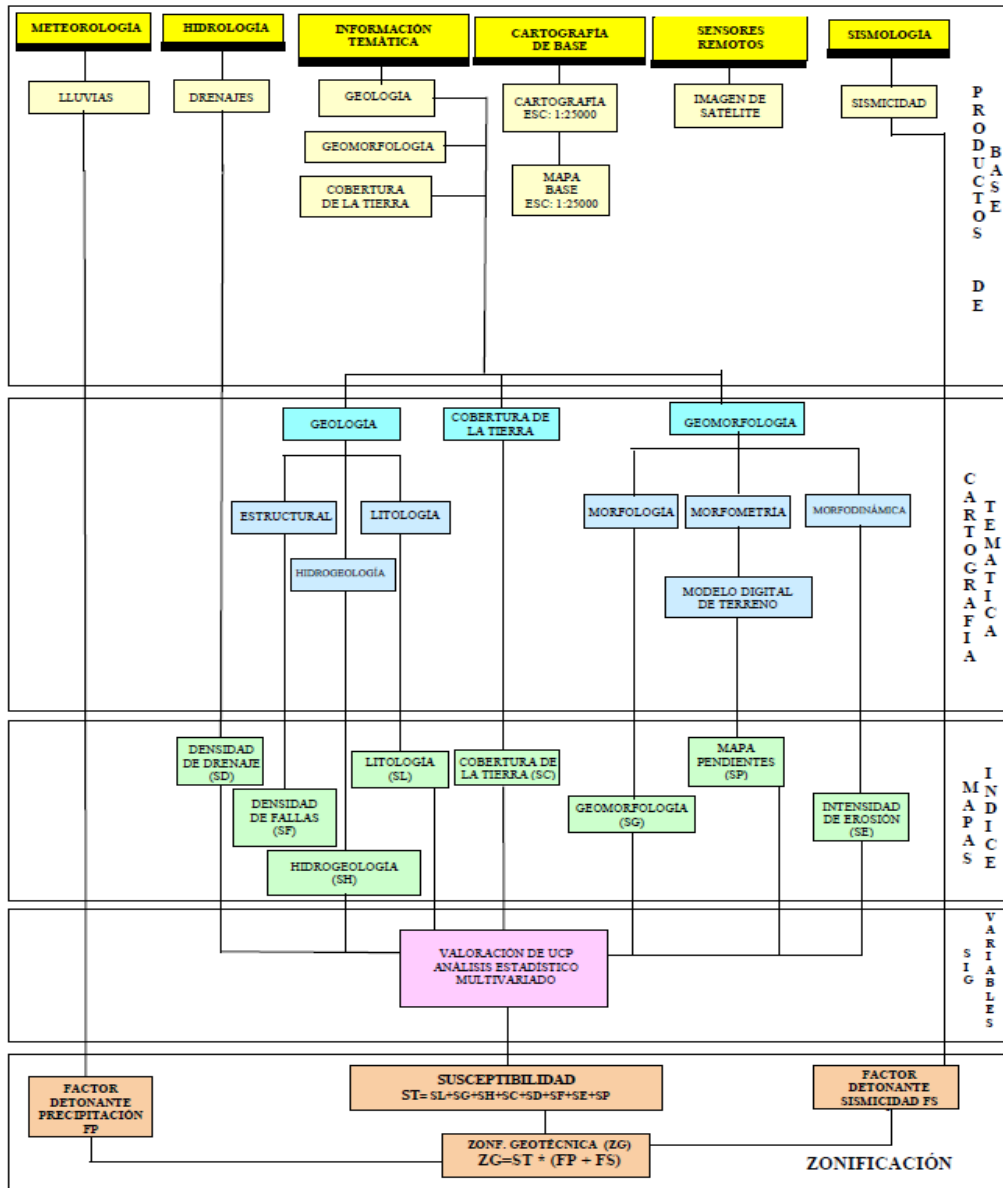
Implementación del SIG. Sobre el mapa base digital del Área de Influencia Indirecta se digitalizó la información temática georreferenciada.

Evaluación de variables. Se evaluó la información obtenida y se determinaron los pesos de las variables para la determinación de la estabilidad geotécnica.

Modelación de susceptibilidad. Con base en la calificación semi-cuantitativa de las Unidades Cartográficas de Parámetro (UCP), se realizó la modelación multivariada de variables en función de la susceptibilidad, para la obtención de la zonificación geotécnica. La susceptibilidad es el grado de propensión de un terreno a generar uno o varios procesos amenazantes.

Identificación de factores detonantes. Se consideraron como factores externos que pueden detonar procesos de remoción en masa, las variables de Precipitación y Amenaza Sísmica.

Figura 3.2.9-1 Diagrama metodológico para la obtención de la zonificación geotécnica



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

3.2.9.2 Zonificación Geotécnica

La zonificación geotécnica se establece en cinco categorías, las cuales reflejan la conjugación de las variables incorporadas al análisis, incluyendo los factores intrínsecos de precipitación y sismicidad.

Para el análisis de las variables geo-ambientales, se estableció un criterio semi-cuantitativo, donde se asignó a cada unidad de parámetro un valor de susceptibilidad de 1 a 5, como se presenta en la Tabla 3.2.9-1.

Tabla 3.2.9-1 Categoría y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables

Categoría de susceptibilidad	Peso
Muy baja	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy Alta	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

A continuación, se presentan los resultados de valoración de susceptibilidad para cada variable de análisis.

Para la modelación de variables, una vez establecidos semi-cuantitativamente los diferentes valores de susceptibilidad para cada UCP en cada una de las ocho variables que se incorporaron al análisis, se obtuvieron los mapas de susceptibilidad temática. Este proceso se realizó en un formato raster en el cual cada UCP está conformada por un conjunto de píxeles de igual valor.

Este valor asociado a un atributo cartográfico (nombre de la unidad cartográfica de parámetro), se recodificó o se reemplazó en un SIG (ArcGis10), por el valor asignado en las tablas de susceptibilidad, de tal forma que las imágenes mapas de susceptibilidad temática resultantes representan un rango de valores entre 1 y 5. A continuación se presentan los valores de susceptibilidad para cada una de las variables analizadas.

- **Litología (SL)**

Es uno de los principales factores a considerar en la determinación de la estabilidad, debido a que la génesis, composición y estructura de las rocas, incide en la susceptibilidad del terreno a la meteorización y desarrollo de procesos erosivos y/o procesos de remoción en masa.

Para el caso de la zona de estudio, se asignaron los siguientes valores de acuerdo con la litología características de cada una de las unidades litológicas como se puede ver en la Tabla 3.2.9-2.

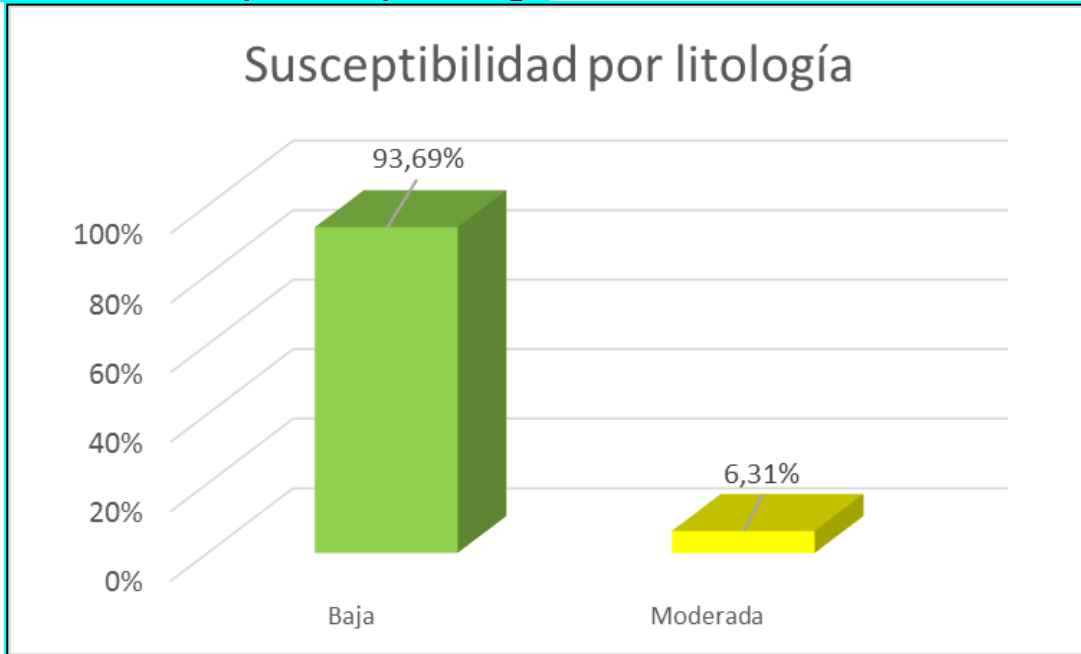
Tabla 3.2.9-2 Valores de susceptibilidad por litología

Símbolo	Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso
Qal	Depósitos Aluviales	2
Qca	Conos Aluviales	3
Kv	Formación Volcánica	3
Kvs	Formación Volcánica (Sedimentitas)	2
Qt	Depósitos de Terraza	2

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-2 se muestra que el 93,69% (6741,16 ha) del Área de Influencia Indirecta presenta susceptibilidad Baja, el 6,31% (454,02) del AII presenta susceptibilidad moderada.

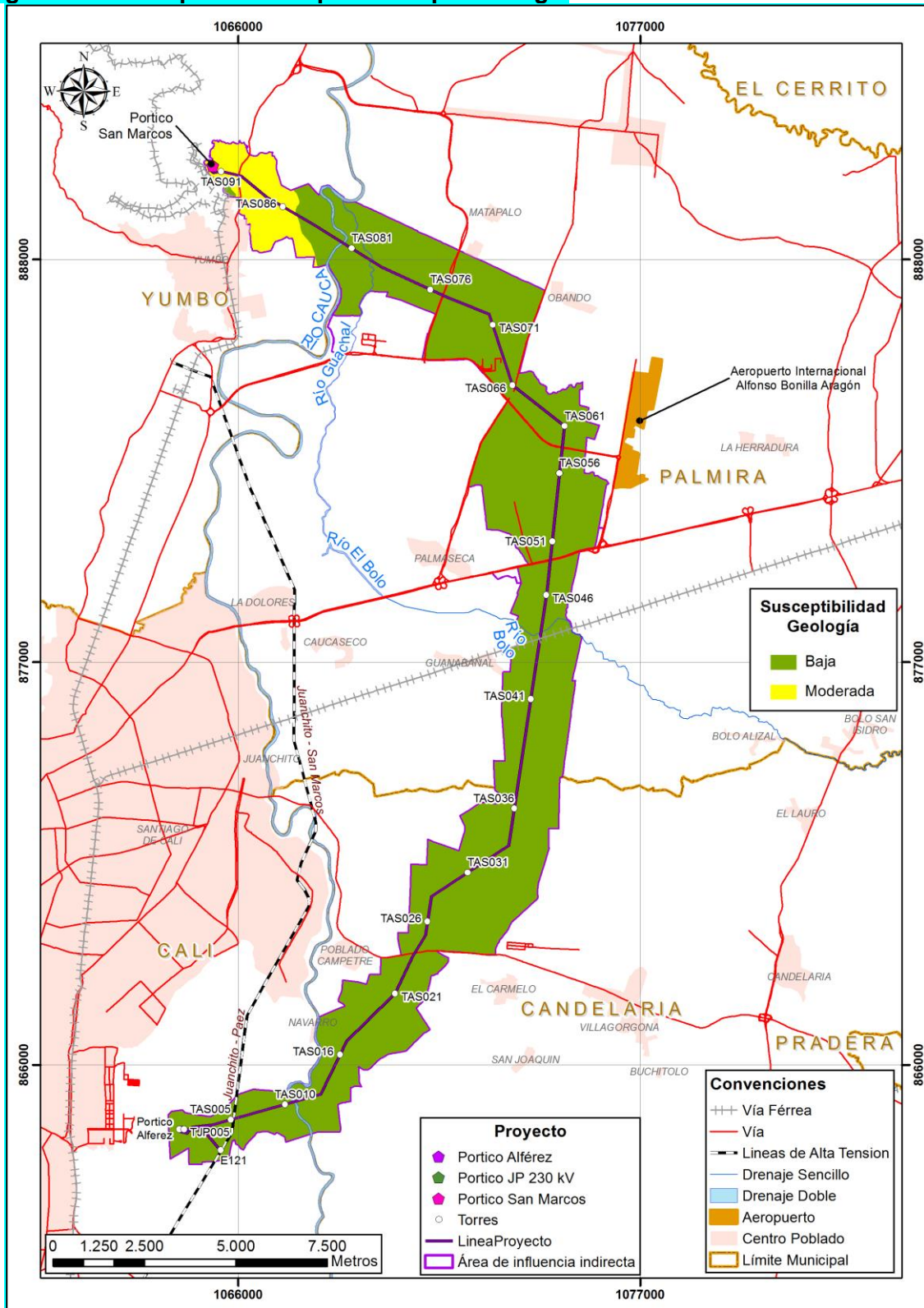
Figura 3.2.9-2 Susceptibilidad por litología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-3 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el Área de Influencia Indirecta de acuerdo con la sectorización por litología.

Figura 3.2.9-3 Mapa de susceptibilidad por litología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

- **Geomorfología (SG)**

La calificación de susceptibilidad para las diferentes unidades geomorfológicas se infiere sobre la base de dos factores que favorecen la remoción, los cuales corresponden a la topografía, entendida como la pendiente del terreno y los aspectos edáficos, representados por los procesos erosivos de los suelos, que se presentan de forma generalizada o focalizada.

La remoción en masa incluye de forma integral un conjunto de factores adicionales que favorecen su generación, los cuales están relacionados con la naturaleza de los materiales, clima y vegetación. Sin embargo, no son tenidos en cuenta para esta calificación de susceptibilidad desde esta perspectiva, pero implícitamente son evaluados desde otras temáticas que entran en concurso para la zonificación.

Con base en lo anterior y sobre la base de los dos factores caracterizados en las unidades geomorfológicas (pendiente del terreno y erosión), se estableció la susceptibilidad del área de influencia del proyecto frente a los procesos de remoción en masa.

Las unidades geomorfológicas calificadas de baja susceptibilidad corresponden a relieves planos a ligeramente inclinado, sin presencia de procesos erosivos o con un grado de erosión ligero, mientras que las zonas con mayor susceptibilidad corresponden a las unidades con relieves moderados a fuertemente escarpados, con procesos erosivos de mayor intensidad.

En la Tabla 3.2.9-3 se presenta la calificación de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, de acuerdo con las unidades geomorfológicas en el Área de Influencia Indirecta - All.

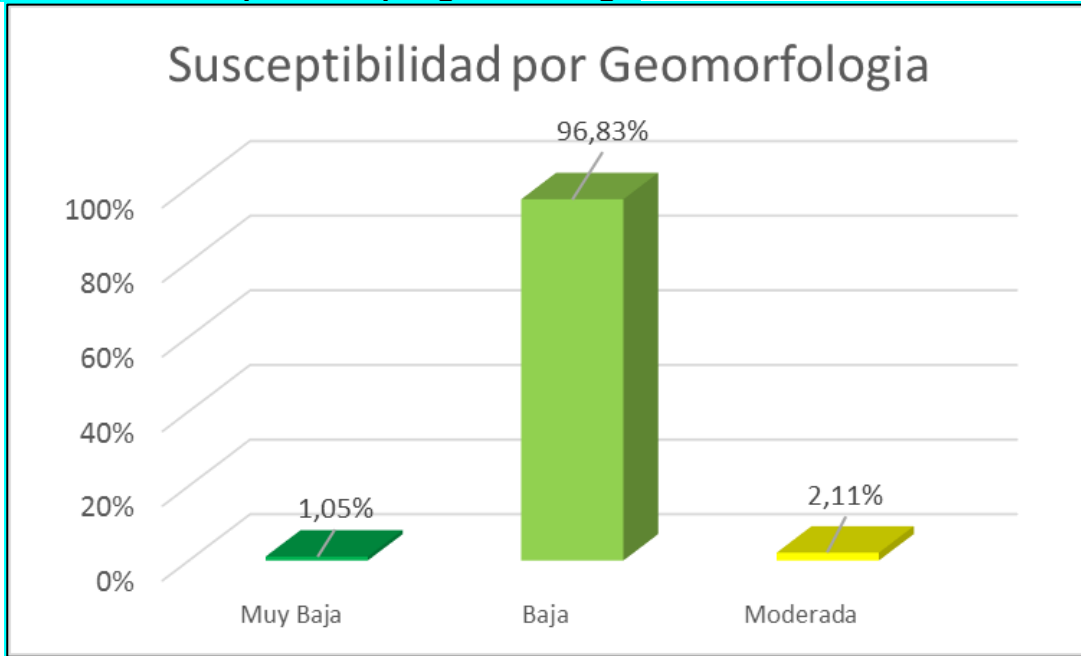
Tabla 3.2.9-3 Valores de susceptibilidad por geomorfología

Símbolo	Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso
Faar	Abanico Aluvial reciente	2
Faas	Abanico Aluvial subreciente	2
Faca	Abanico coluvio aluvial	3
Fpi	Plano o llanura de inundación	2
Fva	Vallecito	2
Fta	Terraza de acumulación	3
Dmo	Montículos y ondulaciones denudacionales	3
Fca	Cauce Aluvial	1

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

La Figura 3.2.9-4 muestra que el 1,05% (75,87 ha) del Área de Influencia Indirecta presenta susceptibilidad Muy Baja, el 96,83% (6967,27 ha) presenta susceptibilidad baja y el 2,11% (152,05 ha) presenta susceptibilidad moderada.

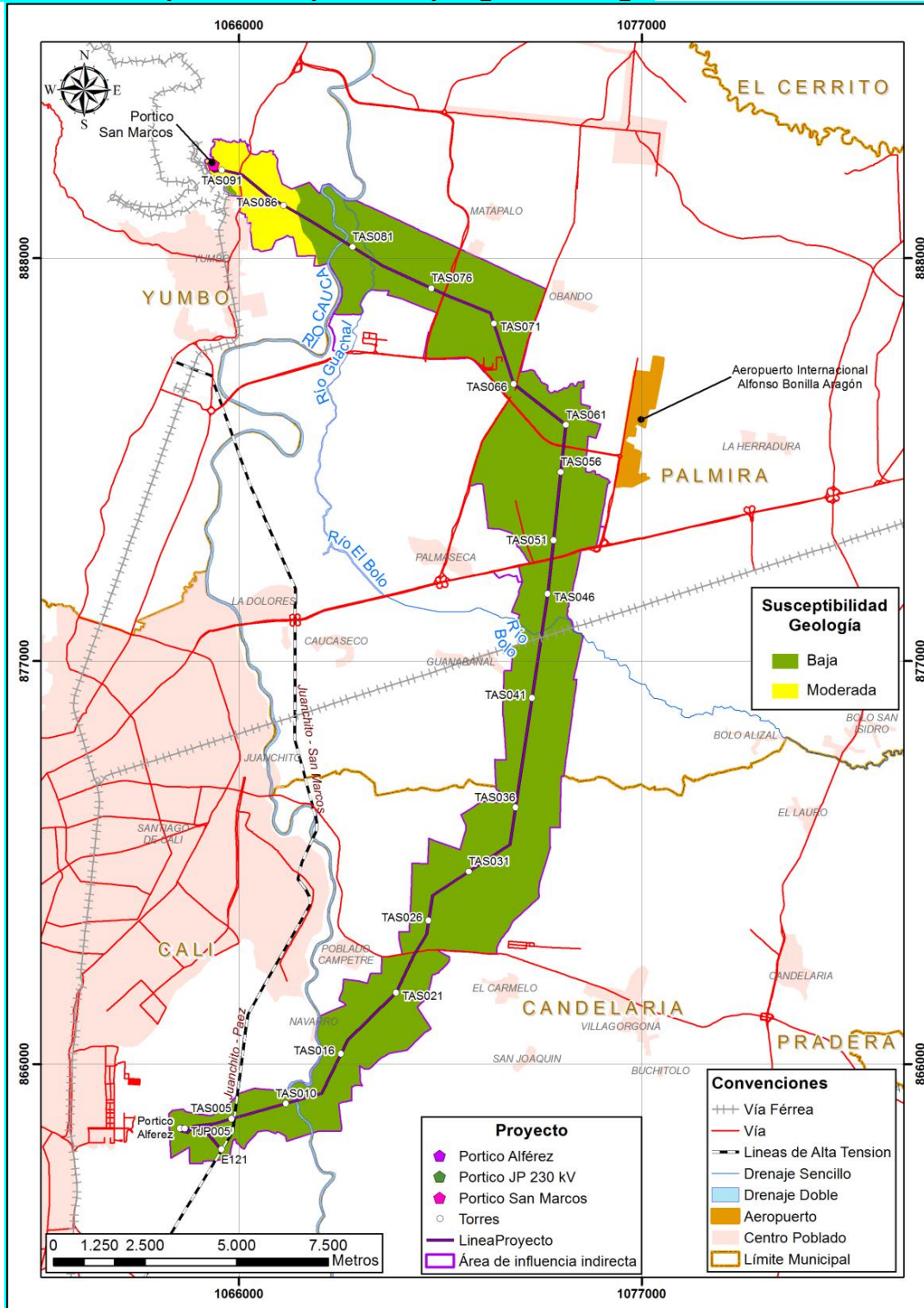
Figura 3.2.9-4 Susceptibilidad por geomorfología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-5 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el Área de Influencia Indirecta de acuerdo con la sectorización por geomorfología.

Figura 3.2.9-5 Mapa de susceptibilidad por geomorfología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

- **Hidrogeología (SH)**

Las diferentes unidades hidrogeológicas se agrupan conformando unidades litológicas de acuerdo con su productividad, capacidad para almacenar y transmitir aguas subterráneas y valorar la posible afectación del recurso hídrico subterráneo, frente a las actividades que se deriven de la construcción y operación de la línea de transmisión. De acuerdo con la clasificación de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrogeológico, se considera los siguientes tipos:

Acuíferos: Estrato o formación geológica que permite el almacenamiento y circulación del agua por sus poros y/o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrar materiales muy variados como gravas, calizas fracturadas, areniscas porosas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas. Estas unidades son económicamente explotables.

Acuicludos: Formación 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 de arcillas de cualquier origen.

Acuitardos: Formación geológica que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante en ciertos casos.

Acuífugos: Aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico que no esté fisurado o unas rocas metamórficas sin meteorización ni fracturación, estos se consideran impermeables.

En la Tabla 3.2.9-4 se muestra los valores de susceptibilidad por hidrogeología, junto con el peso.

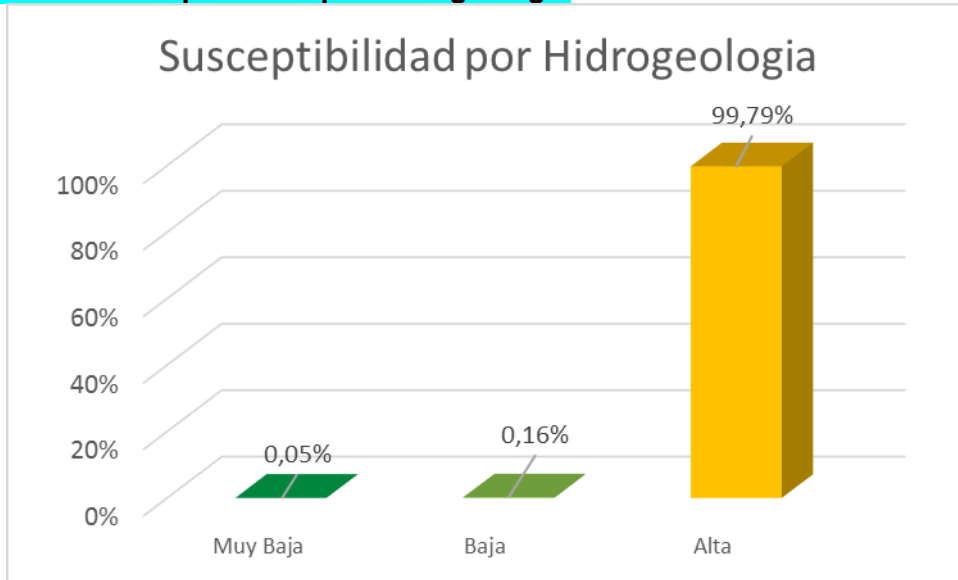
Tabla 3.2.9-4 Valores de susceptibilidad por hidrogeología

Unidad Cartográfica de parámetro		Nombre y Símbolo	Peso
Sedimentos y rocas con flujo intergranular	Acuíferos de muy Alta productividad, capacidad específica mayor de 5,0 l/s/m	Depósitos Aluviales (Qal)	4
		Conos Aluviales (Qca)	
		Terrazas (Qt)	
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea	Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Formación Volcánica (Sedimentitas) (Kvs)	2
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea	Acuíferos con muy baja a ninguna productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, comportamiento Acuífugos	Formación Volcánica (Kv)	1

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-6 muestra que el 0,05% (3,32 ha) presenta una susceptibilidad muy baja, el 0,16% (11,56 ha) presenta susceptibilidad baja y el 99,79% (7180,31 ha) presenta una susceptibilidad alta.

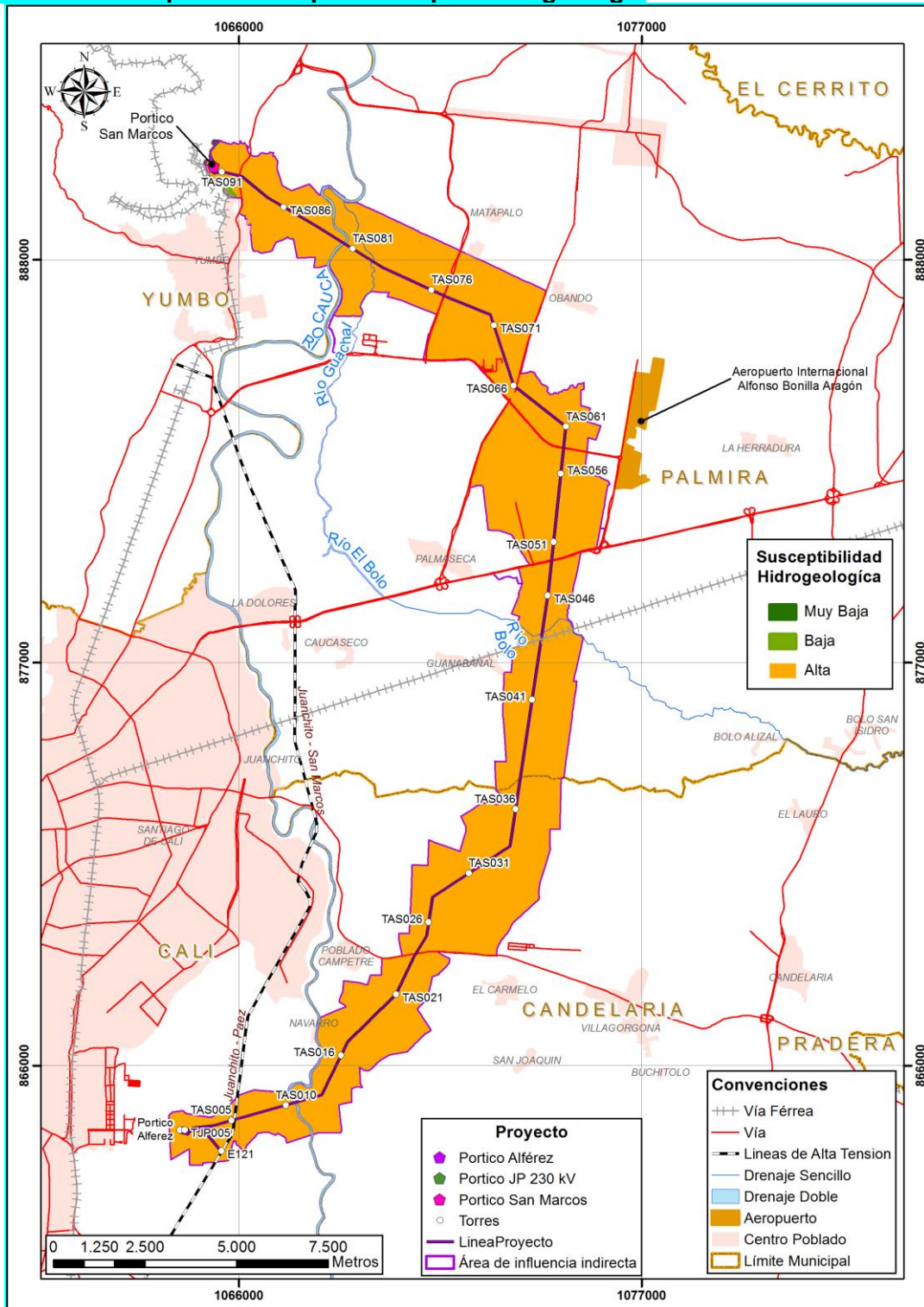
Figura 3.2.9-6 Susceptibilidad por hidrogeología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-7 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masas para el Área de Influencia Indirecta de acuerdo con la sectorización por hidrogeología.

Figura 3.2.9-7 Mapa de susceptibilidad por hidrogeología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

- **Cobertura de la tierra (SC)**

Las coberturas vegetales son elementos naturales de protección del suelo contra la erosión; según Roldan (2.005; citado por Lianes, 2.008), la vegetación juega un papel muy importante en el proceso de erosión hídrica, pues controla la energía de las gotas de lluvia, mejora la capacidad de infiltración del suelo y disminuye la escorrentía. Los componentes aéreos como hojas y tallos absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de esta manera, su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo.

De igual forma, los componentes subterráneos, como los sistemas radiculares, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 1.997; citado por Lianes, 2.008); de este modo, la cantidad y calidad de la cobertura vegetal (protección vertical) disminuye notablemente los procesos erosivos (Marchamalo, 2.004; citado por Lianes, 2.008).

Por lo anterior, zonas que presentan coberturas bosque de galería, instalaciones recreativas, algunos cultivos y pastos arbolados presentan menor susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, que aquellas coberturas que están desprovistas de vegetación o con vegetación muy débil e incipiente. En la Tabla 3.2.9-5 se muestran los valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra.

Tabla 3.2.9-5 Valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra

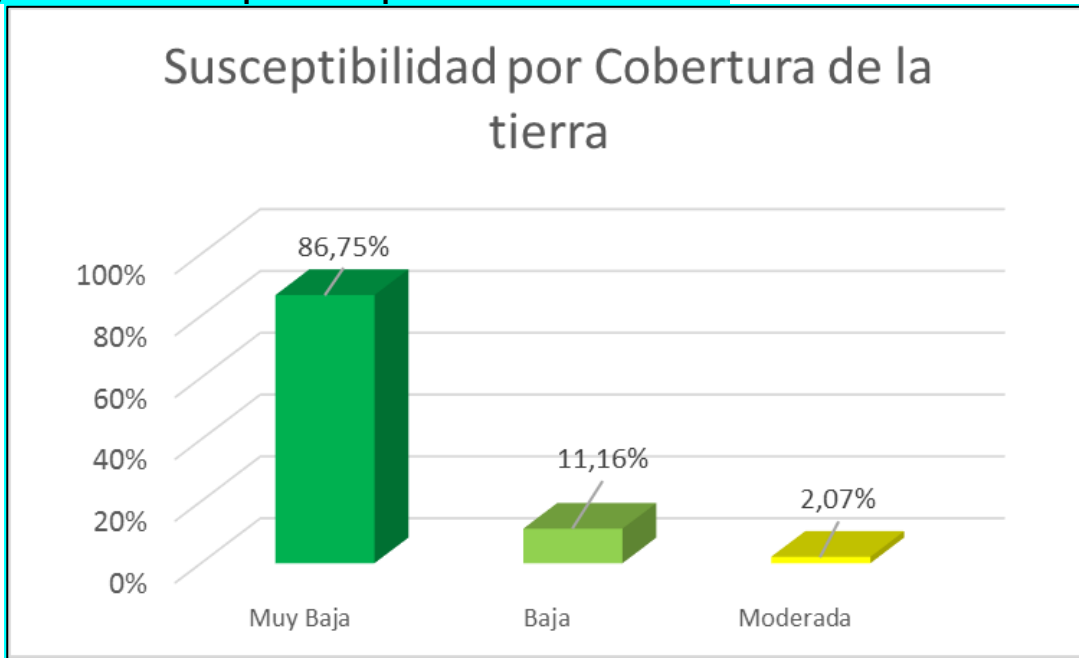
Corine Land Cover	Unidad Cartográfica de parámetro	Peso
112	Tejido urbano discontinuo	2
142	Instalaciones recreativas	1
231	Pastos limpios	3
232	Pastos arbolados	2
233	Pastos enmalezados	2
241	Mosaico de cultivos	3
242	Mosaico de pastos y cultivos	3
245	Mosaico de cultivos con espacios naturales	2
314	Bosque de galería y ripario	1
511	Ríos (20 m)	2
513	Canales	2
514	Cuerpos de agua artificiales	2
1131	Vivienda Rural Dispersa	2
1211	Zonas industriales	2
1222	Red ferroviaria y terrenos asociados	2
1422	Áreas deportivas	2
2111	Otros cultivos transitorios	2
2122	Maíz	2
2212	Caña	1
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	2
3231	Vegetación secundaria alta	2

Corine Land Cover	Unidad Cartográfica de parámetro	Peso
3232	Vegetación secundaria baja	2
14222	Estadio	2
14232	Fincas recreativas	2
121112	Avicultura	2
122111	Vía Pavimentada	1
122112	Vía Sin Pavimentar	2
311211	Guadua	2

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

La Figura 3.2.9-8 muestra que el 2,07% (141,22 ha) presenta una susceptibilidad moderada, el 11,16% (803,52 ha) presenta una susceptibilidad baja y el 86,75% (6242,45 ha) presenta una susceptibilidad muy baja.

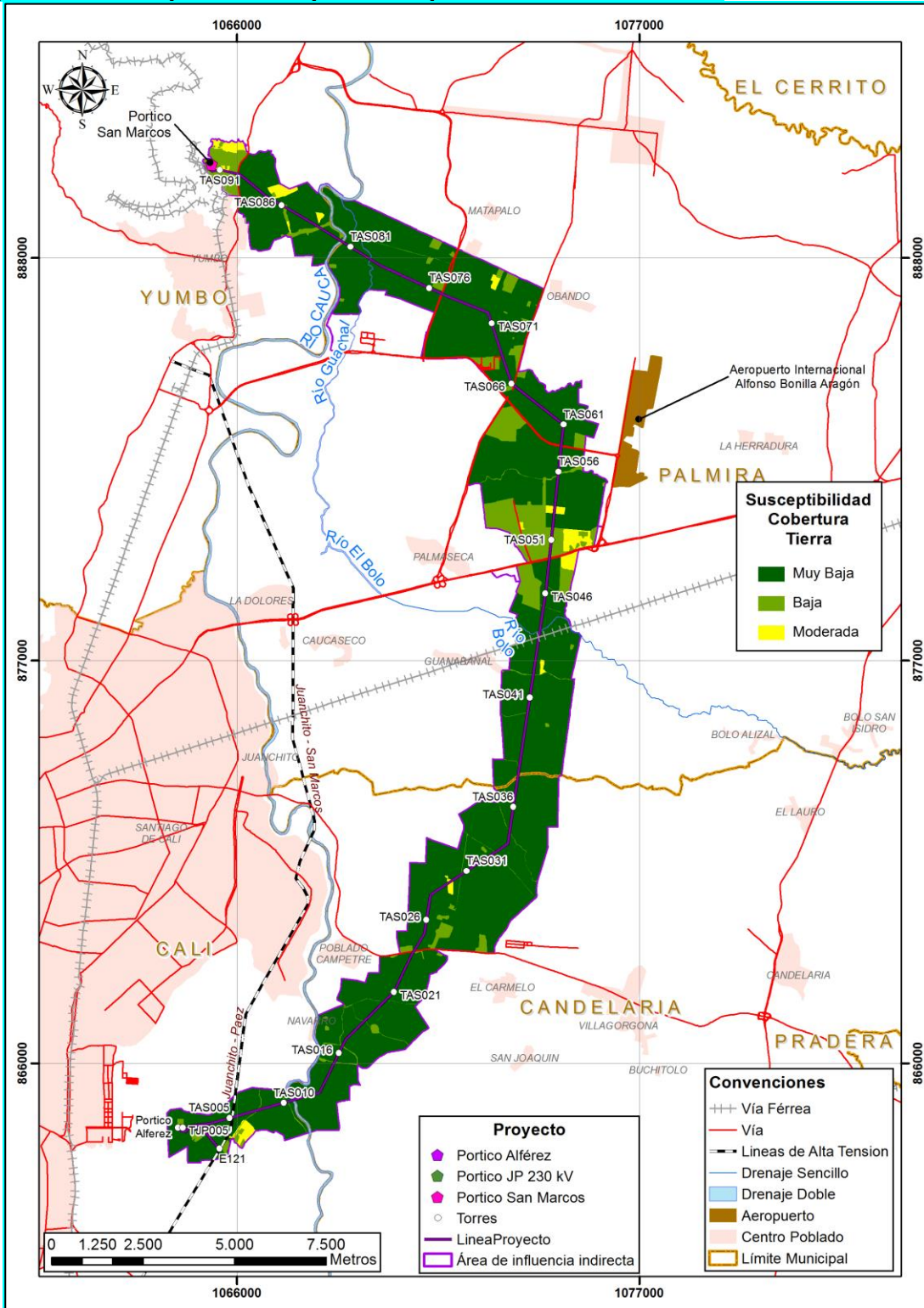
Figura 3.2.9-8 Susceptibilidad por cobertura de la tierra



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-9 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masas para el Área de Influencia Indirecta de acuerdo con la sectorización por cobertura de la tierra.

Figura 3.2.9-9 Mapa de susceptibilidad por cobertura de la tierra



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

- **Densidad de drenajes (SD)**

Para hacer la valoración de la susceptibilidad por densidad de drenajes se realizó la ponderación de cada tipo de drenaje con base en clasificación de importancia y sus dimensiones físicas (ver Tabla 3.2.9-6).

Tabla 3.2.9-6 Ponderación de drenajes según su tipo

Tipo de drenajes	Peso
Río Cauca	5
Río Guachal	2
Drenajes Sencillos	2

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

Posteriormente, mediante el procesamiento de la información en SIG se hizo el cálculo de la densidad de drenajes por unidad de área (km/km²), estableciendo un radio de influencia de 500 m.

Los valores obtenidos de densidad de drenajes fueron ponderados multiplicándolos por el valor asociado a cada tipo de drenaje con base en la clasificación de la Tabla 3.2.9-6. El resultado de esta operación permitió clasificar cada punto del mapa dentro de tres categorías de la siguiente manera (ver Tabla 3.2.9-7).

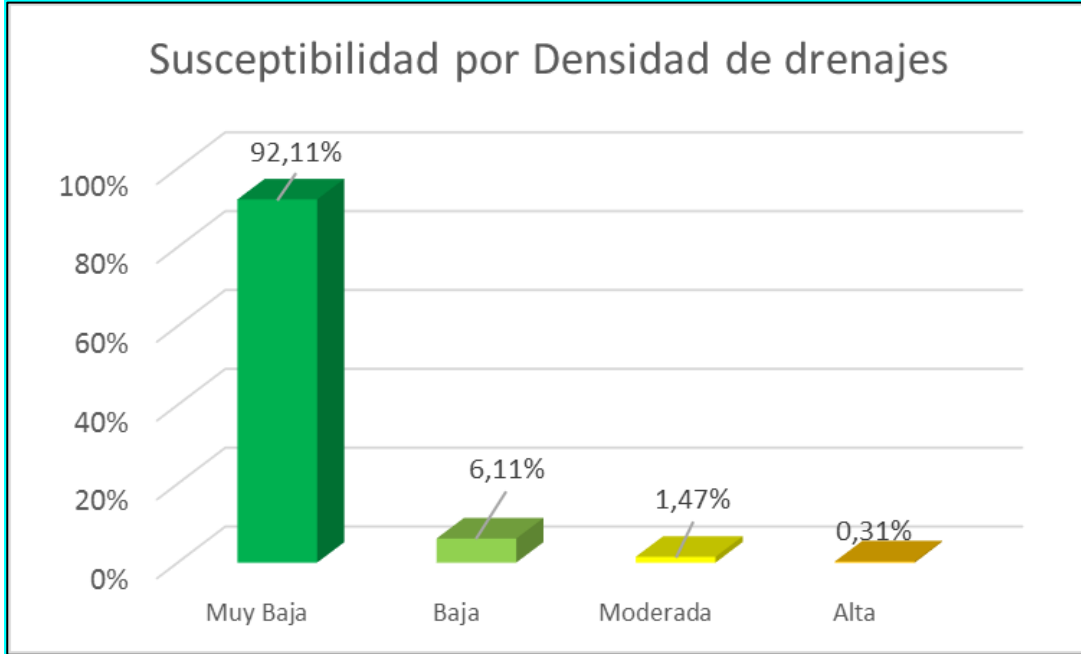
Tabla 3.2.9-7 Valores de susceptibilidad por densidad de drenajes

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) (m/m ²)	Peso
< 8	1
8 - 16	2
16 - 24	3
24 - 32	4
> 32	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-10 se muestra que el 92,11% (6627,53 ha) del Área de Influencia Indirecta presenta susceptibilidad muy baja, el 6,11% (439,72 ha) presenta susceptibilidad baja, el 1,47% (105,67 ha) presenta susceptibilidad moderada y el 0,31% (22,26 ha) presenta susceptibilidad alta.

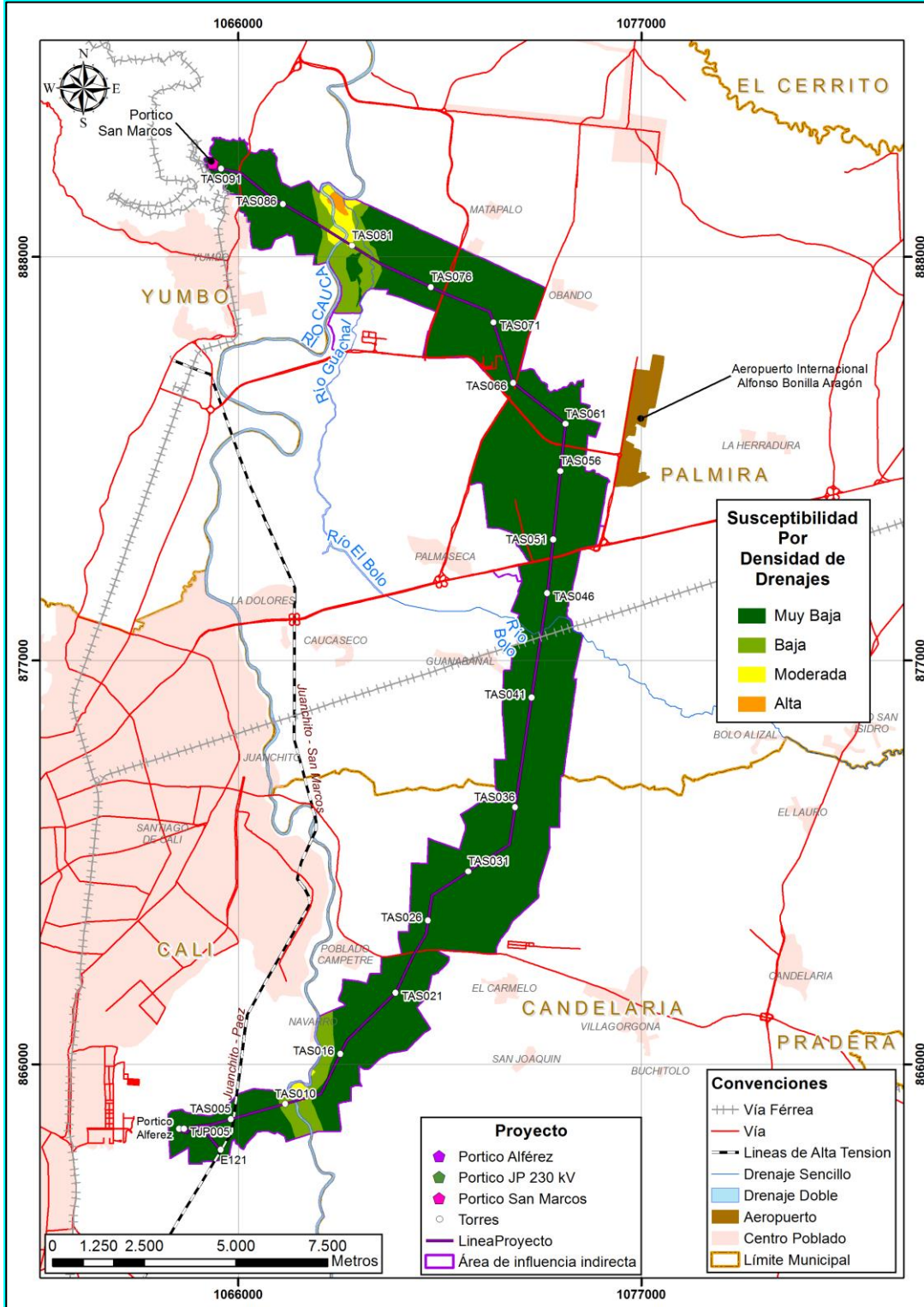
Figura 3.2.9-10 Susceptibilidad por densidad de drenajes



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-11 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masas para el Área de Influencia Indirecta de acuerdo con la sectorización por densidad de drenajes.

Figura 3.2.9-11 Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

- **Densidad de Fallas (SF)**

El estado de fracturación de las rocas depende de la presencia y magnitud de las fallas geológicas, fracturas y sistemas de diaclasamiento; las cuales permiten en los macizos rocosos el desarrollo de procesos de meteorización de las rocas, y desarrollo de zonas de debilidad de las mismas, que las hacen más susceptibles a fallamiento e inestabilidad del terreno. Para la calificación en el análisis de susceptibilidad se consideraron los rasgos estructurales que afectan la zona de estudio reportados en la cartografía del Servicio Geológico Colombiano (SGC) antiguo INGEOMINAS y en la cartografía de U.S. Geological Survey (USGS).

La calificación se estableció dando el valor de baja susceptibilidad a rasgos estructurales identificados como inciertos. En la Tabla 3.2.9-8 se muestran las calificaciones dadas a los respectivos tipos de fallas teniendo en cuenta la cronología de cada falla y su actividad en la actualidad.

Tabla 3.2.9-8 Ponderación de fallas según su tipo

Tipo de fallas	Ponderación
Fallas Cubierta	2
Falla definida por geofísica	1

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

Posteriormente, mediante el procesamiento de la información en SIG se hizo el cálculo de la densidad de fallas por unidad de área (m/m^2), estableciendo un radio de influencia de 1 km. El resultado de esta operación permitió clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías de la siguiente manera. (Ver Tabla 3.2.9-9).

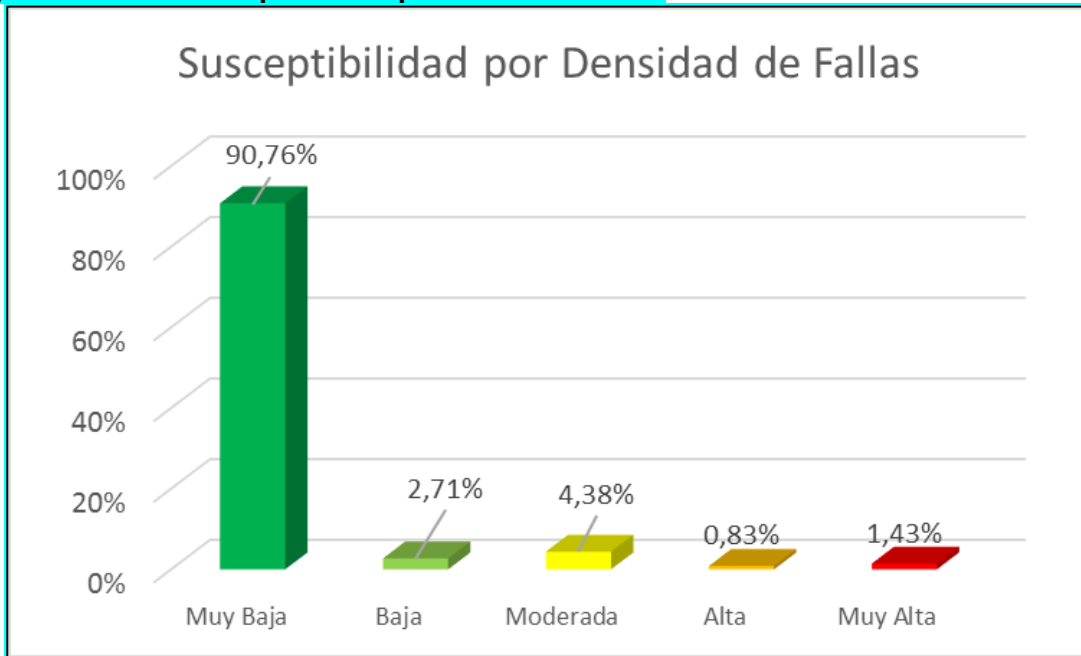
Tabla 3.2.9-9 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) (m/m^2)	Peso
< 0,9	1
0,9 - 2,4	2
2,4 - 3,3	3
3,3 - 4,0	4
> 4	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-12 se muestra que el 90,76% (6530,31 ha) del Área de Influencia Indirecta presentan susceptibilidad muy baja, el 2,71% (187,46 ha) de susceptibilidad baja, 4,38% (314,96 ha) de susceptibilidad moderada, el 0,83% (59,81 ha) de susceptibilidad Alta y solo el 1,43% (102,64 %) de susceptibilidad muy alta.

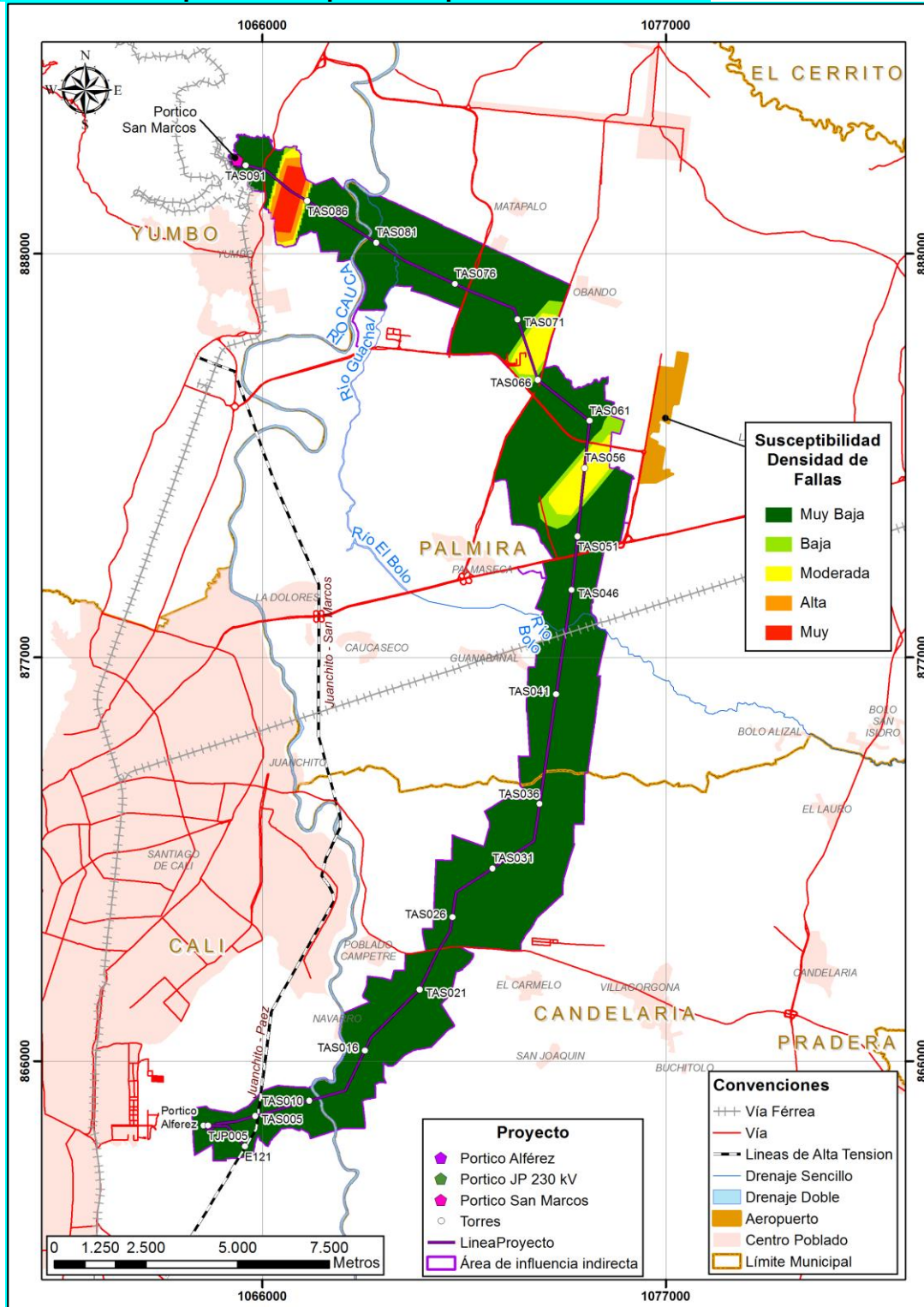
Figura 3.2.9-12 Susceptibilidad por densidad fallas



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-13 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masas para el Área de Influencia Indirecta de acuerdo con la sectorización por densidad de fallas.

Figura 3.2.9-13 Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

- **Pendientes (SP)**

El grado de inclinación de las laderas naturales, favorece o disminuye la resistencia al corte de los diferentes materiales que conforman los taludes sobre el área de influencia del proyecto. Se establecieron cinco categorías, donde a las pendientes escarpadas y muy escarpadas se les asignó el peso más alto, mientras que a los terrenos ligeramente planos y planos se les asignó el peso más bajo, ver Tabla 3.2.9-10.

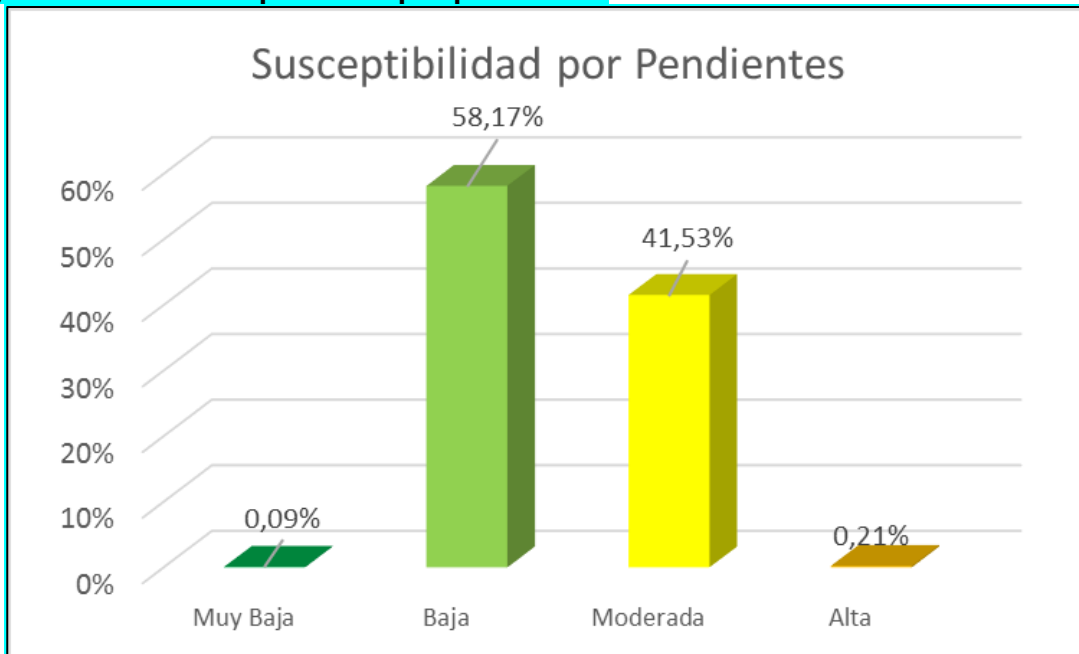
Tabla 3.2.9-10 Valores de susceptibilidad por pendientes

Unidad Cartográfica de Parámetro		Peso
1 - 3%	Plano a Ligeramente Plano	1
3 - 7%	Ligeramente Inclinado	2
7 - 12%	Moderadamente Inclinado	3
12 - 25%	Fuertemente Inclinado	3
25 - 50%	Ligeramente Escarpado o Ligeramente Empinado	4
50 – 75%	Moderadamente escarpada o moderadamente empinada	4
75 – 100%	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	5
> 100%	Totalmente escarpada	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-14 muestra que el 0,21% (15,37 ha) del Área de Influencia Indirecta presenta susceptibilidad alta, el 41,53% (2987,96 ha) presenta susceptibilidad moderada, el 58,17% presenta susceptibilidad baja y el 0,09% presenta susceptibilidad muy baja.

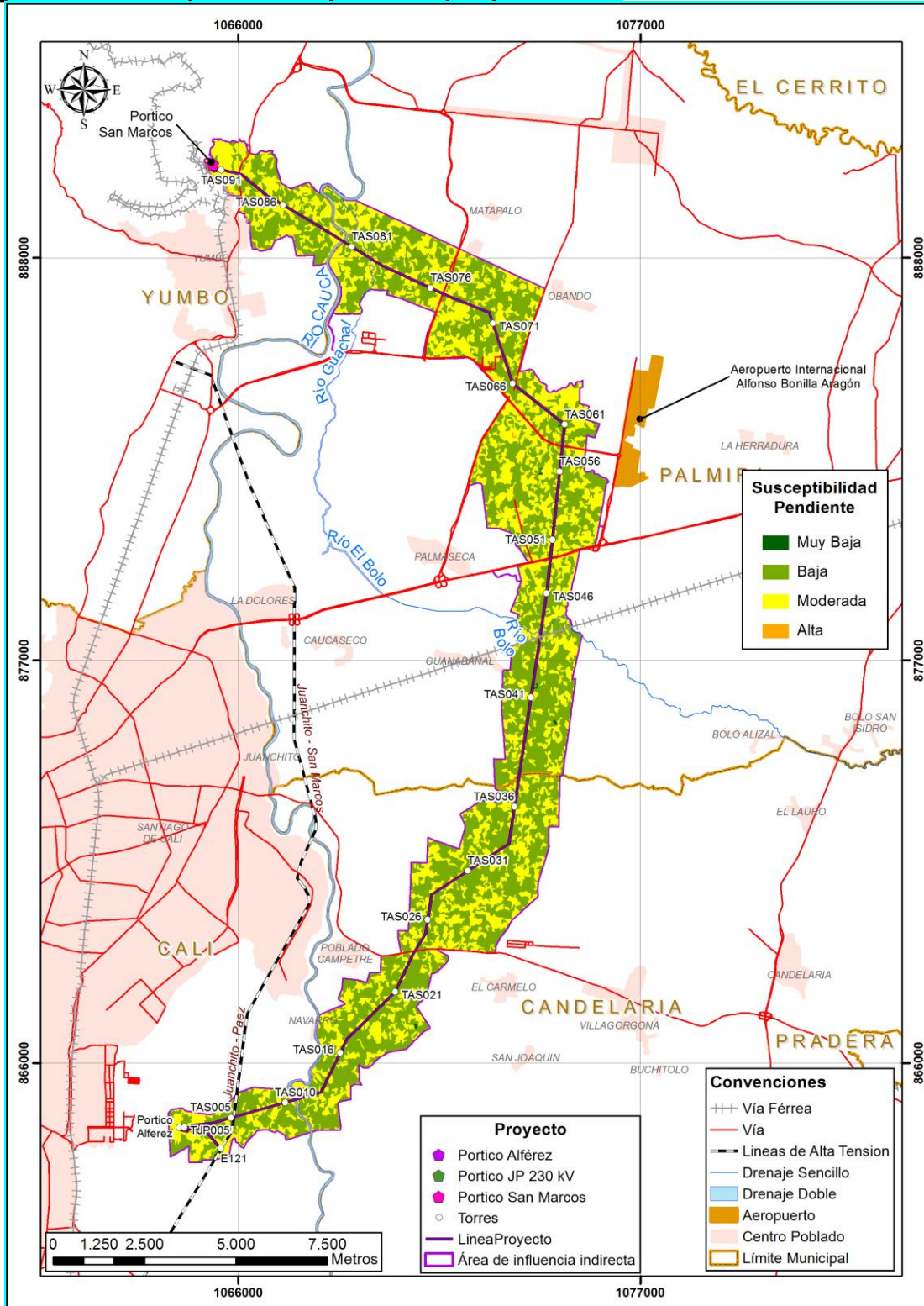
Figura 3.2.9-14 Susceptibilidad por pendientes



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-15 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masas para el Área de Influencia Indirecta de acuerdo con la sectorización por pendientes.

Figura 3.2.9-15 Mapa de susceptibilidad por pendientes



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

- **Intensidad de erosión (SE)**

Teniendo en cuenta las unidades de suelo y la susceptibilidad a la erosión de cada unidad ya que el área se encuentra cubierta por cultivos extensivos de caña de azúcar además de pendiente, no permite la generación de procesos erosivos a gran escala

Los valores de susceptibilidad a la erosión se pueden ver en la Tabla 3.2.9-11.

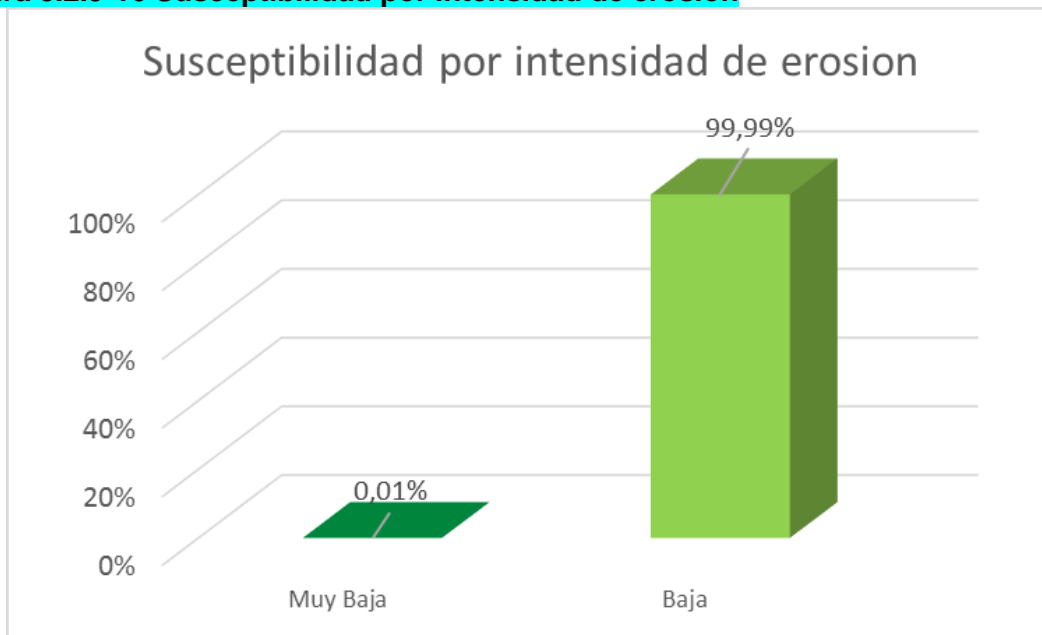
Tabla 3.2.9-11 Valores de susceptibilidad por intensidad de erosión

Unidad cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso
Baja	2
Moderada	3
Alta	4

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-16 se muestra que el 99,99% (7194,74 ha) del Área de Influencia Indirecta presenta susceptibilidad baja y el 0,01% (0,45 ha) susceptibilidad muy baja.

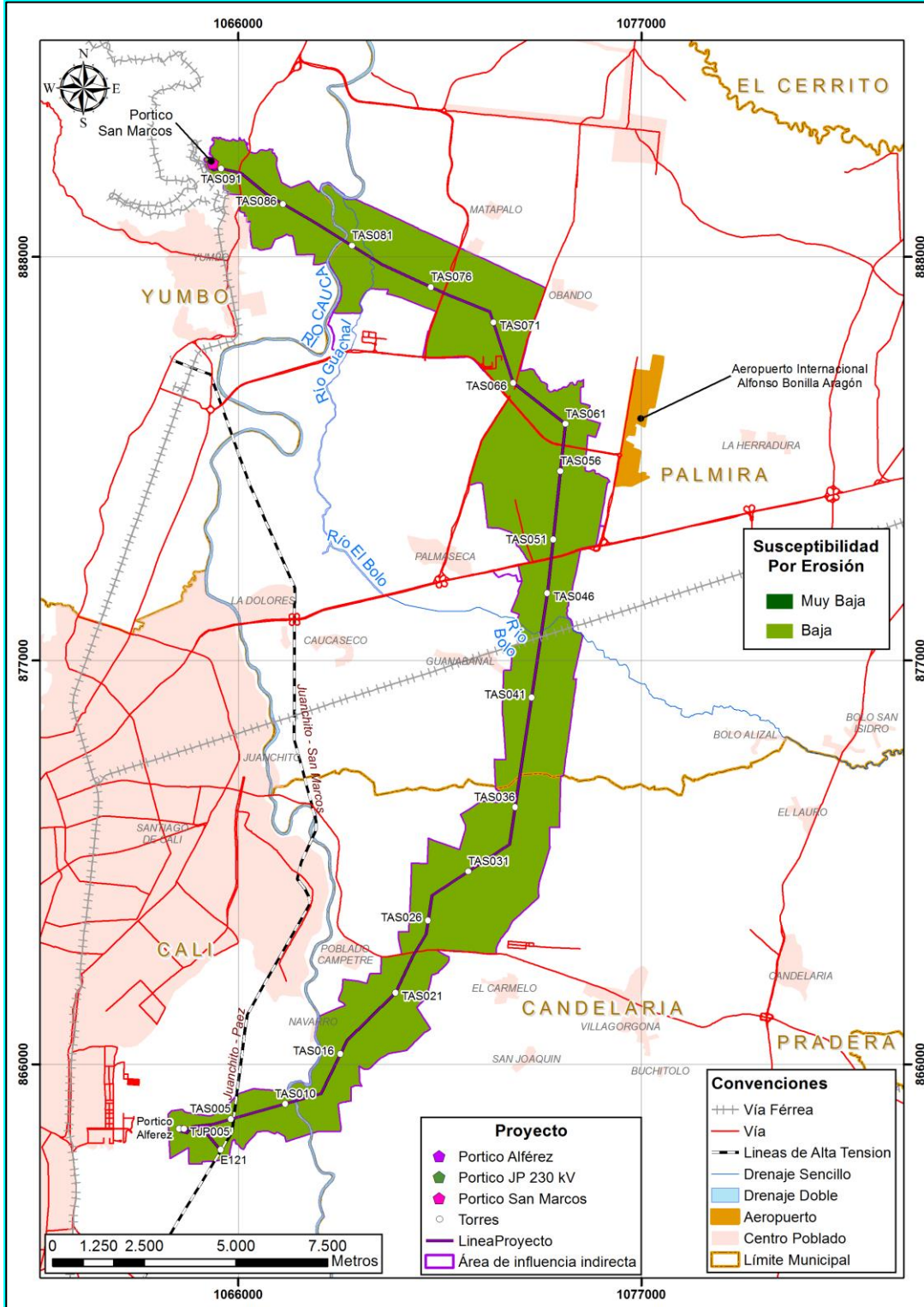
Figura 3.2.9-16 Susceptibilidad por intensidad de erosión



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-17 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masas para el Área de Influencia Indirecta de acuerdo con la sectorización por intensidad de erosión.

Figura 3.2.9-17 Mapa de susceptibilidad por intensidad de erosión



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

- **Susceptibilidad General del Terreno (ST)**

Durante el proceso de evaluación de la amenaza por procesos erosivos y de remoción en masa, se elaboró un mapa de susceptibilidad general del terreno mediante un análisis estadístico multivariado (Sistema de Evaluación Numérica), en el cual son sumados digitalmente los ocho mapas de susceptibilidad (Superposición de Mapas e Integración Espacial de Información), que representan los factores intrínsecos que condicionan la generación y reactivación de estos procesos. Este procedimiento se realizó utilizando el SIG ArcGis10, así:

$$ST = SL + SG + SH + SC + SD + SF + SP + SE$$

Dónde:

ST = Susceptibilidad del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa.

SL = Susceptibilidad del parámetro litología.

SG = Susceptibilidad del parámetro geomorfología.

SH = Susceptibilidad del parámetro hidrogeología.

SC = Susceptibilidad del parámetro cobertura de la tierra.

SD = Susceptibilidad del parámetro densidad de drenajes.

SF = Susceptibilidad del parámetro densidad de fallas.

SP = Susceptibilidad del parámetro pendiente.

SE = Susceptibilidad del parámetro intensidad de erosión.

Teniendo en cuenta que existen ocho variables de análisis, los valores sumatorios varían entre 14 y 28, por lo cual se establecen los siguientes intervalos para la categorización del mapa de susceptibilidad general del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa, como se muestra a continuación en la Tabla 3.2.9-12.

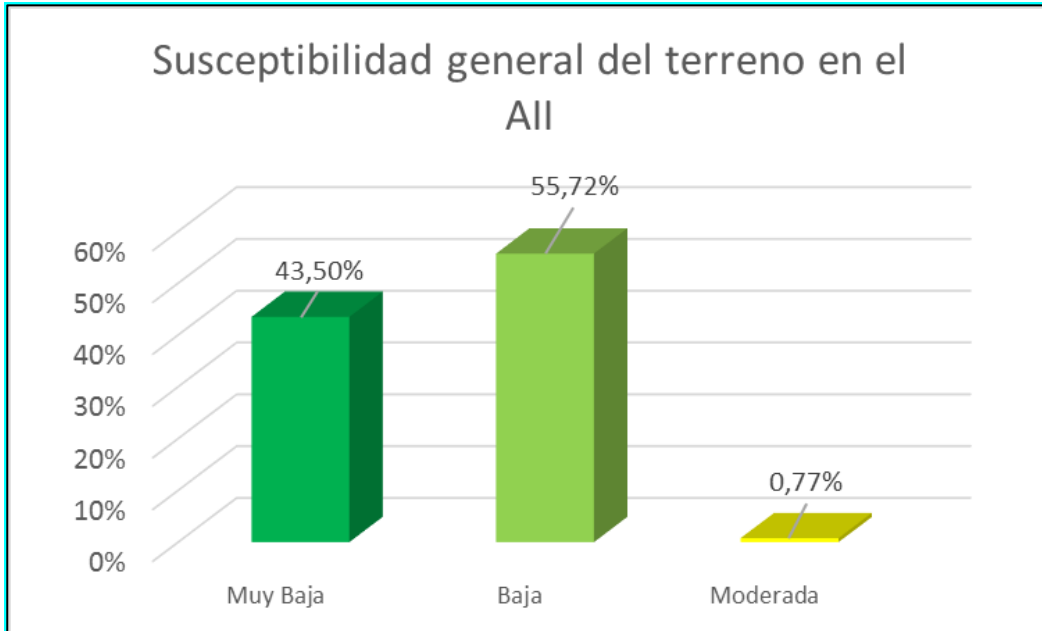
Tabla 3.2.9-12 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno

Intervalos	Peso	Categorías de susceptibilidad
<16	1	Muy Baja
16-20	2	Baja
21-24	3	Moderada
25-26	4	Alta
>26	5	Muy Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-18 se observa la distribución de las categorías de susceptibilidad general del terreno dentro del Área de Influencia Indirecta.

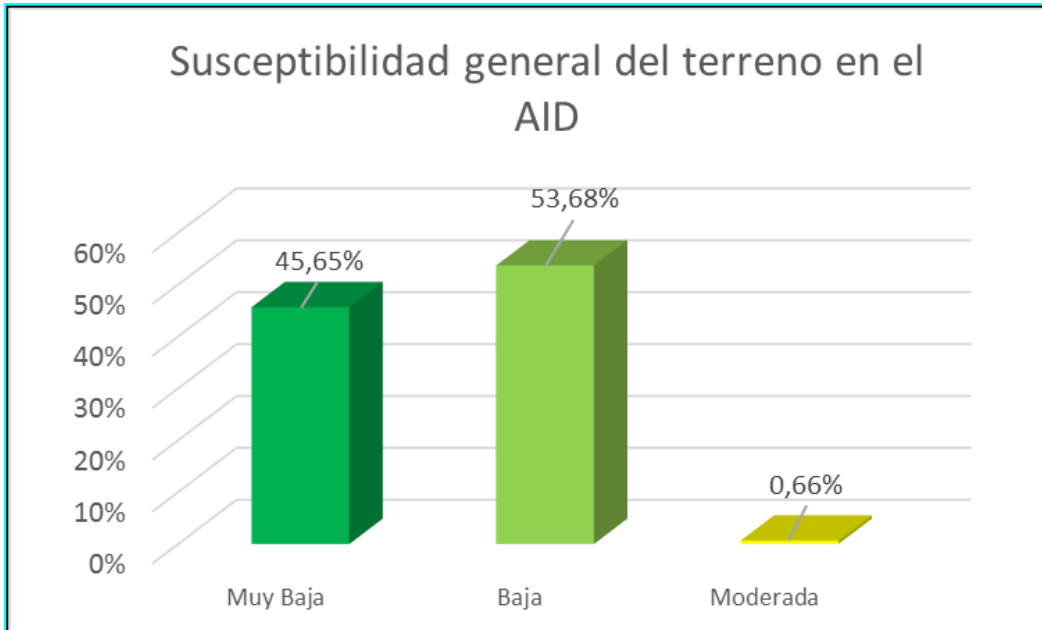
Figura 3.2.9-18 Susceptibilidad general del terreno en el Área de Influencia Indirecta AII



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-19 se observa la distribución de las categorías de susceptibilidad general del terreno dentro del Área de Influencia Directa.

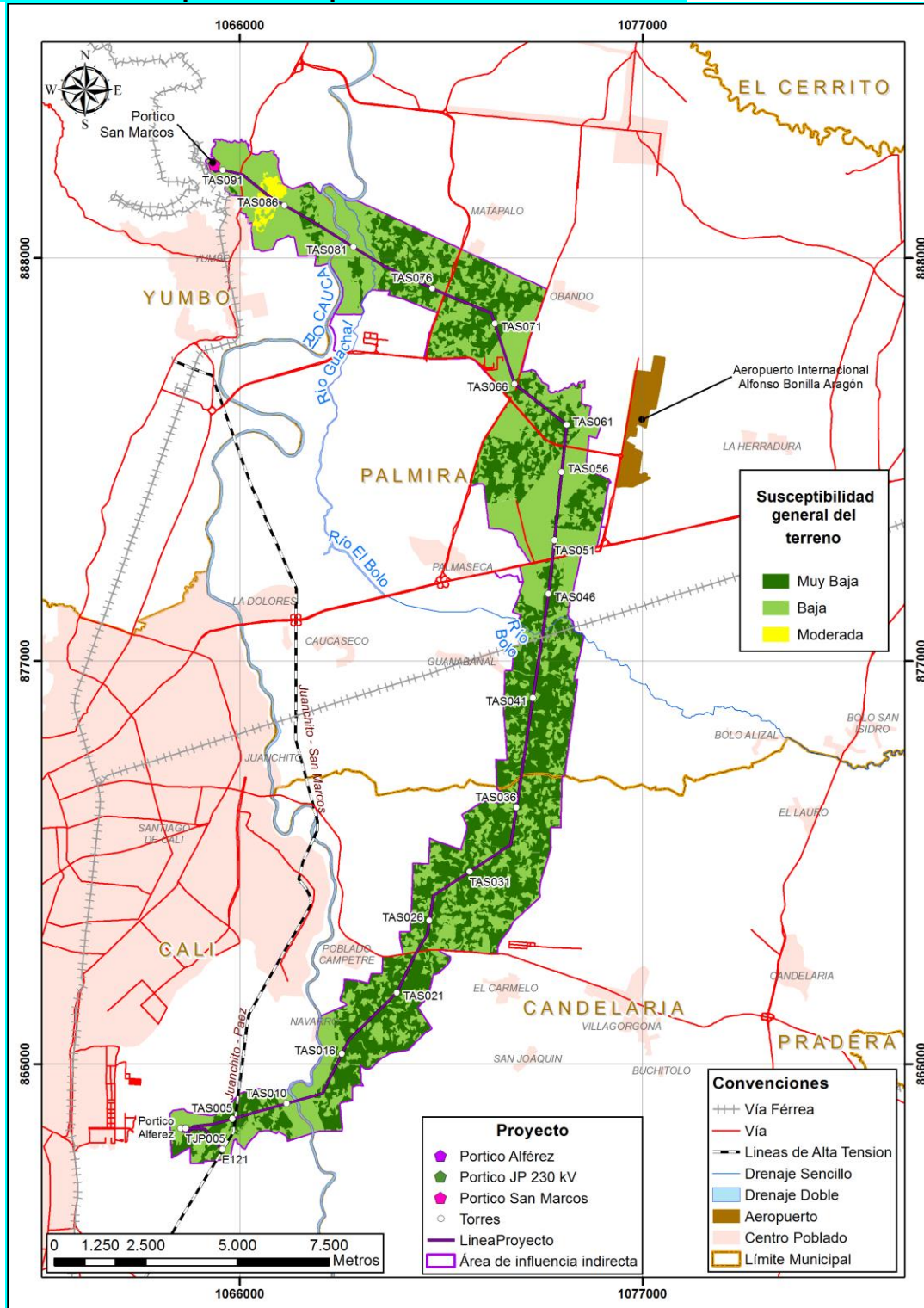
Figura 3.2.9-19 Susceptibilidad general del terreno en el Área de Influencia Directa AID



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-20 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno se presenta el mapa de susceptibilidad general del terreno a procesos erosivos y de remoción en masa.

Figura 3.2.9-20 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

Factores detonantes

Los factores desencadenantes o detonantes que se contemplaron en la ejecución del modelo son precipitación y sismicidad.

- Precipitación (FP)

La precipitación, principalmente en periodos invernales, se define por su intensidad, duración y distribución espacial. La relación lluvia-deslizamiento varía de un sitio a otro dependiendo de las condiciones locales de la zona, como la humedad, el tipo y uso del suelo, y topografía, entre otros.

El componente de escorrentía de la precipitación usualmente es considerado un agente de erosión superficial o de erosión lineal con formación de surcos y cárcavas. La escorrentía tiene un efecto importante en la movilización de los materiales arrancados por los deslizamientos someros y profundos y en la generación de deslizamientos en las márgenes de las corrientes, por erosión lateral y socavación de orillas, que aumenta el valor de sus pendientes hasta hacerlas inestables.

Teniendo en cuenta que para la zona de influencia del proyecto no existen datos de deslizamientos naturales relacionados a lluvias, el factor de precipitación se asignó de acuerdo con los valores del mapa de distribución de la precipitación (ver Tabla 3.2.9-13).

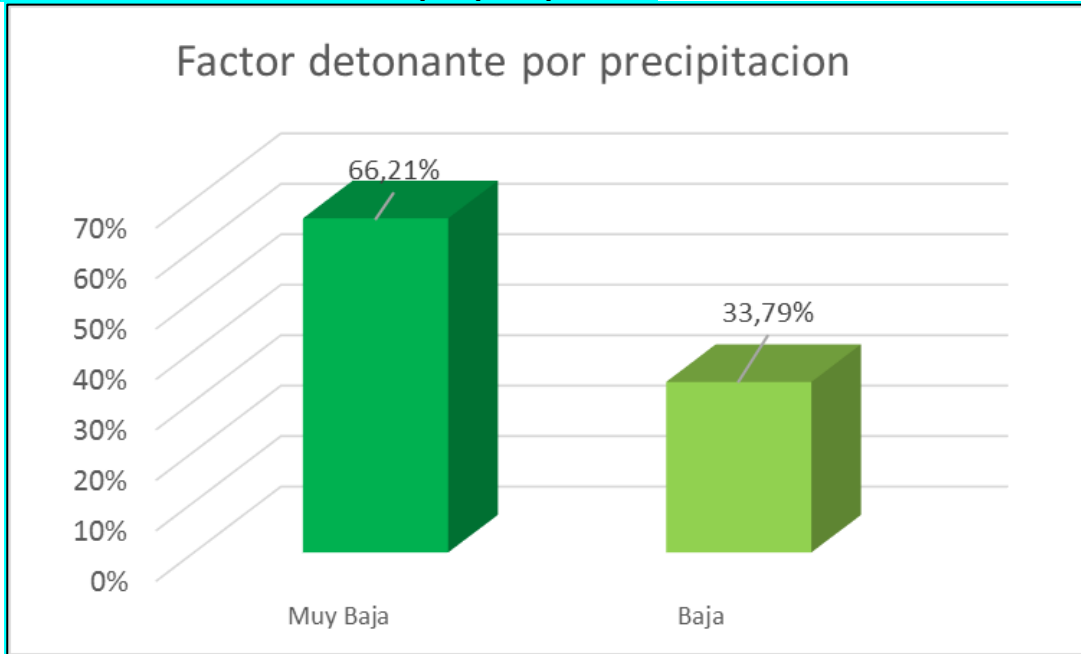
Tabla 3.2.9-13 Intervalos de categoría de precipitación

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso
2000 - 3000	3
1000 - 2000	2
500-1000	1

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-21 se muestra que 66,21% (4764,19 ha) del área de influencia indirecta presenta susceptibilidad muy baja y el 33,79% (2431,00 ha) presenta susceptibilidad baja el mapa de factor detonante por precipitación.

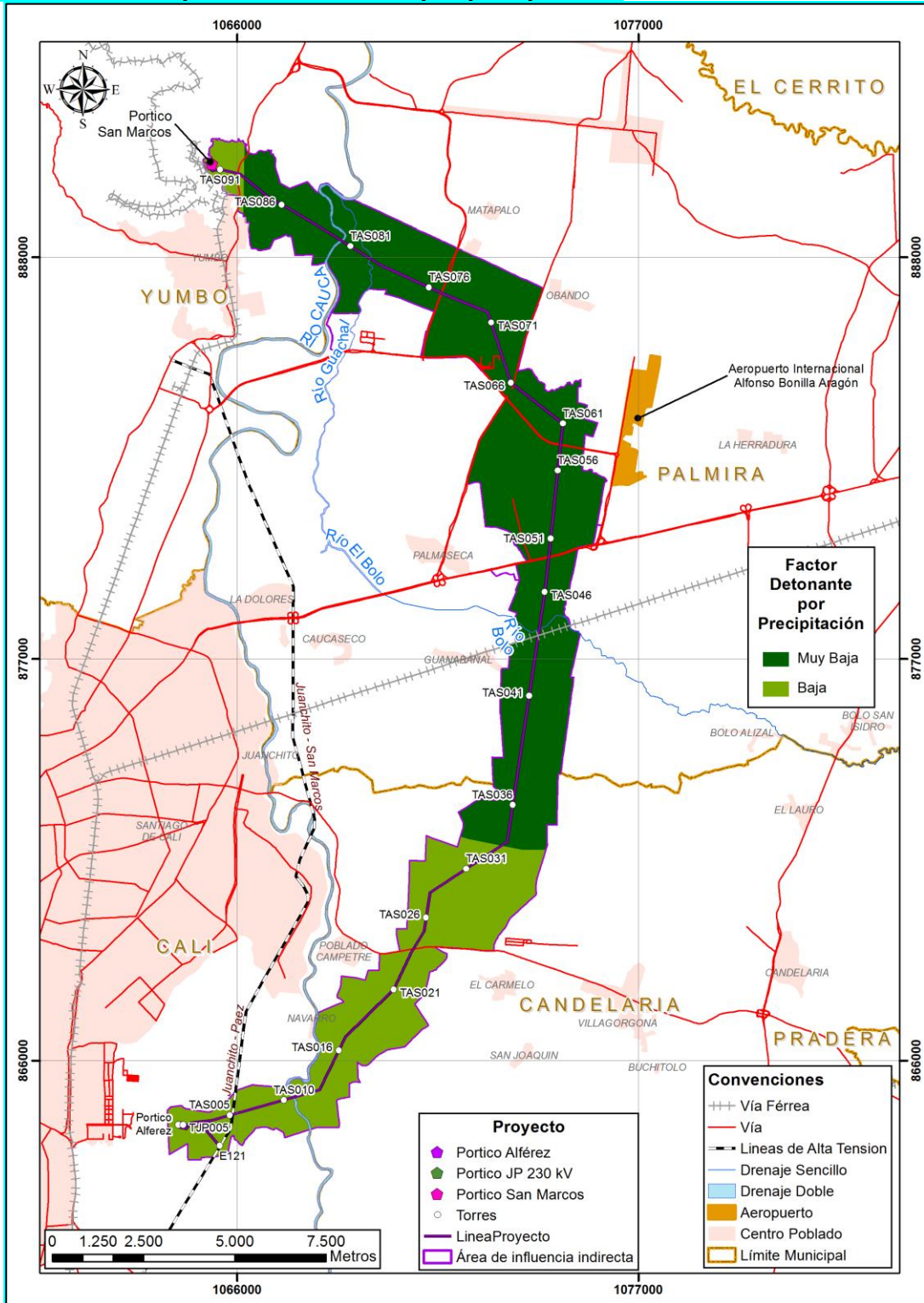
Figura 3.2.9-21 Factor detonante por precipitación



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-22 se presenta el mapa de factor detonante por precipitación.

Figura 3.2.9-22 Mapa factor detonante por precipitación



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

Sismicidad (FS)

El factor detonante por sismicidad se determinó con base en los resultados del Mapa de Amenaza Sísmica (Servicio Geológico Colombiano, Zonas de Amenaza Sísmica NSR-10), el cual presenta una zonificación de la amenaza sísmica en términos del coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva (Aa). El Mapa de Amenaza Sísmica (Servicio Geológico Colombiano (SGC), Zonas de Amenaza Sísmica de la norma sismo resistente (NSR-10)), considera valores de Aa (aceleración horizontal pico efectiva) en un rango desde 0.05 – 0.50, donde para valores de 0.05 a 0.1 se considera una amenaza sísmica baja, de 0.1 a 0.2 amenaza sísmica intermedia y de 0.25 a 0.5 amenaza sísmica alta (ver tabla A.2.3-1 de la NSR-10). A continuación, se muestra los valores de Aa encontrados en el AII (ver Tabla 3.2.9-14).

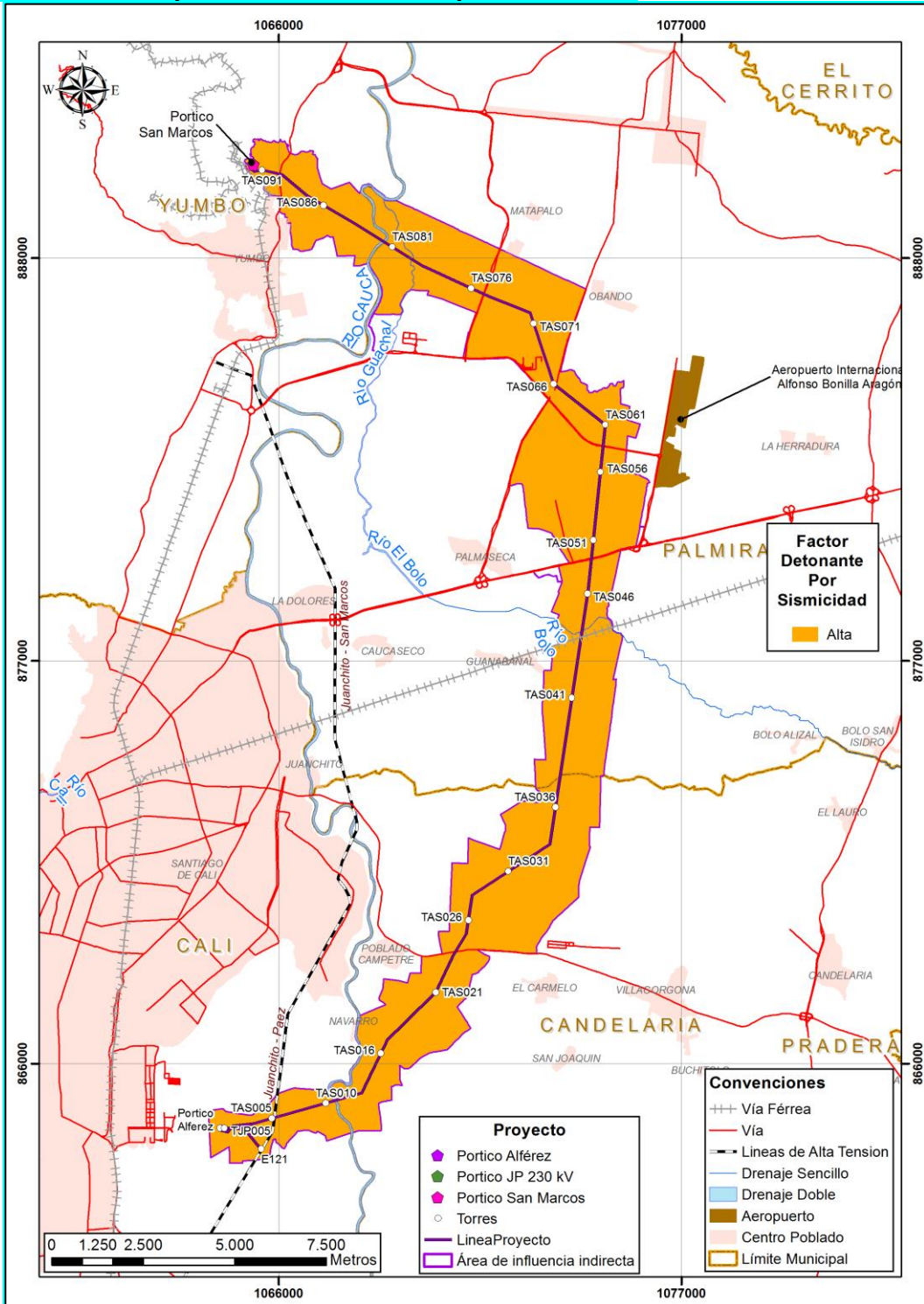
Tabla 3.2.9-14 Intervalos de categorías de sismicidad

Aa	Peso
0.25	4

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-23 se presenta el mapa de sismicidad, en el cual se observa que el 100% (7195,19 ha) del Área de Influencia Indirecta presenta susceptibilidad alta.

Figura 3.2.9-23 Mapa de factor detonante por sismicidad



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

Amenaza Relativa del terreno (ZG)

Con base en la interacción de los factores intrínsecos y los factores desencadenantes o detonantes que intervienen en la generación de los procesos de remoción en masa y procesos erosivos, se establece la amenaza relativa del terreno. Para la elaboración del mapa de amenaza relativa se emplearon como factores detonantes la precipitación y la amenaza sísmica, empleando el siguiente algoritmo:

$$ZG = ST * (FP + FS)$$

Dónde:

ZG = Zonificación Geotécnica (Amenaza relativa del terreno por procesos erosivos y de remoción en masa).

ST = Susceptibilidad total del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa.

FP = Factor detonante por precipitación.

FS = Factor detonante por sismicidad.

La zonificación geotécnica del área de estudio se analiza desde cinco categorías de amenaza y cinco de estabilidad, las cuales son inversamente proporcionales entre ellas, lo que quiere decir que entre menor sea la amenaza geotécnica es mayor la estabilidad geotécnica; la interrelación de estas categorías va desde muy alta a muy baja (IA, IB, II, IIIA y IIIB) y corresponden a la agrupación metodológica de zonas homogéneas de los factores de ponderación evaluados (ver Tabla 3.2.9-15).

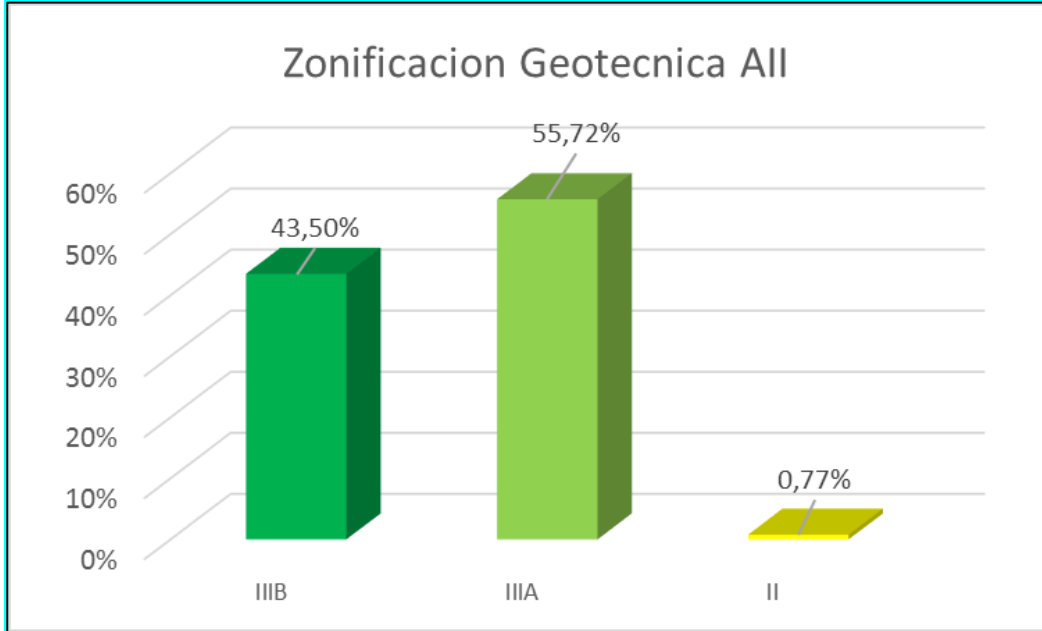
Tabla 3.2.9-15 Categorías para la zonificación geotécnica

Rangos de valores	Símbolo	Amenaza Relativa	Estabilidad Geotécnica
< 7	IIIB	Muy Baja	Muy Alta
7 - 12	IIIA	Baja	Alta
13 - 18	II	Moderada	Moderada
19 - 24	IB	Alta	Baja
> 24	IA	Muy Alta	Muy Baja

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-24 se observa la distribución de las categorías de zonificación geotécnica dentro del Área de Influencia Indirecta.

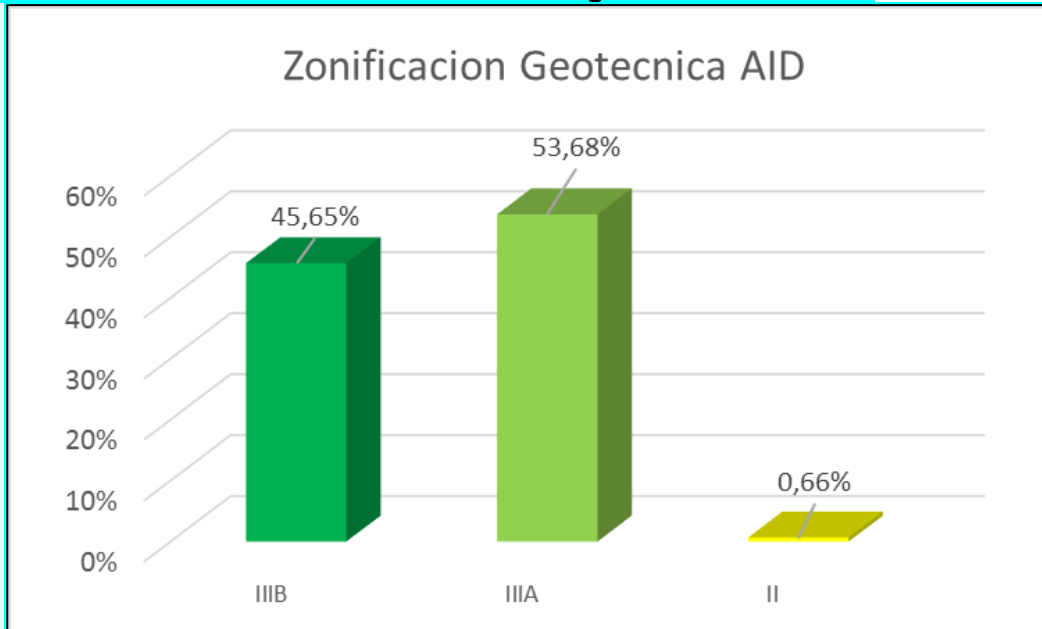
Figura 3.2.9-24 Distribución de la zonificación geotécnica en el AII



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Figura 3.2.9-25 se observa la distribución de las categorías de zonificación geotécnica dentro del área de influencia directa.

Figura 3.2.9-25 Distribución de la zonificación geotécnica en el AID



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018.

En la Tabla 3.2.9-16 se muestran los resultados de las características de las áreas resultantes en la clasificación de zonificación geotécnica por procesos erosivos y de

remoción en masa, como se puede ver no se identifica la amenaza relativa alta y muy alta en el AII y el AID.

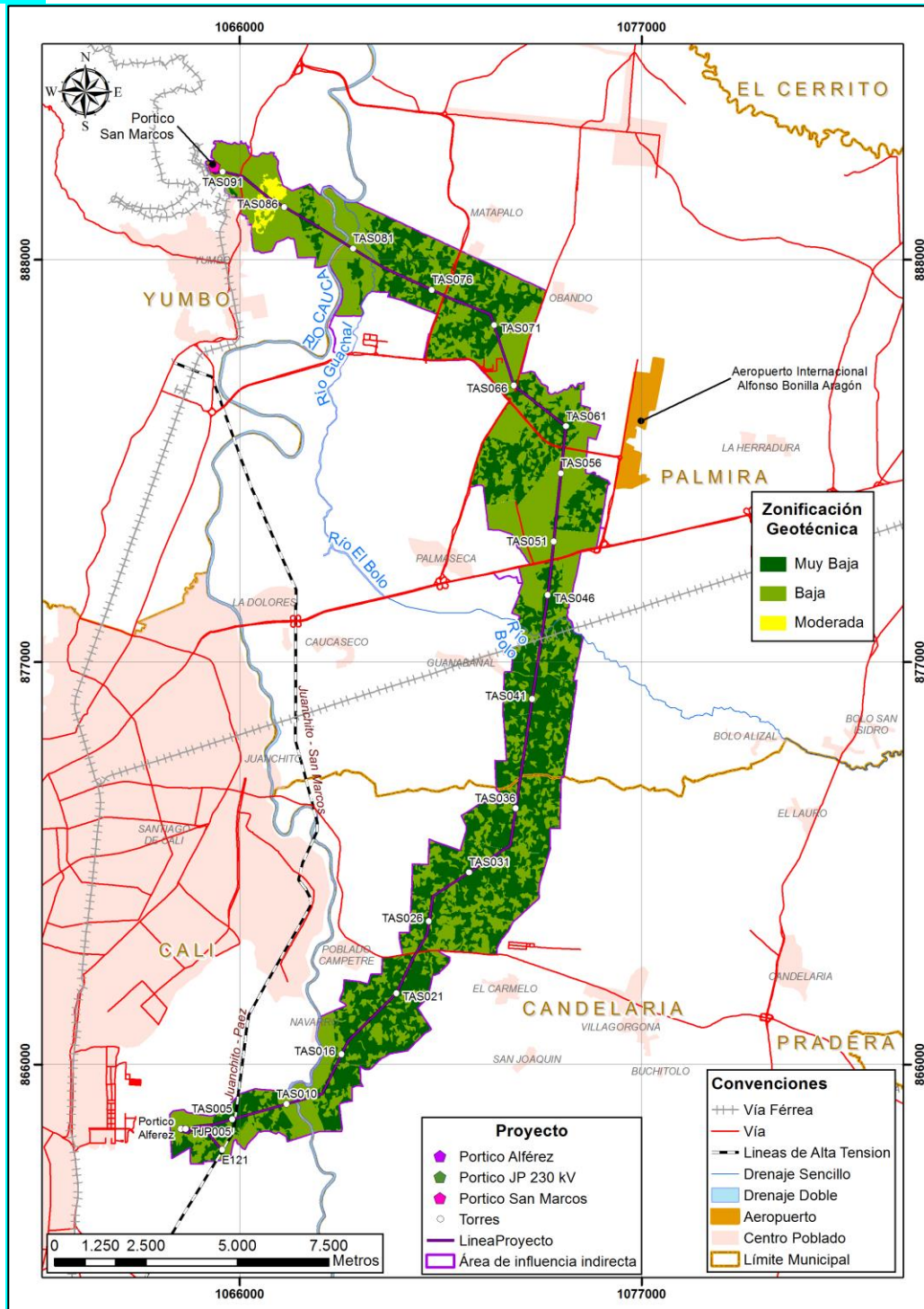
Tabla 3.2.9-16 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica

Símbolo	Amenaza Relativa	Estabilidad geotécnica	Descripción	AID (ha)	AII (ha)
IIIB	Muy Baja	Muy Alta	<p>Zonas donde no se presentan procesos erosivos y de remoción en masa.</p> <p>Se caracteriza por un predominio de terrazas aluviales depósitos aluviales.</p> <p>Las unidades geomorfológicas presentes en estas áreas corresponden a Planicies en su mayoría, seguidos de llanuras de inundación. La cobertura de la tierra corresponde cultivos de caña.</p> <p>Las pendientes predominantes se caracterizan por estar a nivel y ligeramente inclinadas (0 – 7 %).</p> <p>Los rangos de precipitación son bajos, de 1000 - 2000 mm/año.</p> <p>La amenaza sísmica es alta, según NSR-10 con un valor Aa = 0.25.</p>	131,37	3130,26
IIIA	Baja	Alta	<p>Zonas en donde las condiciones del terreno no presentan mayores riesgos de generación procesos erosivos y de remoción en masa.</p> <p>Se caracteriza por un predominio de depósitos de terrazas y rocas Volcánicas y sedimentarias.</p> <p>Las unidades geomorfológicas presentes en estas áreas son planicies producidas por depósitos fluviales y unidades de tipo denudacional como lomos.</p> <p>La cobertura de la tierra corresponde a mosaico de cultivos, pastos arbolados y vegetación secundaria alta.</p> <p>Las pendientes que caracterizan están entre 7 y 25%.</p> <p>Los rangos de precipitación son de 1000 - 2000 mm/año.</p> <p>La amenaza sísmica es alta, según NSR-10 con un valor Aa = 0.25.</p>	154,48	4009,27
II	Moderada	Moderada	<p>Zonas en donde el terreno presenta algunas condiciones para generar procesos erosivos y de remoción en masa.</p> <p>Se caracteriza por un predominio de rocas sedimentarias.</p> <p>La cobertura de la tierra corresponde a zonas industriales, Construcciones rurales, mosaico de pastos, bosque fragmentado, algunas tierras erosionadas.</p> <p>Las pendientes que caracterizan están entre 12 y 50%.</p> <p>Los rangos de precipitación que predominan son de 1000 – 2000 mm/año con algunas.</p> <p>La amenaza sísmica es alta, según NSR-10 con un valor Aa = 0.25.</p>	1,91	55,56

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

En la Figura 3.2.9-26 se presenta la zonificación geotécnica dentro del área de influencia directa del proyecto.

Figura 3.2.9-26 Mapa de zonificación geotécnica a procesos erosivos y de remoción en masa



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

3.2.9.3 Capacidad portante de los sitios de torre

A partir de los análisis de diseño y los ensayos de campo en cada sitio de torre, se determinó la capacidad portante. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la Tabla 3.2.9-17.

Tabla 3.2.9-17 Capacidad portante y zonificación geotécnica por torre

Torre No.	Denominación	Tipo Cimentación	Capacidad Portante (Ton/m ²)	Excavabilidad
TAS001	D.3	Micropilotes Suelo	69,42	Moderada
TAS002	D.3	Micropilotes Suelo	69,42	Moderada
TAS003	D.3	Micropilotes Suelo	69,42	Moderada
TAS004	D.3	Micropilotes Suelo	69,42	Dura
TAS005	B.3	Micropilotes Suelo	58,83	Dura
TAS006	B.3	Micropilotes Suelo	58,83	Dura
TAS007	B.3	Micropilotes Suelo	58,83	Dura
TAS008	B.3	Micropilotes Suelo	58,83	Dura
TAS009	AA.3	Micropilotes Suelo	58,19	Dura
TAS010	AA.3	Micropilotes Suelo	58,19	Dura
TAS011	AA.3	Micropilotes Suelo	58,19	Dura
TAS013	D.3	Micropilotes Suelo	69,42	Dura
TAS014	A0.3	Micropilotes Suelo	51,23	Dura
TAS015	A0.3	Micropilotes Suelo	51,23	Dura
TAS016	A0.3	Micropilotes Suelo	51,23	Dura
TAS017	B.3	Micropilotes Suelo	58,83	Dura
TAS018	A0.3	Micropilotes Suelo	51,23	Dura
TAS019	A0.3	Micropilotes Suelo	51,23	Dura
TAS020	A0.3	Micropilotes Suelo	19,80	Moderada
TAS021	B.3	Micropilotes Suelo	19,76	Moderada
TAS022	AA.3	Micropilotes Suelo	19,86	Moderada
TAS023	AA.3	Micropilotes Suelo	22,63	Moderada
TAS024	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS025	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS026	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS027	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS028	D.3	Micropilotes Suelo	22,04	Moderada
TAS029	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS030	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS031	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS032	A0.3	Micropilotes Suelo	72,80	Dura
TAS033	A0.3	Micropilotes Suelo	72,80	Dura

Torre No.	Denominación	Tipo Cimentación	Capacidad Portante (Ton/m2)	Excavabilidad
TAS034	D.3	Micropilotes Suelo	89,65	Dura
TAS035	A0.3	Micropilotes Suelo	72,80	Dura
TAS036	A0.3	Micropilotes Suelo	72,80	Dura
TAS037	A.3	Micropilotes Suelo	74,91	Dura
TAS038	AA.3	Micropilotes Suelo	77,48	Dura
TAS039	AA.3	Micropilotes Suelo	77,48	Dura
TAS040	AA.3	Micropilotes Suelo	22,63	Moderada
TAS041	AA.3	Micropilotes Suelo	22,63	Moderada
TAS042	AA.3	Micropilotes Suelo	77,48	Dura
TAS043	A0.3	Micropilotes Suelo	72,80	Dura
TAS044	AA.3	Micropilotes Suelo	22,63	Moderada
TAS045	AA.3	Micropilotes Suelo	22,63	Moderada
TAS046	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS047	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS048	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS049	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS050	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS051	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS052	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS053	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS054	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS055	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS056	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS057	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS058	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS059	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS060	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS061	D.3	Micropilotes Suelo	22,04	Moderada
TAS062	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS063	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS064	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS065	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS066	C.3	Micropilotes Suelo	23,14	Moderada
TAS067	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS068	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS069	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS070	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada
TAS071	AT.3	Micropilotes Suelo	8,96	Moderada

Torre No.	Denominación	Tipo Cimentación	Capacidad Portante (Ton/m2)	Excavabilidad
TAS072	D.3	Micropilotes Suelo	22,04	Moderada
TAS073	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS074	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS075	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS076	B.3	Micropilotes Suelo	23,02	Moderada
TAS077	A0.3	Micropilotes Suelo	21,76	Moderada
TAS078	A0.3	Micropilotes Suelo	19,80	Moderada
TAS079	AA.3	Micropilotes Suelo	19,86	Moderada
TAS080	A0.3	Micropilotes Suelo	22,21	Dura
TAS081	AA.3	Micropilotes Suelo	25,19	Dura
TAS082	AA.3	Micropilotes Suelo	25,19	Dura
TAS083	A0.3	Micropilotes Suelo	22,21	Dura
TAS084	A.3	Micropilotes Suelo	23,90	Dura
TAS085	AA.3	Micropilotes Suelo	22,21	Dura
TAS086	A0.3	Micropilotes Suelo	25,91	Dura
TAS087	B.3	Micropilotes Suelo	27,34	Dura
TAS088	A0.3	Micropilotes Suelo	25,91	Dura
TAS089	B.3	Micropilotes Suelo	27,34	Dura
TAS090	B.3	Micropilotes Suelo	27,34	Dura
TAS091	B.3	Micropilotes Suelo	27,34	Dura
TAS092	D.3	Micropilotes Suelo	26,14	Dura
TAS093	D.3	Micropilotes Suelo	26,14	Dura
TAS094	D.3	Micropilotes Suelo	26,14	Dura

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2018

3.2.9.4 Estratificación de taludes y nivel de fracturamiento

Teniendo en cuenta que en el área de estudio solo se encuentran depósitos sedimentarios los cuales no tienen una posición identificable por su falta de consolidación, no se identifican datos estructurales en el área.

3.2.9.5 Procesos Morfodinámicos dentro del AID

En el área de influencia directa no se identificaron procesos morfodinámicos, teniendo en cuenta la amplitud de los cultivos de caña de azúcar y la morfología plana del área.