REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES Y MODIFICACIONES A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S.
(1736)

CONTRATO 966568

CAPITULO 3
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO

CAPITULO 3.2.8 GEOTECNIA
VERSIÓN 0

Bogotá D.C., noviembre de 2019

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice de Revisión	Sección Modificada	Fecha Modificación	Observaciones
0			Versión final
B	Sin cambios	11-2019	Sin cambios
A	Documento en general	10-2019	Se anexa matriz de hallazgos y respuestas

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Número de revisión		**0**
Responsable por elaboración	Nombre	Carlos Guerrero
	Firma	
Responsable por revisión	Nombre	Katherine Martínez
Coordinador Proyecto	Firma	
Responsable por aprobación	Nombre	Mónica Pescador
Gerente de Proyecto	Firma	
	Fecha	noviembre de 2019

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPITULO 3.2.8 GEOTECNIA

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO 1
3.2 MEDIO ABIÓTICO 1
3.2.8 Geotecnia.....1
3.2.8.1 Modelación de Variables.....3
3.2.8.2 Susceptibilidad a los procesos de remoción en masa (ST) 15
3.2.8.3 Factores detonantes 17
3.2.8.4 Zonificación Geotécnica (ZG) 21

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPITULO 3.2.8 GEOTECNIA

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Categoría y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables	3
Tabla 3.2 Valores de susceptibilidad por Litología	4
Tabla 3.3 Valores de susceptibilidad por geomorfología	5
Tabla 3.4 Valores de susceptibilidad por Hidrogeología	7
Tabla 3.5 Valores de susceptibilidad por Coberturas de la tierra	9
Tabla 3.6 Ponderación de drenajes según su tipo	10
Tabla 3.7 Ponderación de fallas según su tipo	12
Tabla 3.8 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas	12
Tabla 3.9 Valores de susceptibilidad por pendientes	13
Tabla 3.10 Valores de susceptibilidad por procesos morfodinámicos	15
Tabla 3.11 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno	16
Tabla 3.12 Áreas de susceptibilidad general del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa.	17
Tabla 3.13 Intervalos de categorías de precipitación	18
Tabla 3.14 Intervalos de categorías de sismicidad	19
Tabla 3.15 Resumen de calificaciones	20
Tabla 3.16 Categorías de amenaza relativa del terreno	21
Tabla 3.17 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica del área de influencia	21

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPITULO 3.2.8 GEOTECNIA

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 Diagrama metodológico para obtener la zonificación geotécnica	2
Figura 3.2 Mapa de susceptibilidad por litología	4
Figura 3.3 Mapa de susceptibilidad por geomorfología en el área de influencia	6
Figura 3.4 Mapa de susceptibilidad por hidrogeología en el área de influencia	8
Figura 3.5 Mapa de susceptibilidad por cobertura de tierra en el área de influencia	10
Figura 3.6 Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes en el área de influencia	11
Figura 3.7 Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas área de influencia	13
Figura 3.8 Mapa de susceptibilidad por pendientes área de influencia	14
Figura 3.9 Mapa de susceptibilidad por procesos morfodinámicos	15
Figura 3.10 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno	17
Figura 3.11 Mapa factor detonante por precipitación	18
Figura 3.12 Mapa factor detonante por sismicidad	19
Figura 3.13 Mapa de zonificación geotécnica en el área de influencia.	22

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO

3.2 MEDIO ABIÓTICO

3.2.8 Geotecnia

La zonificación geotécnica del área de influencia del proyecto consiste en la división del terreno en zonas geotécnicamente homogéneas, calificadas de acuerdo con las condiciones de estabilidad que la pueden afectar, para lo cual en un ambiente SIG, se definen áreas con características similares en cuanto a litología (geología), geomorfología, hidrogeología, cobertura de la tierra, densidad de drenajes, intensidad de erosión y pendientes.

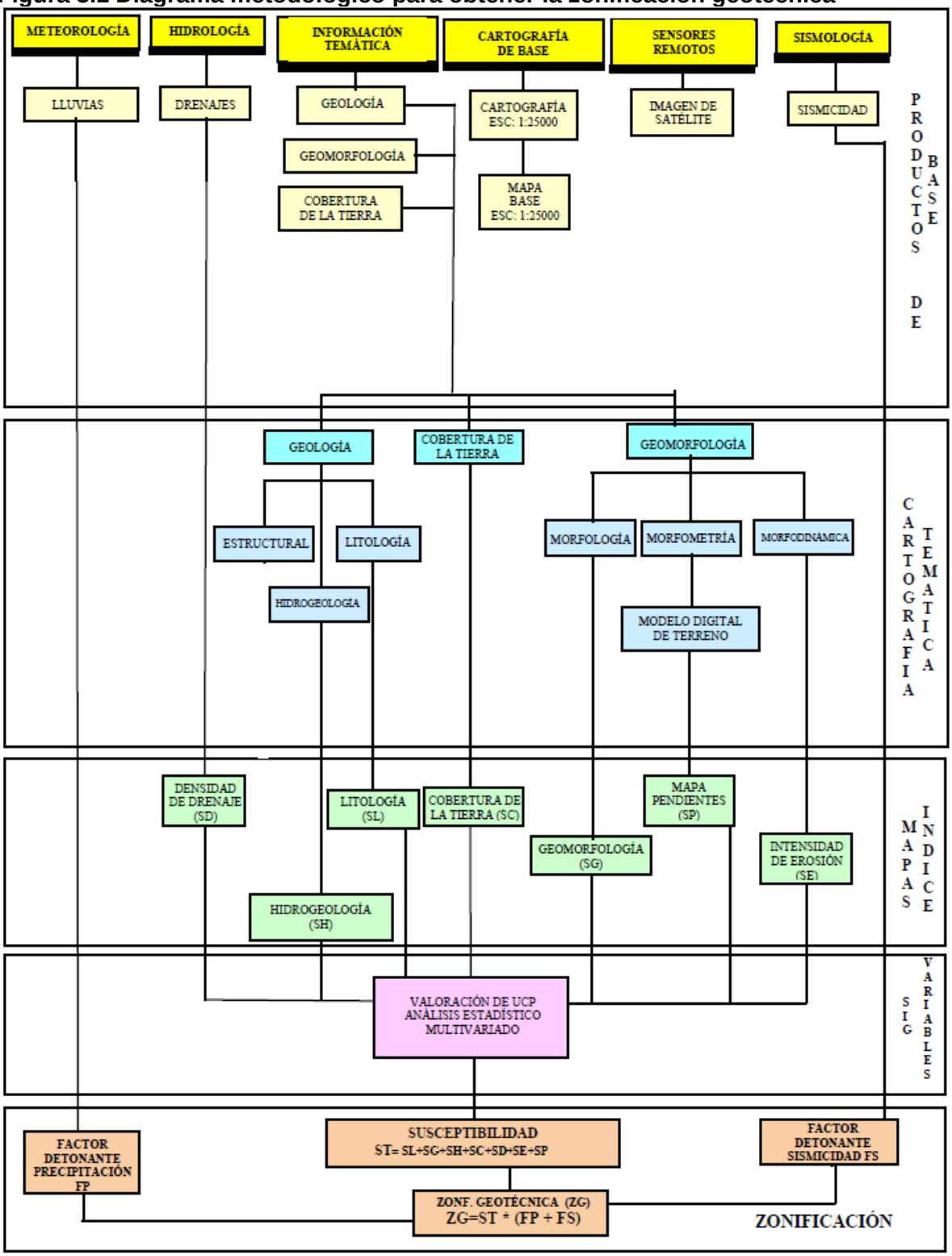
Al incorporar los factores detonantes precipitación y amenaza sísmica se obtiene la amenaza relativa (zonificación geotécnica) a la ocurrencia de procesos de remoción en masa, calificada desde muy baja a muy alta, de acuerdo con el esquema metodológico de la Figura 3.1, modificado de (Vargas, 1999)**.**

Para el desarrollo del estudio, se adelantaron las siguientes etapas:

i. Recopilación, revisión 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).
ii. Estudio de las variables geoambientales o factores del terreno. Análisis y cartografía de variables como geología, geomorfología, hidrogeología, cobertura de la tierra, intensidad de erosión, pendientes, drenajes, precipitación y sismicidad; de las cuales se obtienen los mapas peso.
iii. Implementación del SIG. Sobre el mapa base digital del área de estudio se digitalizó la información temática georreferenciada con bases de datos y atributos de cada unidad cartográfica de parámetro. Los mapas considerados tienen topología de línea (por ej. drenajes) polígonos (unidades cartográficas temáticas).
iv. Evaluación de variables. Con base en las características del área de influencia, de la densidad y calidad de los datos, se evalúa la información obtenida y se establece el método más conveniente para el análisis y determinación del peso de las variables hacia la estabilidad geotécnica.
v. 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. Su principal característica es que es definida a partir del estudio y evaluación de los factores intrínsecos del terreno.
vi. Identificación de factores detonantes. Se consideraron como factores externos que pueden detonar procesos de erosión, inundaciones y procesos de remoción en masa, las variables de Precipitación y Amenaza Sísmica.

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. (Ver Figura 3.1).

Figura 3.1 Diagrama metodológico para obtener la zonificación geotécnica



Fuente: Modificado de (Vargas, 1999)

Para el análisis de las variables geoambientales, 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 3.1.

Tabla 3.1 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: Concol by WSP, 2019

Teniendo en cuenta el conocimiento y las características de cada unidad de parámetro respecto a su grado de influencia o "calificación" en la inestabilidad del terreno se procedió a la calificación de cada unidad cartográfica de parámetro (UCP) como se muestra en la modelación de variables.

3.2.8.1 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 pixeles 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.

3.2.8.1.1 Litología O Geología (SL)

Uno de los principales factores a considerar en la determinación de la susceptibilidad a los procesos de inestabilidad es la litología de los materiales aflorantes, debido a que la génesis, composición y estructura de los mismos definen su resistencia al corte y propensión a este tipo de procesos por el aumento de los esfuerzos cortantes, lo cual incide en la susceptibilidad del terreno al desarrollo de procesos erosivos y procesos de remoción en masa.

Para el caso de las zonas de estudio, se asignó el valor de susceptibilidad muy alta (5) a los Depósitos Aluviales Recientes (Qalr), Alta (4) a los depósitos no consolidados como los Depósitos de Playa (Qpm), se calificaron como rocas de susceptibilidad moderada (3) a las rocas de la Formación Bayunca (Ngb) y a los Depósitos de Manglar (Qmm), se les da una calificación de baja (2) a los Depósitos de Llanura Costera (Qfl). No se calificaron unidades litológicas de susceptibilidad muy baja. La Tabla 3.2 presenta las calificaciones dadas a las diferentes unidades litológicas.

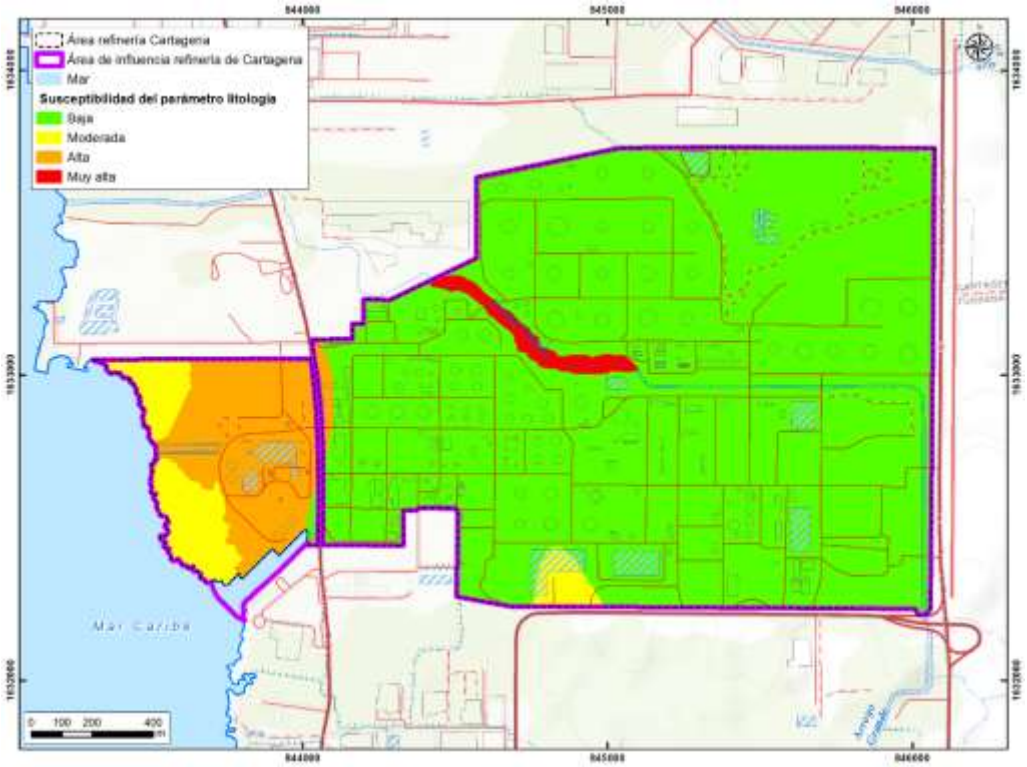
Tabla 3.2 Valores de susceptibilidad por Litología

EON	ERA	PERIODO	SERIE	UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO	Peso
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos aluviales recientes	Qalr	5
				Depósitos de Manglar	Qmm	3
				Depósitos de Playa	Qpm	4
				Depósitos de Llanura Costera	Qfl	2
		Neógeno	Mioceno	Formación Bayunca	Ngb	3
Mar Caribe						N/A

Fuente: Concol by WSP, 2019

En la Figura 3.2 se presenta el mapa de susceptibilidad para el área de influencia de acuerdo con la sectorización por litología.

Figura 3.2 Mapa de susceptibilidad por litología



Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.1.2 Geomorfología (SG)

La calificación de susceptibilidad para las diferentes unidades geomorfológicas se infiere sobre la base de dos factores que favorecen la inestabilidad, 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; 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. En la Tabla 3.3 se presenta las calificaciones dadas a las diferentes unidades geomorfológicas.

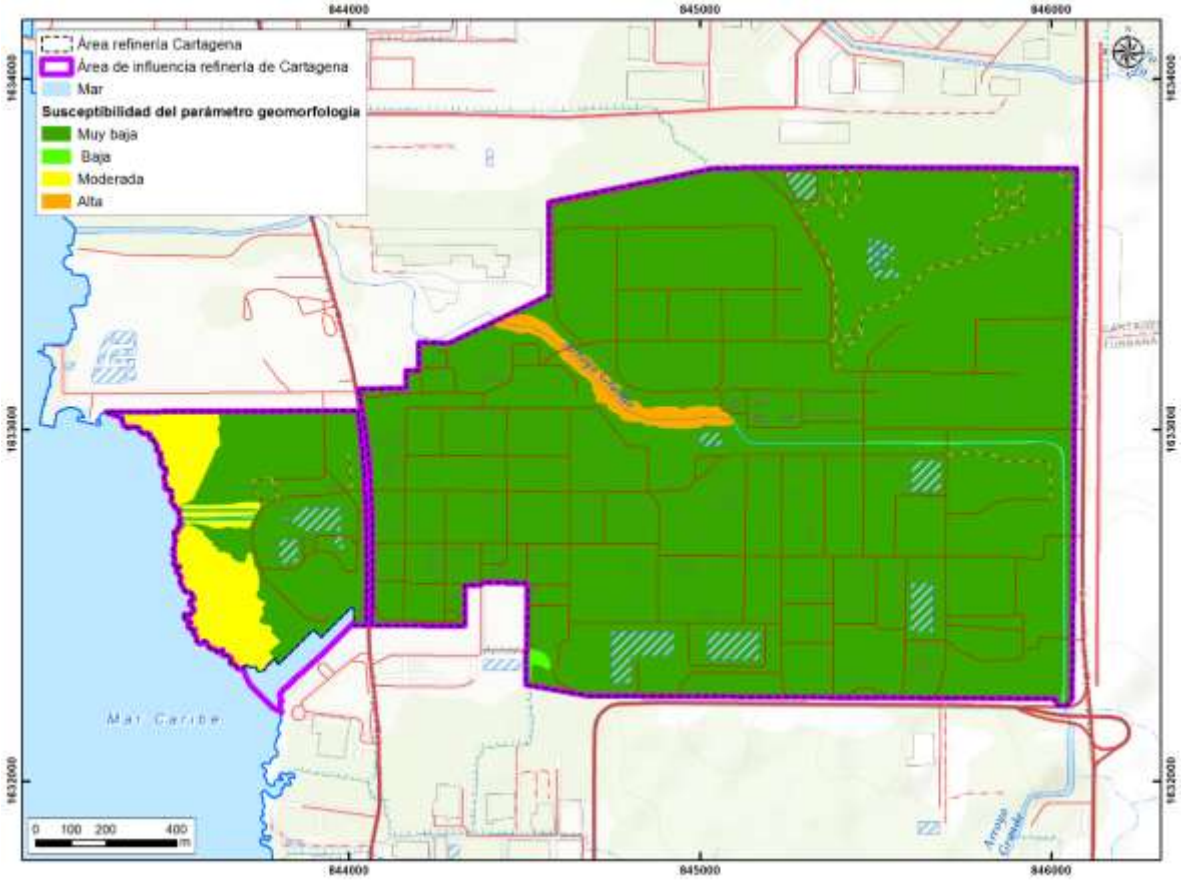
Tabla 3.3 Valores de susceptibilidad por geomorfología

GEOMORFO-ESTRUCTURA	PROVINCIA	REGIÓN	UNIDAD	SUB-UNIDAD	SIMBOLO	Peso
OROGÉNICO COSTERO	CINTURON DE SINÚ	Antropogénico (A)	Canal	Canal Artificial	**Aca**	2
			Planos y llenos antrópicos	Planos y llenos antrópicos para construcciones industriales	**Ar**	1
		Marino (M)	Llanuras costeras	Llanuras costeras	**Mllc**	2
			Planos y llanuras con vegetación halófila	Planos y llanuras con vegetación halófila (Manglares)	**Mvp**	3
		Fluvial (F)	Cauce Aluvial	Cauce Aluvial	**Fca**	4
PLATAFORMA CONTINENTAL	MAR CARIBE	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: Concol by WSP, 2019

En la Figura 3.3 se presenta el mapa de susceptibilidad para el área de influencia de acuerdo con la sectorización por geomorfología.

Figura 3.3 Mapa de susceptibilidad por geomorfología en el área de influencia



Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.1.3 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 consideran de los siguientes tipos para el área de influencia:

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), (Sanchez, 2014). Para el área de influencia tenemos los Depósitos Aluviales Recientes (Qalr).

Acuitardos: Unidad 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 el área de influencia son de gran extensión está constituido por: Depósitos de Playa (Qmp), Depósitos de Llanura Costera (Qfl), Depósitos de Manglar (Qmm) y la Formación Bayunca (Ngb). (Sanchez, 2014). En la Tabla 3.4 se presenta las calificaciones dadas a las diferentes unidades hidrogeológicas.

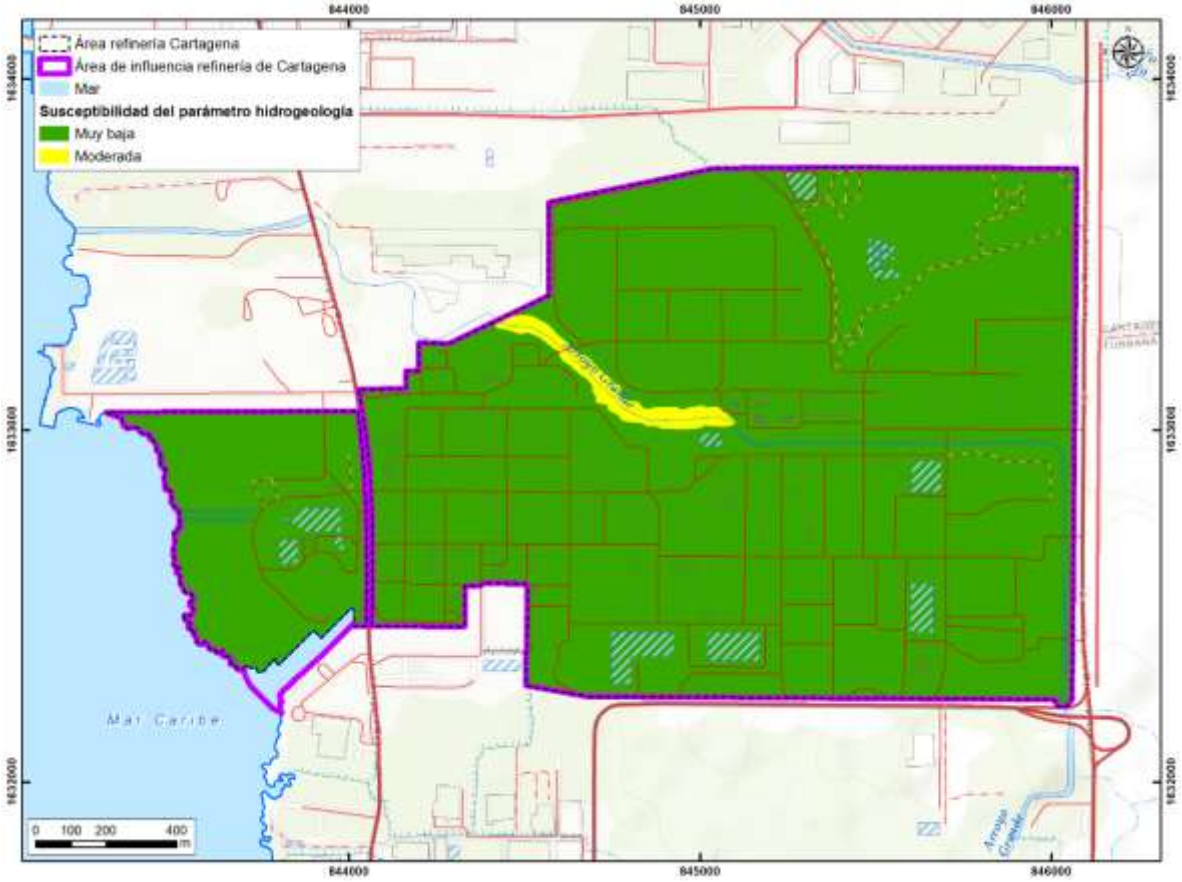
Tabla 3.4 Valores de susceptibilidad por Hidrogeología

Sistemas acuíferos presentes en el área de influencia			
Sistema de Acuífero		**Unidades Hidrogeológicas**	**Peso**
Sedimentos y rocas con flujo intergranular			
A1	Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Depósitos Aluviales recientes (Qalr)	3
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea			
C1	Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio < de 0.05 l/s/m.	Depósitos de Llanura Costera (Qfl)	1
		Depósitos de Playa (Qmp)	1
		Depósitos de Manglar (Qmm)	1
		Formación Bayunca (Ngb)	1
Mar caribe			N/A

Fuente: Concol by WSP, 2019

En la Figura 3.4 se presenta el mapa de susceptibilidad para el área de influencia de acuerdo con la sectorización por hidrogeología.

Figura 3.4 Mapa de susceptibilidad por hidrogeología en el área de influencia



Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.1.4 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.

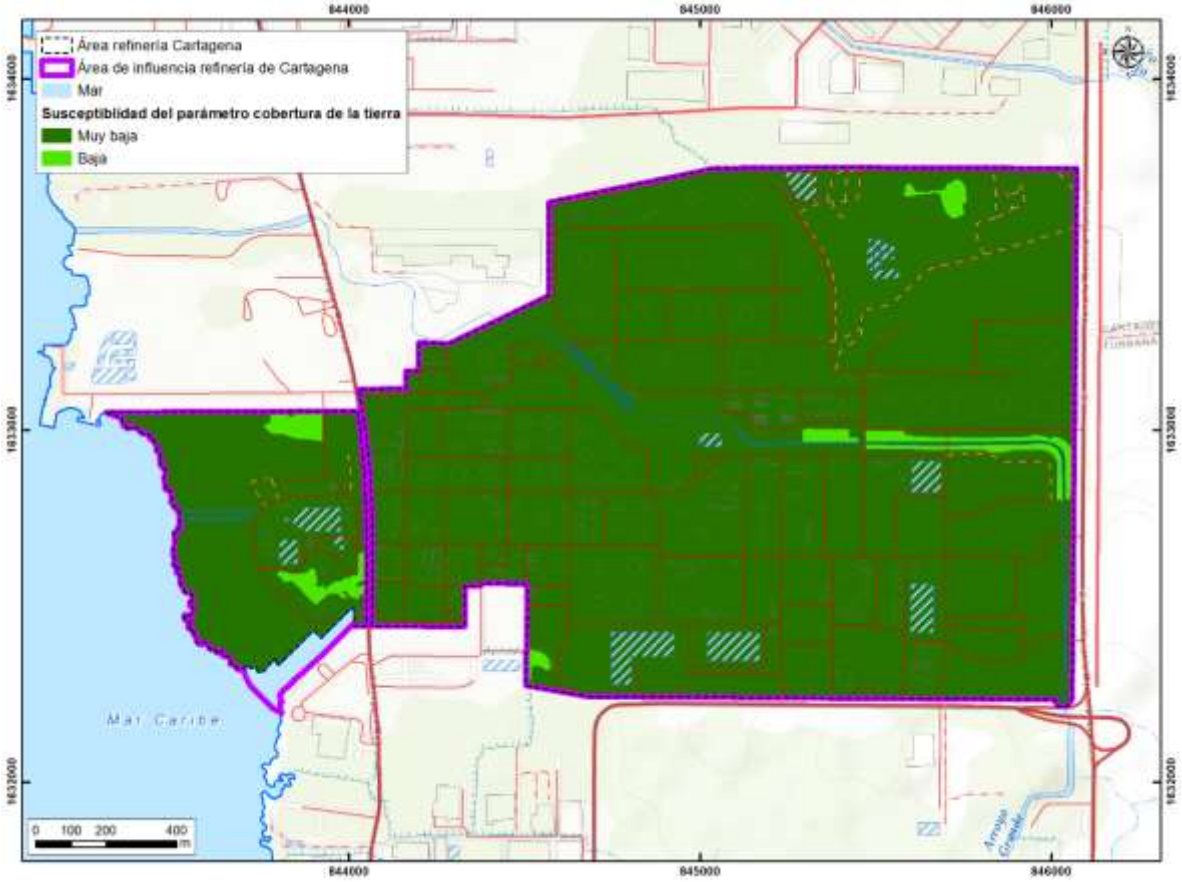
De igual forma, los componentes subterráneos, como los sistemas radiculares, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 1.997; citado por Lianes, 2.008); de este modo, la cantidad y calidad de la cobertura vegetal (protección vertical) disminuye notablemente los procesos erosivos (Marchamalo, 2.004; citado por Lianes, 2.008). En la Tabla 3.5 se presenta las calificaciones dadas a las diferentes coberturas de la tierra.

Tabla 3.5 Valores de susceptibilidad por Coberturas de la tierra

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Símbolo	Peso
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	Zonas industriales o comerciales				121	1
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	Bosques	Bosque Denso	Bosque Denso Alto	Bosque Denso Alto Inundable	Manglar denso alto	311122	1
		Bosque de galería y ripario				314	1
		Plantaciones latifoliadas				3152	1
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Vegetación secundaria o en transición				323	2
5. SUPERFICIES DE AGUA	Aguas continentales	Canales				513	1
	Aguas marítimas	Mares y océanos				522	N/A

Fuente: Concol by WSP, 2019

Figura 3.5 Mapa de susceptibilidad por cobertura de tierra en el área de influencia



Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.1.5 Densidad de Drenajes (SD)

La densidad de drenaje (SD) proporciona la información respecto a la abundancia de escurrimiento, y es un indicador de la respuesta de la cuenca ante un evento de precipitación; entre mayor sea esta densidad, más rápida es la velocidad de evacuación del agua. Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la hoya, L, y su área total, A, expresada en km/km^2.

Para el presente estudio, se determinó la densidad de drenaje, a partir de los drenajes identificados en la cartografía escala 1:25.000. En la Tabla 3.6 se presenta la clasificación de valores de esta variable, basado en el análisis de 1.283 unidades hidrográficas, de órdenes cuatro a ocho, localizadas en Colombia. (Londoño, 2001)**.**

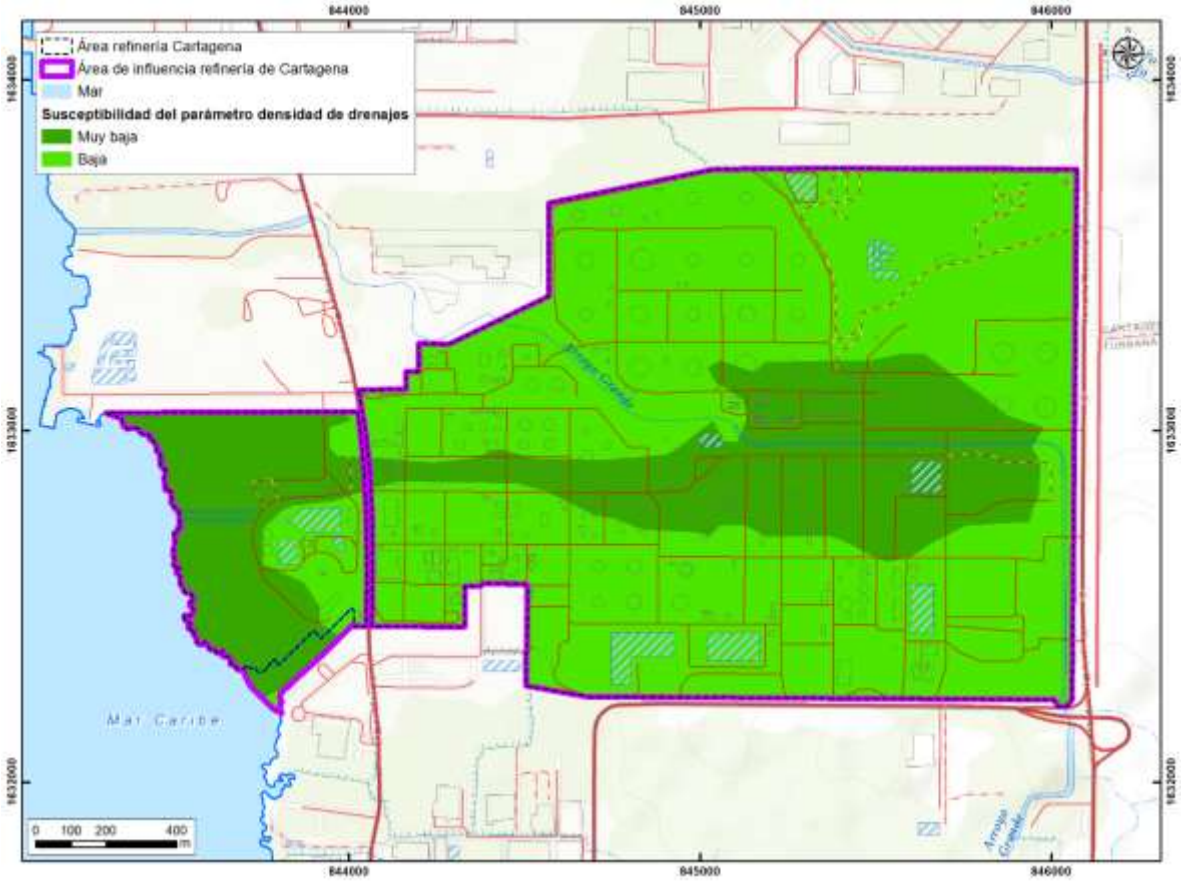
Tabla 3.6 Ponderación de drenajes según su tipo

RANGO DE DENSIDAD	SUSCEPTIBILIDDA A PRODUCIR FRM	PESO
< 1,5	Muy Baja	1
1,5 – 3	Baja	2

RANGO DE DENSIDAD	SUSCEPTIBILIDDA A PRODUCIR FRM	PESO
3 - 4,5	Media	3
4,5 – 6	Alta	4
> 6	Muy Alta	5

Fuente: Datos calculados a partir de la Cartografía base escala 1: 25.000 Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2015), Modelo de Elevación Digital (DEM ASTER, 2012).

Figura 3.6 Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes en el área de influencia



Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.1.6 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 inestabilización 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 de INGEOMINAS, ahora SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC).

En la Tabla 3.7 se muestra las calificaciones dadas a los respectivos tipos de fallas.

Tabla 3.7 Ponderación de fallas según su tipo

TIPO DE FALLAS	PONDERACIÓN
Falla Mamonal	2
Falla Pasacaballos	2

Fuente: Concol by WSP, 2019

Posteriormente, mediante el procesamiento de la información en SIG se hizo el cálculo de la densidad de fallas por unidad de área (Km/Km²), 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.

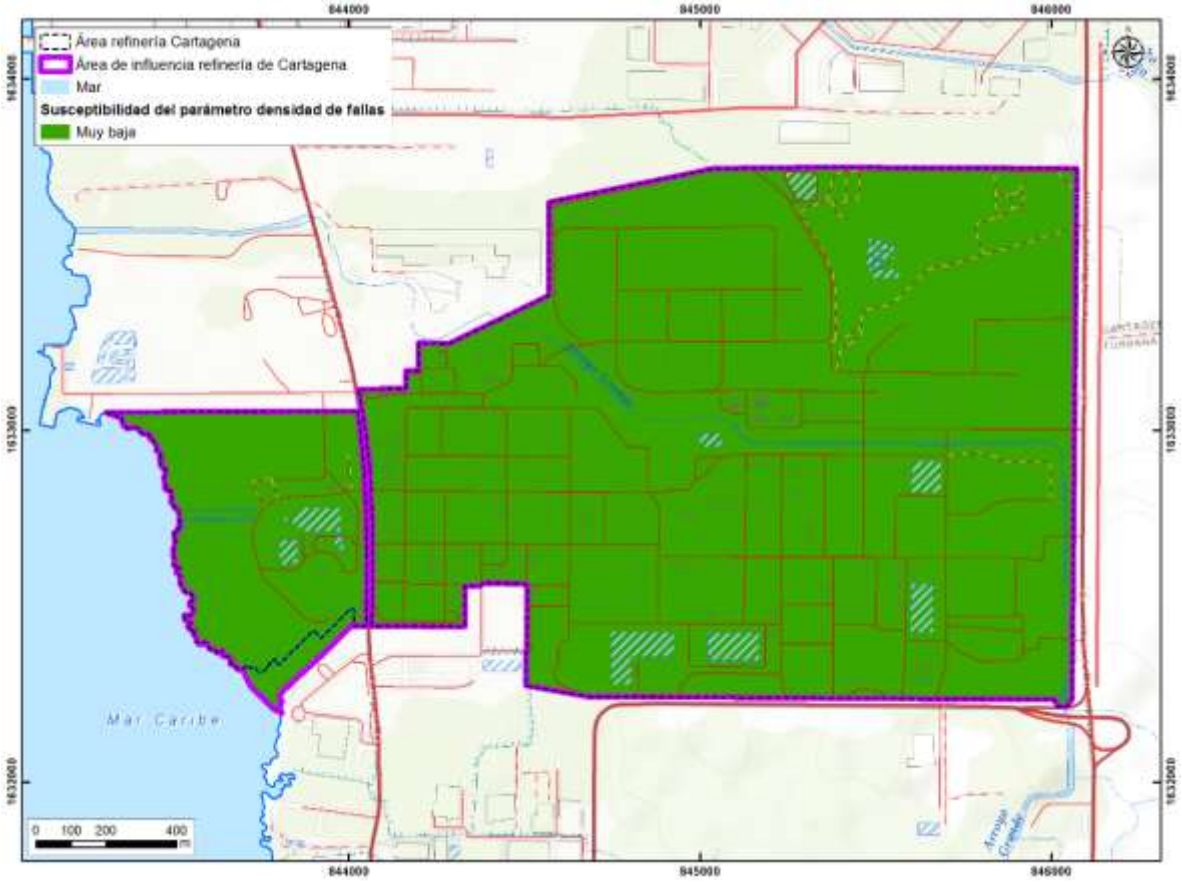
Tabla 3.8 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) (Km/Km²)	Peso
< 0,9	1
0,9 - 2,4	2
2,4 - 3,3	3
3,3 - 4,0	4
> 4	5

Fuente: Concol by WSP, 2019

En la Figura 3.7 se presenta el mapa de susceptibilidad para el área de influencia de acuerdo con la sectorización por densidad de fallas.

Figura 3.7 Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas área de influencia



Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.1.7 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 3.9.

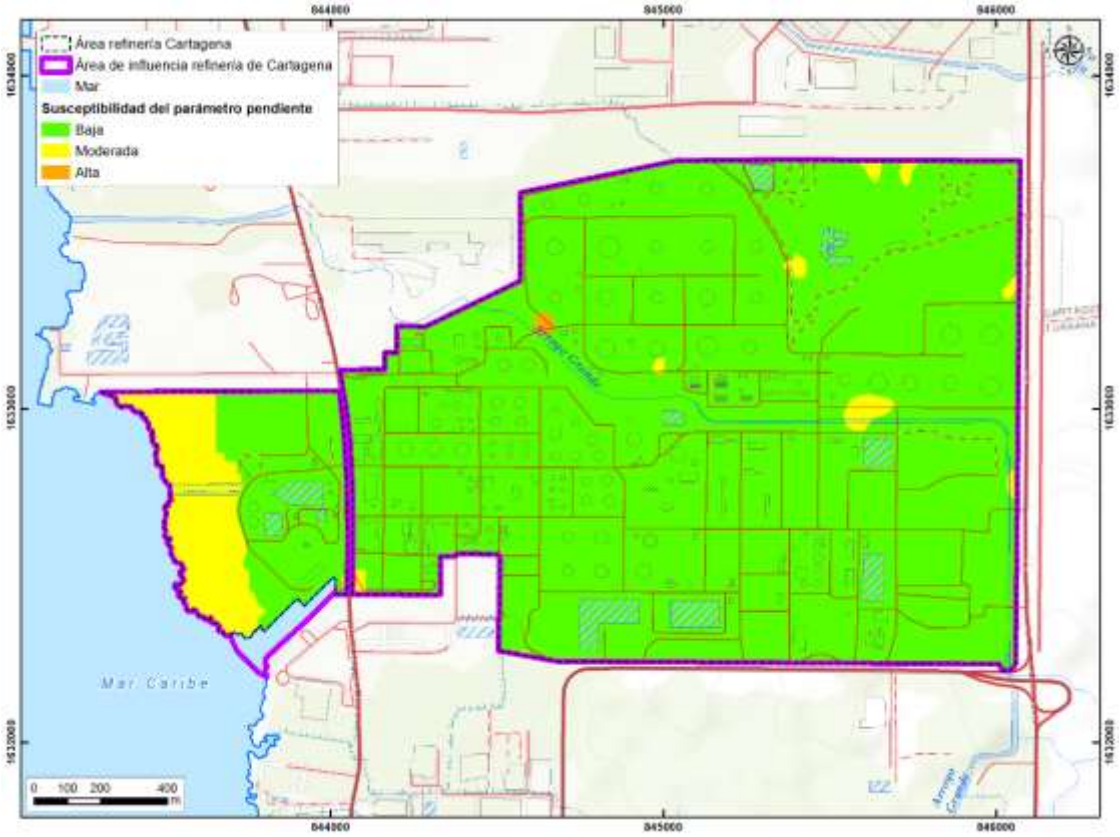
Tabla 3.9 Valores de susceptibilidad por pendientes

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: Concol by WSP, 2019

En la Figura 3.8 se presenta el mapa de susceptibilidad para el área de influencia de acuerdo con la sectorización por pendientes

Figura 3.8 Mapa de susceptibilidad por pendientes área de influencia



Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.1.8 Procesos morfodinámicos (SE)

Mediante la interpretación de imágenes de satélite, se realizó la cartografía de procesos erosivos y procesos de remoción en masa.

Cabe destacar que todos los procesos identificados fueron la base de la creación de este mapa base, el cual sirvió para realizar el ajuste y materialización de la zonificación geotécnica.

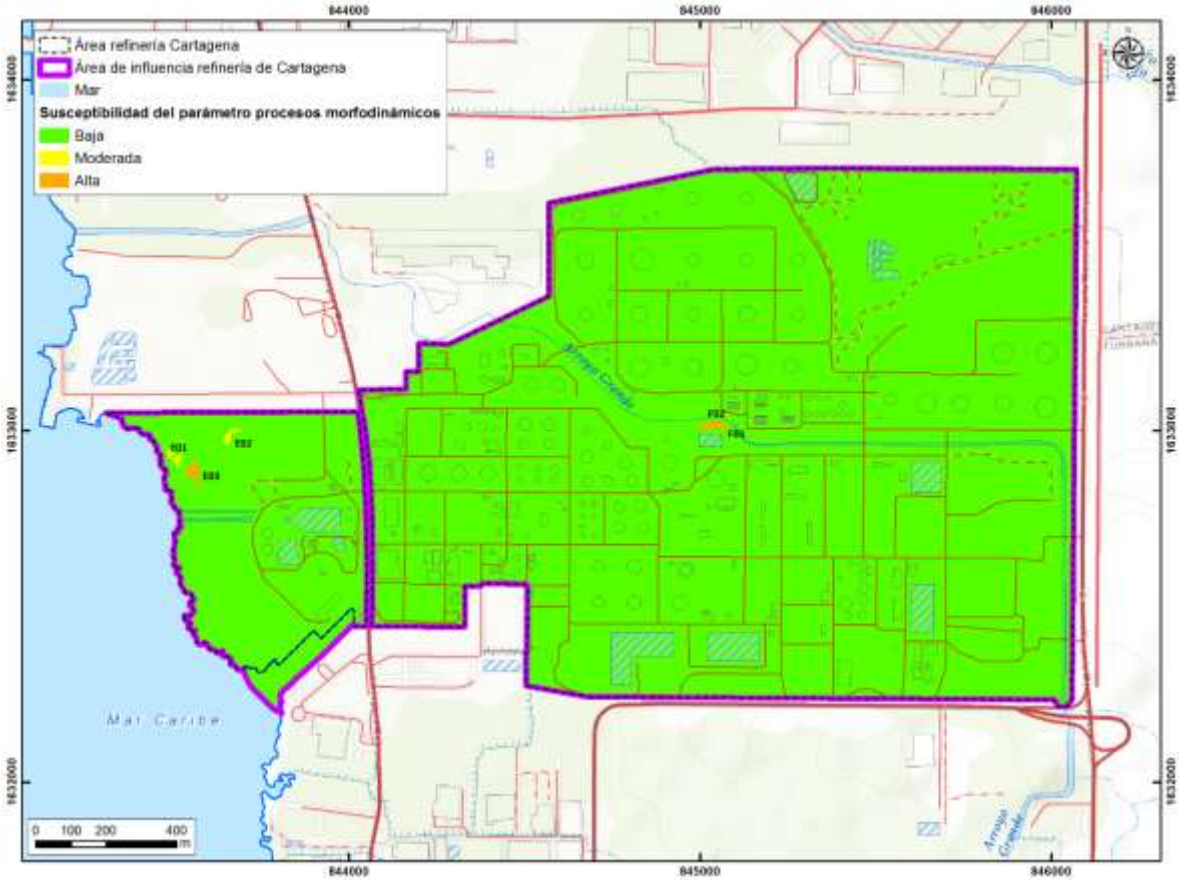
Los procesos erosivos de mayor afectación en el área de influencia del proyecto corresponden a erosión laminar (3 identificados) y socavación (2 identificados), que pueden presentarse en grado moderado y alto como se presentan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Valores de susceptibilidad por procesos morfodinámicos

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO (UCP)	PESO
Baja	2
Moderada	3
Alta	4

Fuente: Concol by WSP, 2019

Figura 3.9 Mapa de susceptibilidad por procesos morfodinámicos



Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.2 Susceptibilidad a los procesos de remoción en masa (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 procesos morfodinamicos.

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 3.11.

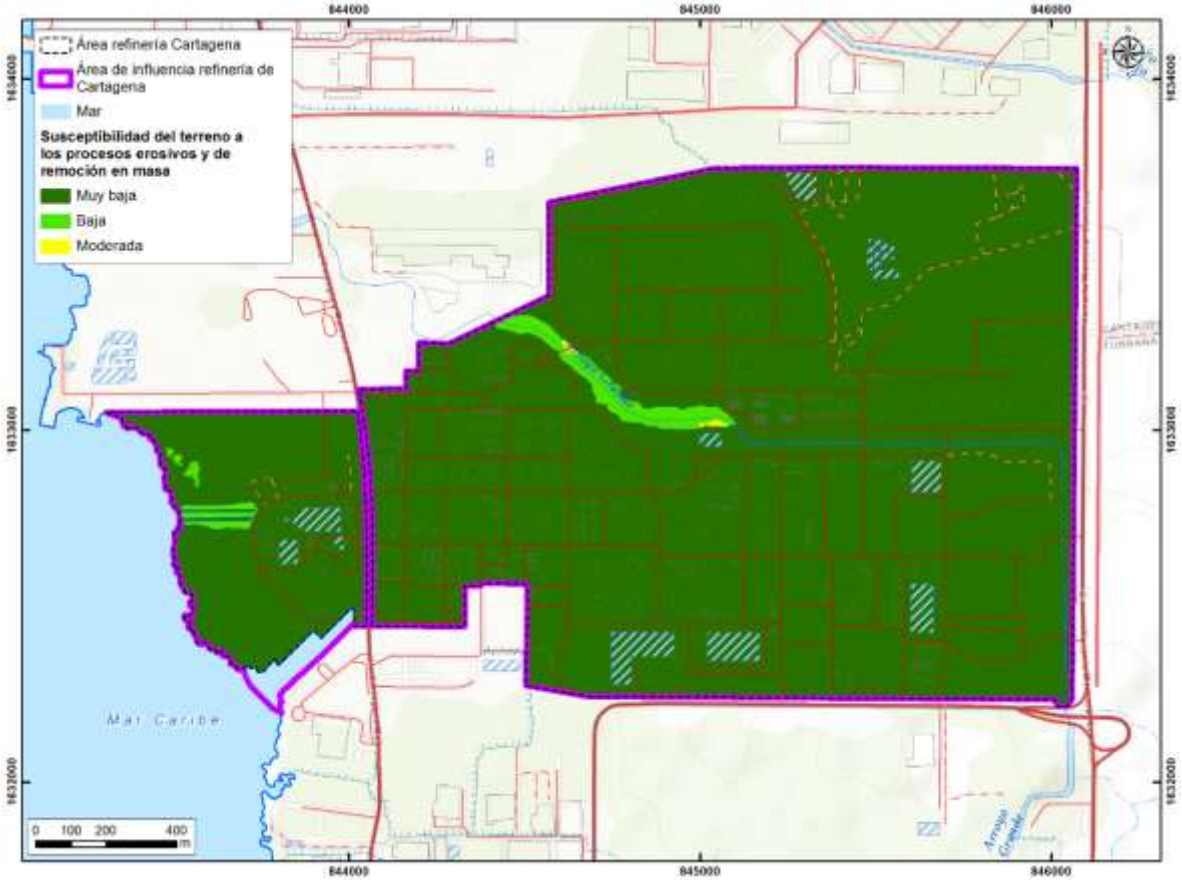
Tabla 3.11 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno

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: Concol by WSP, 2019

En la Figura 3.10 se presenta el mapa de susceptibilidad general del terreno a procesos erosivos y de remoción en masa.

Figura 3.10 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno



Fuente: Concol by WSP, 2019

Tabla 3.12 Áreas de susceptibilidad general del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa.

INTERVALOS	CATEGORÍAS DE SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA (ha)	ÁREA%
<16	Muy Baja	295,15	97,53
16-20	Baja	4,95	1,63
21-24	Moderada	0,19	0,06
25-26	Alta	0	0
>26	Muy Alta	0	0
Mar Caribe		2,35	0,78
Área total		**302,64,64**	**100,00**

Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.3 Factores detonantes

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

3.2.8.3.1 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 factor de precipitación se asignó de acuerdo con los valores del mapa de distribución de la precipitación. Como se muestra en la Tabla 3.13.

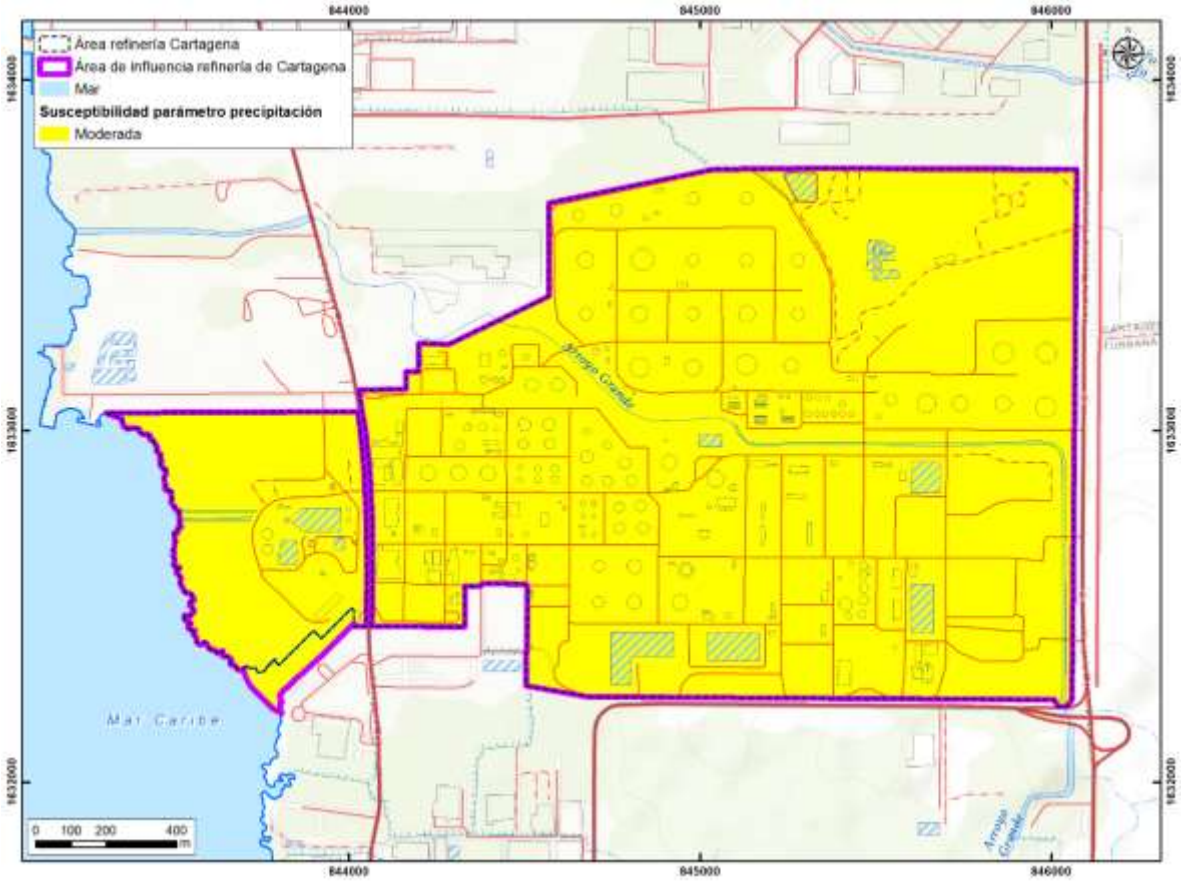
Tabla 3.13 Intervalos de categorías de precipitación

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	PESO
< 500 mm/año	Muy Baja	1
501 – 1000	Baja	2
1001 – 2000	Media	3
2001 – 3000	Alta	4
>3001	Muy Alta	5

Fuente: Concol by WSP, 2019

En la Figura 3.11 se presenta el mapa de factor detonante por precipitación.

Figura 3.11 Mapa factor detonante por precipitación



Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.3.2 Sismicidad (FS)

El factor detonante por sismicidad se determinó con base en los resultados del Mapa de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & UNAL, 2010), el cual presenta una zonificación de la amenaza sísmica en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA por sus siglas en ingles), que representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia.

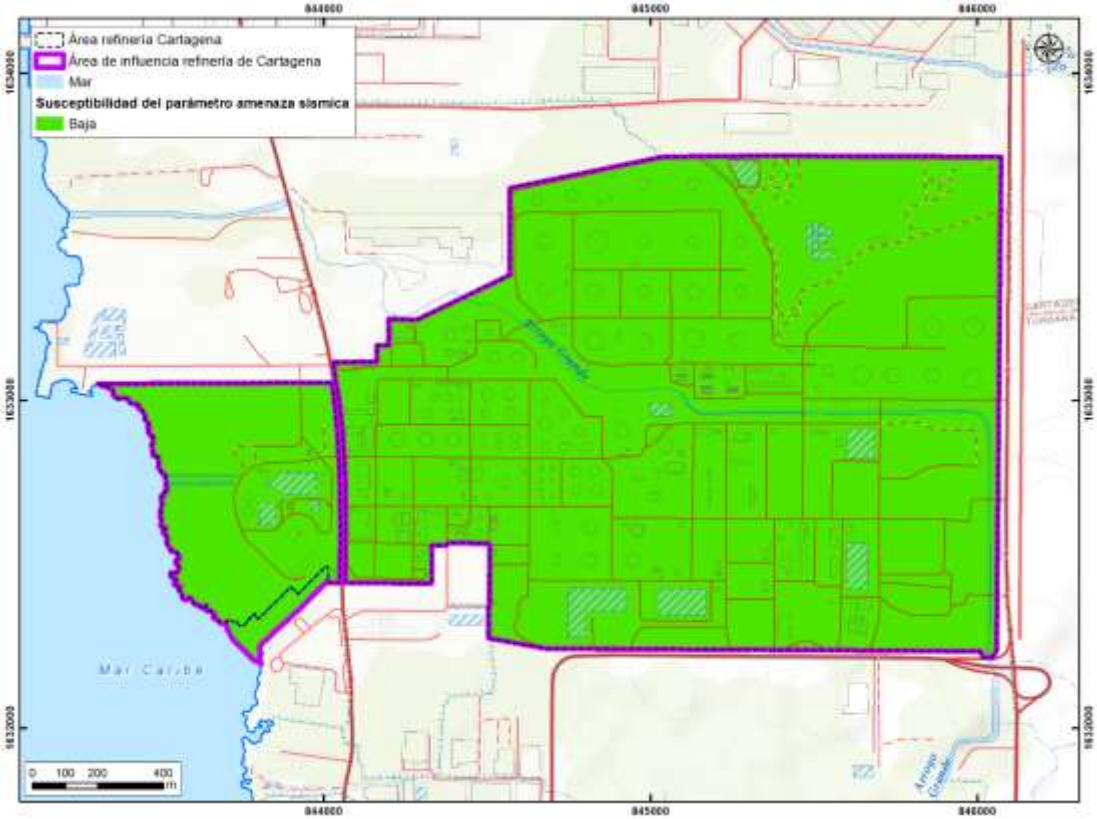
El Mapa de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & UNAL, 2010), considera valores de PGA (cm/s²) en un rango desde 0 – 750 PGA, el área de influencia se encuentra en el rango de 50 – 100 cm/s², en su totalidad, en la Tabla 3.14 se observa el peso que se les da para evaluar la susceptibilidad a la sismicidad. En la Figura 3.12 se observa la distribución espacial del factor detonante por sismicidad.

Tabla 3.14 Intervalos de categorías de sismicidad

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO (UCP)	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	PESO
< 50 cm/s²	Muy Baja	1
50 – 100 cm/s²	Baja	2
100 – 250 cm/s²	Moderada	3

Fuente: Concol by WSP, 2019

Figura 3.12 Mapa factor detonante por sismicidad



Fuente: Concol by WSP, 2019

En la Tabla 3.15 se presenta el resumen de las calificaciones para cada variable.

Tabla 3.15 Resumen de calificaciones

VARIABLE	UNIDAD	SIMBOLO	PESO
GEOLOGÍA	Depósitos aluviales recientes	Qalr	5
	Depósitos de Manglar	Qmm	3
	Depósitos de Playa	Qpm	4
	Depósitos de Llanura Costera	Qfl	2
	Formación Bayunca	Ngb	3
GEOMORFOLOGIA	Canal Artificial	Aca	2
	Planos y llenos antrópicos para construcciones industriales	Ar	1
	Llanuras costeras	Mllc	2
	Planos y llanuras con vegetación halófila (Manglares)	Mvp	3
	Cauce Aluvial	Fca	4
HIDROGEOLOGIA	Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	A1	3
	Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio < de 0.05 l/s/m.	C1	1
COBERTURA VEGETAL	Zonas industriales o comerciales	121	1
	Manglar denso alto	311122	1
	Bosque de galería y ripario	314	1
	Plantaciones latifoliadas	3152	1
	Vegetación secundaria o en transición	323	2
	Canales	513	1
DENSIDAD DE DRENAJES	< 1,5		1
	1,5 – 3		2
	3 - 4,5		3
	4,5 – 6		4
	> 6		5
FALLAS GEOLOGICAS	Falla Mamonal		2
	Falla Pasacaballos		2
PENDIENTES	Plano a Ligeramente Plano	1 - 3%	1
	Ligeramente Inclinado	3 - 7%	2
	Moderadamente Inclinado	7 - 12%	3
	Fuertemente Inclinado	12 - 25%	3
	Ligeramente Escarpado o Ligeramente Empinado	25 - 50%	4
PROCESOS MORFODINÁMICOS	Erosión Laminar	E01	3
	Erosión Laminar	E02	3
	Erosión Laminar	E03	4
	Socavación lateral	F01	4

VARIABLE	UNIDAD	SIMBOLO	PESO
	Socavación lateral	F02	4
PRECIPITACIÓN	1001 – 2000		3
SISMICIDAD	50 -100		2

Fuente: Concol by WSP, 2019

3.2.8.4 Zonificación Geotécnica (ZG)

Con base en la interacción de los factores intrínsecos y los factores desencadenantes o detonantes que intervienen en la generación de los fenómenos de remoción en masa, 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 de remoción en masa).
ST = Susceptibilidad total del terreno a los procesos de remoción en masa.
FP = Factor detonante por precipitación.
FS = Factor detonante por sismicidad.

La zonificación geotécnica del área de influencia se dividió en cinco categorías de amenazas, como se muestra en la Tabla 3.16, que van desde muy alta a muy baja (IA, IB, II IIA y IIB) y corresponden a la agrupación metodológica de zonas homogéneas de los factores de ponderación evaluados.

Tabla 3.16 Categorías de amenaza relativa del terreno

RANGOS DE VALORES	CATEGORÍA DE AMENAZA		ESTABILIDAD GEOTÉCNICA
< 12	Muy Baja	IIIB	Muy Alta
12 – 15	Baja	IIIA	Alta
16 – 20	Moderada	II	Moderada
21 – 25	Alta	IB	Baja
> 25	Muy Alta	IA	Muy Baja

Fuente: Concol by WSP, 2019

En la Tabla 3.17 se muestra un resumen de las características de las áreas resultantes en la clasificación de amenazas por procesos de remoción en masa en el área de influencia.

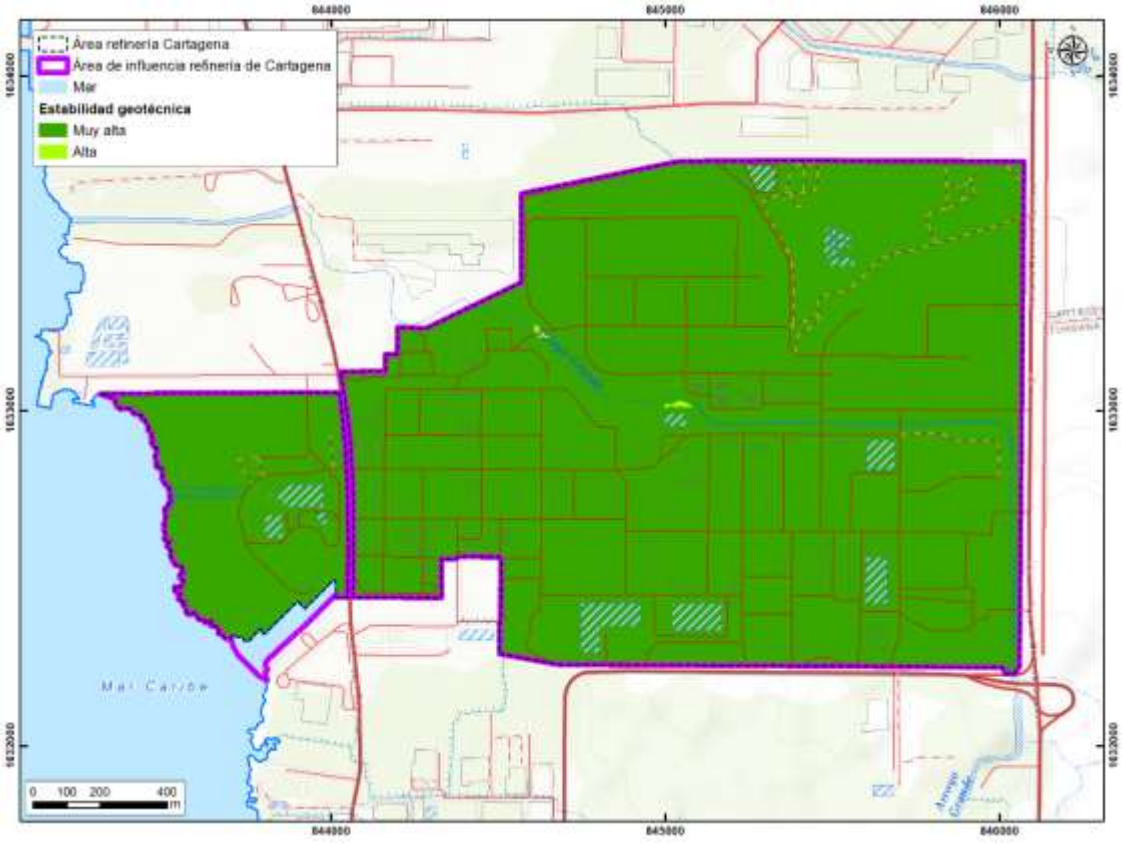
Tabla 3.17 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica del área de influencia

UNIDAD	CATEGORÍA AMENAZA	ESTABILIDAD GEOTECNICA	DESCRIPCIÓN	ÁREA Has	ÁREA %
IIIA	Baja	Alta	Son zonas en donde las condiciones del terreno no presentan mayores riesgos de generación de PRM y procesos erosivos. Se caracterizan	0,19	0,06

UNIDAD	CATEGORÍA AMENAZA	ESTABILIDAD GEOTECNICA	DESCRIPCIÓN	ÁREA Has	ÁREA %
			por un predominio de depósitos aluviales, Las pendientes presentes en las zonas son los rangos de 25 - 50% y de 3 – 7%. La sismicidad en esta zona se caracteriza por estar entre los rangos de 50 - 100 PGA, el factor de precipitación es moderado en toda el área.		
IIIB	Muy baja	Muy alta	Son zonas donde no se presentan PRM ni procesos erosivos, presenta pendientes entre 1 y 3%, La sismicidad en esta zona se caracteriza por estar entre los rangos de 50 - 100 PGA, el factor de precipitación es moderado en toda el área.	300,10	99,16
Mar Caribe				2,35	0,78
Área total				**302,64**	**100,00**

Fuente: Concol by WSP, 2019

Figura 3.13 Mapa de zonificación geotécnica en el área de influencia.



Fuente: Concol by WSP, 2019.