



Agencia Nacional de
Infraestructura



**CONCESIÓN RUTA DEL CACAO
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
CORREDOR VIAL BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA – YONDO**

CONTRATO DE CONCESIÓN APP 013 DE 2015

CONSULTOR

CAPITULO 5.1.9 GEOTECNIA

BOGOTÁ

MAYO 2016

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
CORREDOR VIAL BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

DEPENDENCIA	No. DE COPIAS
INTERVENTORÍA	ORIGINAL
CONCESIONARIO	COPIA

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Título Documento		ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN CORREDOR VIAL BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO		
Documento No.		AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA CÓDIGO CONCESIÓN- CONTRATO -ESPECIALIDAD- VERSIÓN		
A P R O B A C I O N	Número de Revisión			
	Responsables por elaboración	NOMBRE	Juan Camilo Pineda	Ingeniero Civil
		FIRMA		
		MAT:		
		FECHA		
	Responsable por revisión y aprobación	NOMBRE	Nicolas Suescun	Coordinador de Proyecto
		FIRMA		
		MAT:		
		FECHA		

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

**CONCESIÓN RUTA DEL CACAO
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
PROYECTO BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO**

CONTROL DE MODIFICACIÓN DEL DOCUMENTO

REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CONCESIÓN RUTA DEL CACAO

**CAPITULO 5.1.9 GEOTECNIA
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
PROYECTO BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
5. CARACTERIZACIÓN ÁREA DE INFLUENCIA	1
5.1 MEDIO ABIOTICO.....	1
5.1.9 GEOTECNIA	1
5.1.10 Zonificación Geotécnica	5
5.1.11 Modelación de las variables.....	8
5.1.12 Susceptibilidad a los procesos de remoción en masa (PRM).....	32
5.1.13 Factores detonantes	34
5.1.14 Amenaza relativa del terreno	38
5.1.15 Caracterización geotécnica de túneles	42

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CONCESIÓN RUTA DEL CACAO

**CAPITULO 5.1.9 GEOTECNIA
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
PROYECTO BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO**

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 5-1 Sitios inestables identificados dentro del área de estudio.	1
Tabla 5-2 Categoría y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables.	8
Tabla 5-3 Valores de susceptibilidad por Litología.	9
Tabla 5-4 Valores de susceptibilidad por Geomorfología.	12
Tabla 5-5 Valores de susceptibilidad por Hidrogeología.	15
Tabla 5-6 Valores de susceptibilidad por Cobertura de la tierra.	18
Tabla 5-7 Ponderación de drenajes según tipo.	21
Tabla 5-8 Valores de susceptibilidad por densidad de drenajes.	22
Tabla 5-9 Ponderación de fallas según tipo.	25
Tabla 5-10 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas.	25
Tabla 5-11 Valores de susceptibilidad por Pendientes.	28
Tabla 5-12 Valores de susceptibilidad por Intensidad de erosión.	30
Tabla 5-13 Intervalos de caracterización de la susceptibilidad general del terreno.	33
Tabla 5-14 Intervalos de categoría de precipitación.	35
Tabla 5-15 Intervalos de categoría por sismicidad.	36
Tabla 5-16 Categorías de zonificación geotécnica.	39
Tabla 5-17 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica.	40
Tabla 5-18 Clasificación tipo de rocas según Bieniawski.	43
Tabla 5-19 Tipos de terrenos presentes en el tunel de la paz.	44
Tabla 5-20 Clasificación tipo de rocas según Bieniawski.	45
Tabla 5-21 Tipos de terrenos presentes en el tunel de la Sorda.	46

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CONCESIÓN RUTA DEL CACAO

CAPITULO 5.1.9 GEOTECNIA ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN PROYECTO BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 5.1. Diagrama metodológico para la zonificación geotécnica.	7
Figura 5.2. Susceptibilidad por litología.....	10
Figura 5.3. Mapa de susceptibilidad por litología.	11
Figura 5.4. Susceptibilidad por geomorfología.	13
Figura 5.5. Mapa de susceptibilidad por geomorfología.	14
Figura 5.6. Susceptibilidad por hidrogeología.	16
Figura 5.7. Mapa de susceptibilidad por hidrogeología.	17
Figura 5.8. Susceptibilidad por coberturas.	20
Figura 5.9. Mapa de susceptibilidad por coberturas.	21
Figura 5.10. Susceptibilidad por densidad de drenajes.	23
Figura 5.11. Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes.	24
Figura 5.12. Susceptibilidad por densidad de fallas.	26
Figura 5.13. Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas.	27
Figura 5.14. Susceptibilidad por pendientes.	28
Figura 5.15. Mapa de susceptibilidad por pendientes.	29
Figura 5.16. Susceptibilidad por intensidad de erosión.	31
Figura 5.17. Mapa de susceptibilidad por intensidad de erosión.	32
Figura 5.18. Susceptibilidad general del terreno en el AE.	33
Figura 5.19. Mapa de susceptibilidad por general del terreno.	34
Figura 5.20. Factor detonante por precipitación.	35
Figura 5.21. Mapa detonante por precipitación.	36
Figura 5.22. Factor detonante por sismicidad.	37
Figura 5.23. Mapa detonante por sismicidad.....	38
Figura 5.24. Distribución de la zonificación geotécnica en el AE.....	39
Figura 5.25. Mapa de zonificación geotécnica a procesos erosivos y de remoción en masa.	42
Figura 5-26Planta Perfil geotécnico del túnel La Paz.....	44
Figura 5-27Planta Perfil geotécnico del túnel La Sorda.....	47

5. CARACTERIZACIÓN ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIOTICO

5.1.9 GEOTECNIA

5.1.9.1 Descripción Geotécnica del corredor

Se realizó un análisis de estabilidad geotécnico a lo largo de la zona de influencia del corredor identificando sitios o sectores inestables y depósitos no consolidados o sin coberturas de suelos. Dichos movimientos fueron incluidos dentro del desarrollo de la zonificación geotécnica y que busca identificar las diferentes zonas de amenaza geotécnica a partir de la interacción de varias variables.

5.1.9.2 Sitios inestables

Desde el punto de vista de estabilidad, mediante información secundaria y durante el recorrido en campo se identificaron 15 sitios con procesos de inestabilidad relevantes o de importancia especial los cuales debido a las condiciones geológicas de los materiales, depósitos sin consolidar, o baja cobertura de suelos, son sitios con muy baja a baja estabilidad geotécnica, en la Tabla 5-1 se describen puntualmente cada sitio.

Tabla 5-1 Sitios inestables identificados dentro del área de estudio.

#	UF	ABSCISA	FOTO	DESCRIPCIÓN
1	2	K15+440 A K15+480 - CALZADA DERECHA		En este tramo se presenta un daño en el terraplén, el cual está contenido por un muro de concreto.
2	4	K2+370 A K2+400 - CALZADA IZQUIERDA		El talud rocoso presenta caída de rocas y flujos de detritos.

#	UF	ABSCISA	FOTO	DESCRIPCIÓN
3	4	K15+300 A K15+400 - CALZADA DERECHO		En el tramo de la abscisa K15+300 a la K15+400 se observan procesos de reptación en el terreno, se observan varios escarpes de falla y algunas obras de contención al costado derecho de la vía como muros de gaviones.
4	4	K17+100 A K17+200 - AMBOS COSTADOS		En el tramo de la abscisa K17+100 a la K17+200 se observan procesos de reptación en el terreno a ambos costados de la vía existente, se observan varios escarpes de falla y algunas obras de contención al costado izquierdo de la vía que han presentado falla.
5	4	K17+400 A K17+450 - CALZADA DERECHA		Flujo de detritos en talud sin vegetación con presencia de cárcavas, se observa la susceptibilidad del material a agentes erosivos que en temporadas de invierno representa una amenaza geotécnica para el funcionamiento adecuado de la vía.
6	7	K92+850 A K92+870 - CALZADA DERECHA		En este sector se presentan varias zonas del área de estudio de depósitos coluviales que presentan movimientos lentos tipo reptación, con fallas locales tipo rotacional.

#	UF	ABSCISA	FOTO	DESCRIPCIÓN
7	7	K94+080 A K94+215 - CALZADA DERECHA		Depósitos coluviales que presentan movimientos lentos tipo reptación. Se observa fallas en las estructuras cercanas. Movimiento ubicado a 30 m de la vía nueva.
8	7	K96+350 A K96+450 - CALZADA DERECHA		Talud rocoso muy fracturado, se presenta falla en el terraplén de la vía de acceso y fallas planares en el talud rocoso. Talud ubicado a 200 m de la vía nueva.
9	8	K99+900 A K99+930 - CALZADA IZQUIERDA		Talud rocoso muy fracturado, se presentan flujo de detritos y caídas de rocas.
10	8	K101+400 A K101+460 - AMBAS CALZADAS		En el tramo K101+400 aK101+460 de la unidad funcional 8 se presenta un depósito coluvial el cual está reptando generando deformaciones en la estructura de pavimento.

#	UF	ABSCISA	FOTO	DESCRIPCIÓN
11	8	K101+940 A K101+990 - CALZADA DERECHA		Talud de 30 m de altura aproximadamente en el cual se presentan fallas planares del material rocoso debido a que el corte de la vía está a favor de la pendiente de buzamiento de la estratificación, se observa evidencias de actividad.
12	8	K102+330 A K102+400 - CALZADA DERECHA		En el tramo del K102+330 al k102 +400 hay un talud rocoso el cual presenta caída de bloques y flujo de detritos, debido a que el corte de la vía está a favor del buzamiento de la estratificación de la roca.
13	8	K102+880 A K102+930 - CALZADA DERECHA		En el tramo K102+880 a K102+930 se presentan movimiento en las laderas tipo reptación debido al buzamiento de la roca que favorece el desplazamiento lento del suelo residual.
14	8	K104+430 A K104+480 - CALZADA DERECHA		Deslizamiento tipo rotacional progresivo que afecto una parte de la calzada existente.

#	UF	ABSCISA	FOTO	DESCRIPCIÓN
15	9	K107+520 A K107+780 - CALZADA DERECHA		En el tramos K107+520 al 107+780 al costado derecho de la vía se presenta un proceso morfodinámico de reptación el cual se evidencia con marcaciones en el terreno de pata de vaca.

Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.

5.1.10 Zonificación Geotécnica

La zonificación geotécnica del área de estudio consiste en la división del terreno en zonas geotécnicamente homogéneas, calificadas de acuerdo con las condiciones de estabilidad que pueden afectar la construcción y operación del proyecto Ruta del Cacao, 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, densidad de fallas, 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 erosivos y de remoción en masa, calificada desde muy baja a muy alta, de acuerdo con el esquema metodológico de la figura modificada de Vargas, 1999.

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

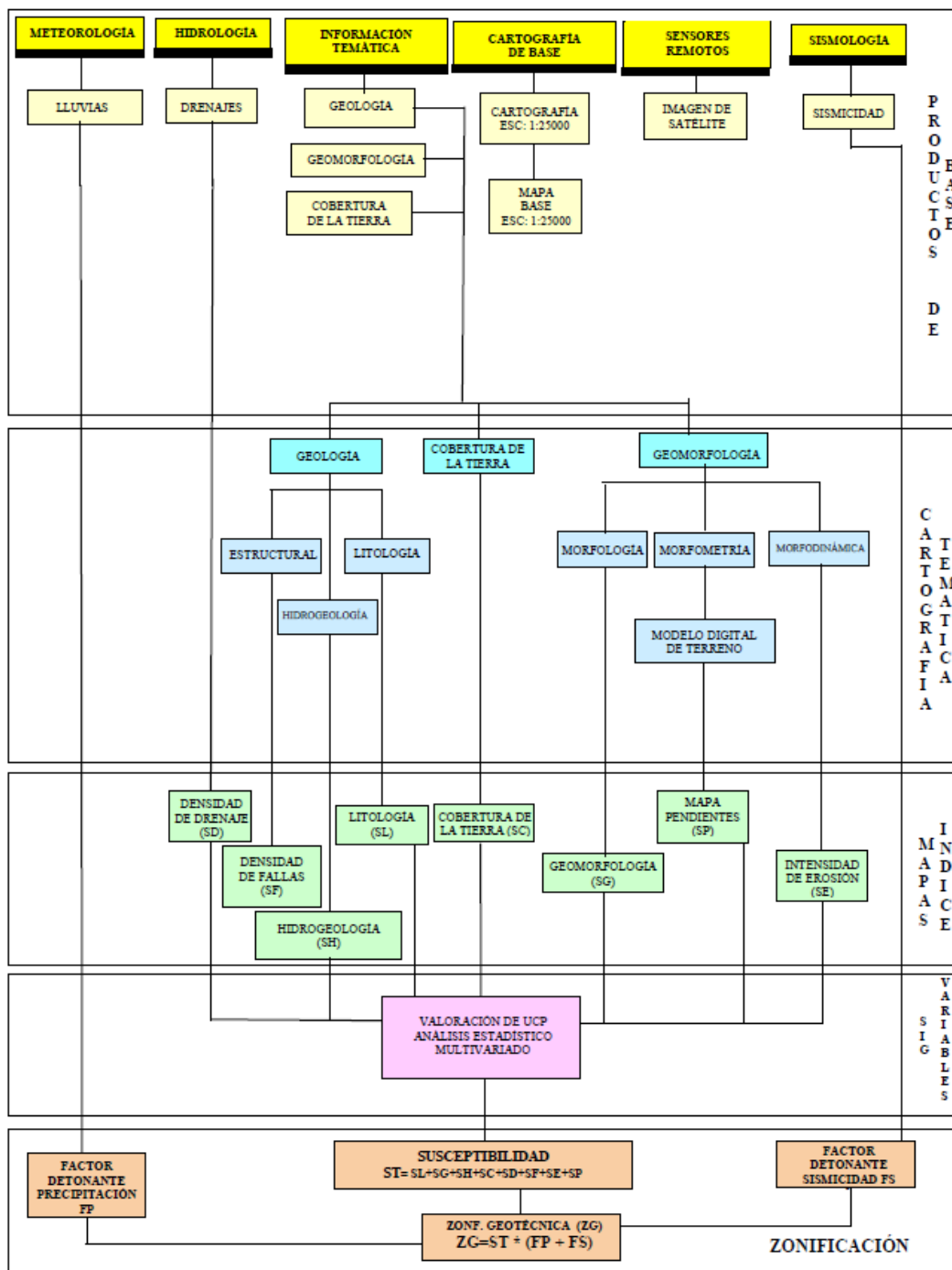
- Recopilación, revisión y análisis de información existente. En esta etapa de trabajo se realizó el análisis de la información existente que se incorporó al modelo de análisis.
- Elaboración del mapa base digital, escala 1:25.000 del IGAC; incluye curvas de nivel, drenajes, vías y zonas urbanas entre otras.
- Estudio de las variables geoambientales o factores del terreno. Análisis y cartografía de variables como litología (geología), geomorfología, hidrogeología, cobertura de la tierra, drenajes, fallas, deslizamientos y pendientes; de las cuales se obtienen los mapas peso.
- 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 a incorporar tienen topología de línea (por ej. fallas y drenajes) y polígonos (unidades cartográficas temáticas).
- Evaluación de variables. Con base en las características del área de estudio, 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.

- 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. Esta susceptibilidad es definida a partir del estudio y evaluación de los factores intrínsecos del terreno.
- 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.

A continuación en la Figura 5.1 se presenta la metodología generalizada para la realización de la zonificación geotécnica.

Figura 5.1. Diagrama metodológico para la zonificación geotécnica.



Fuente: Modificado de Vargas (2009).

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 5-2.

Tabla 5-2 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, 2016.

5.1.11 Modelación de las variables

Una vez establecidos semi-cuantitativamente los diferentes valores de susceptibilidad para cada Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) en cada una de las 8 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.

5.1.11.1 Litología (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, inundaciones y/o procesos de remoción en masa. (Vargas, 1999).

Para el caso de la zona de estudio, se asignó el valor de susceptibilidad Muy Alta (5) a depósitos coluviales; se calificaron como rocas de susceptibilidad Alta (4), a las rocas sedimentarias (Lutitas) de las formaciones Paja, Simiti, Umir y Lisama; se calificaron como susceptibilidad Moderada (3) a las rocas arcillolitas y a los conglomerados de la formación Girón, Mugrosa y La Paz y a los Depósitos Aluviales y Terrazas Aluviales; las rocas areniscas y calizas como susceptibilidad baja de las formaciones Rosa Blanca, Tablazo, Tambor, La Luna, y Colorado. En la Tabla 5-3 se observa el resumen de estas calificaciones.

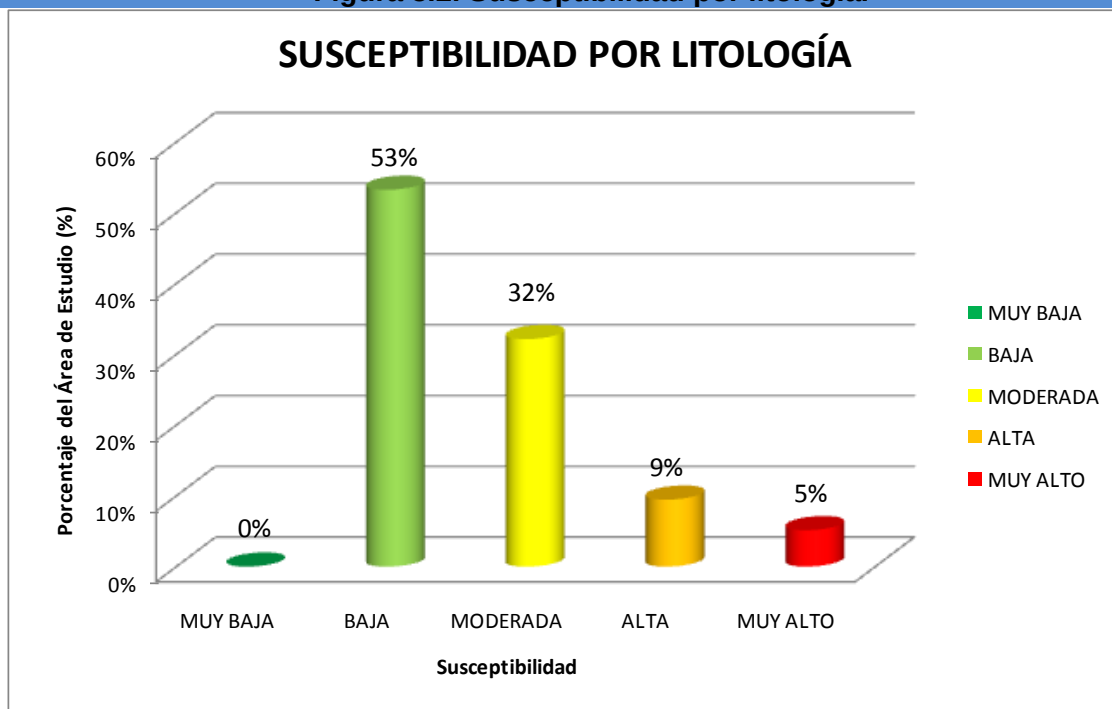
Tabla 5-3 Valores de susceptibilidad por Litología.

SIMBOLO	UNIDAD CARTOGRÁFICA	PESO
Jg	Formación Girón	3
Kip	Formación Paja	4
Kir	Formación Rosa Blanca	2
Kis	Formación Simiti	4
Kit	Formación Tablazo	2
Kita	Formación Tambor	2
Ksl	Formación La Luna	2
Ksu	Formación Umir	4
Qal	Depósitos de cauce y llanura aluvial	3
Qd	Depósito derrubio o coluvial	5
Qre	Material de relleno	5
Qt	Depósitos de terrazas aluvial	3
Tee	Formación Esmeraldas	2
Tel	Formacion La Paz	3
Tmr	GRUPO REAL	2
Toc	FORMACIÓN COLORADO	2
Tomi	Formacion Mugrosa	3
Toms	Formacion Mugrosa	3
Tpl	FormacionLisama	4

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.2 se muestra que el 5% (280.76 ha) del área de estudio presenta susceptibilidad Muy Alta, el 9% (516.18 ha) del AII presenta susceptibilidad Alta, el 32% (1754.89 ha) Moderada y el 53%(2906.07 ha) susceptibilidad baja.

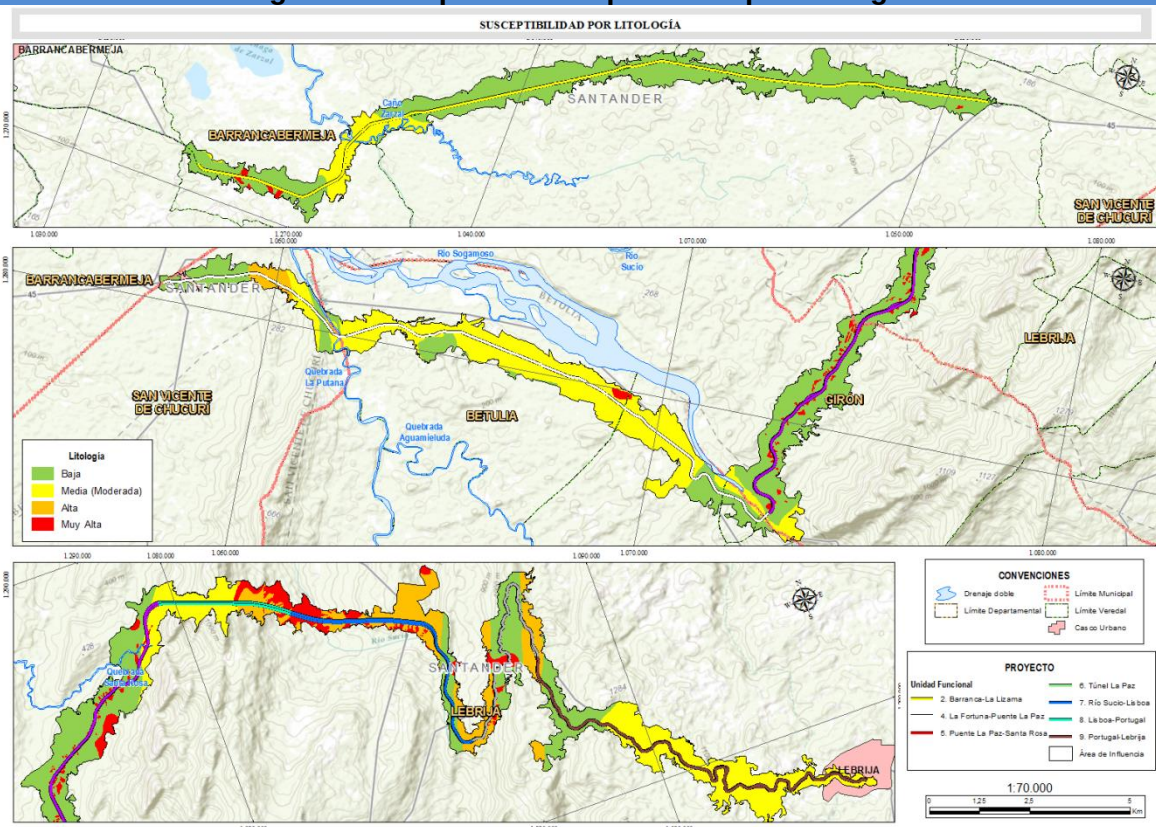
Figura 5.2. Susceptibilidad por litología.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.3 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masas para el área de estudio de acuerdo a la sectorización por litología.

Figura 5.3. Mapa de susceptibilidad por litología.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.11.2 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 (Vargas, 1999).

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 estudio 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 5-4 se presenta la calificación de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, de acuerdo con las unidades geomorfológicas en el área de estudio.

Tabla 5-4 Valores de susceptibilidad por Geomorfología.

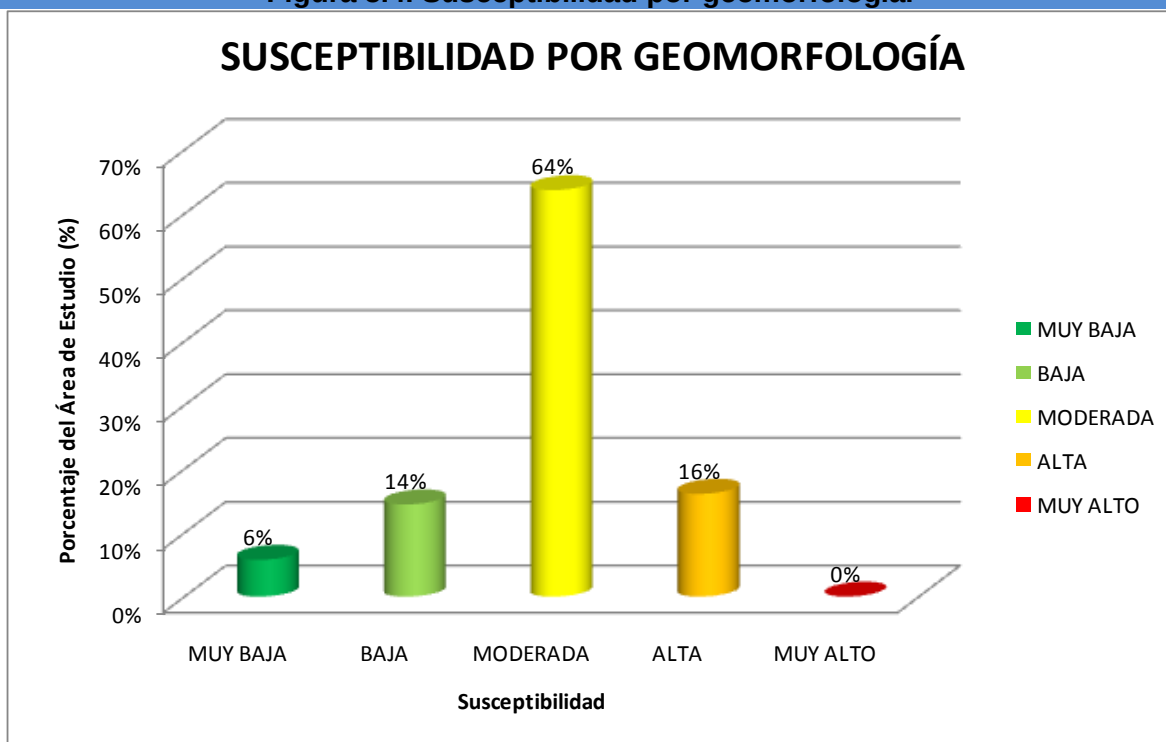
SIMBOLO	UNIDAD CARTOGRÁFICA	PESO
Ac	Cantera	3
Fca	Cauce aluvial	2
Dcr	Colina residual	3
Dcrd	Colina residual disectada	3
Dco	Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión	3
Dcr	Dcr	3
Dco	Depósitos coluviales	5
Dldi	Dldi	3
Dle	Dle	3
Dmo	Dmo	4
Ftae	Escarpe de terraza de acumulacion	4
Se	Espinazo	4
Asp	Explanación	2
Fca	Fca	2
Fpi	Fpi	1
Ftae	Ftae	3
Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	3
Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	3
Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	3
Dlor	Loma residual	3
Dldi	Lomeríos disectados	3
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	4
Dp	Planicie	2
Dpcd	Planicie colinada denudada	3
Fpi	Plano o llanura de inundacion	1
Are	Relleno	3
Se	Se	4
Ssbe	Sierra de barras estructurales	3

SIMBOLO	UNIDAD CARTOGRÁFICA	PESO
Ssslc	Ssslc	3
Sssle	Sssle	3
Ftas	Terraza de acumulación subreciente	2

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

La Figura 5.4 muestra que el 16.1% (879.02 ha) del área de estudio presenta susceptibilidad alta, el 63.7% (3476.43 ha) presenta susceptibilidad moderada, el 14.4% (788.37 ha) presenta susceptibilidad baja y el 5.8% (314.09 ha) susceptibilidad muy baja.

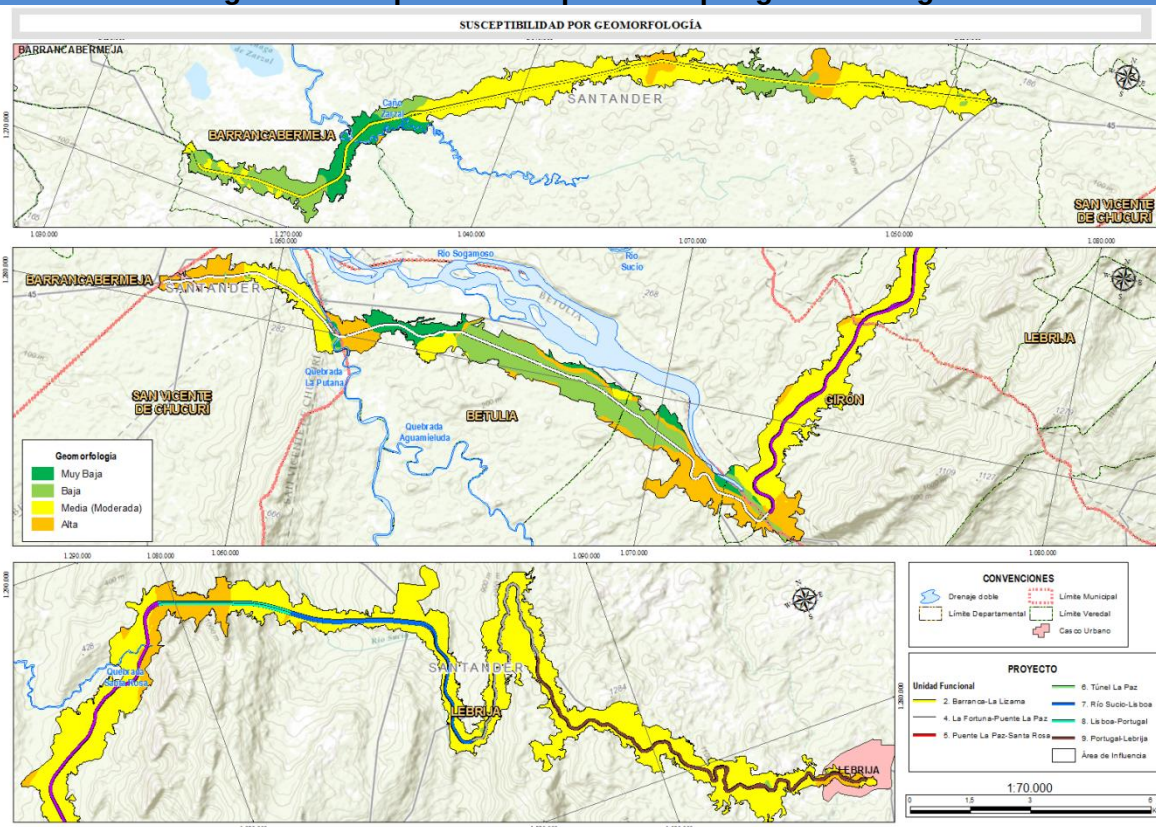
Figura 5.4. Susceptibilidad por geomorfología.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En Figura 5.5 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de estudio de acuerdo a la sectorización por geomorfología.

Figura 5.5. Mapa de susceptibilidad por geomorfología.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.11.3 Hidrogeología (SH)

Las diferentes unidades hidrogeológicas se agrupan conformando unidades de roca 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. (Vargas, 1999). La valoración se hizo con base en las posibles alteraciones que pueda tener el comportamiento de las unidades hidrogeológicas, desde el punto de vista de meteorización y que puedan aportar en mayor o menor medida a la generación de procesos de remoción en masa.

De acuerdo con la clasificación de las unidades de roca frente al comportamiento hidrogeológico, se consideran los siguientes tipos:

- **Acuíferos.** Unidad(es) litológicas que permiten el almacenamiento y circulación de aguas debido a su porosidad, permeabilidad y/o fracturamiento. Dentro de estas formaciones se encuentran unidades litológicas de materiales no consolidados como gravas, arenas, y de materiales consolidados como calizas fracturadas, conglomerados, areniscas porosas y algunas formaciones

volcánicas. Estas unidades son económicamente explotables. Dentro de esta clasificación se incluyen los acuíferos libres, confinados, semiconfinados y acuíferos colgados.

- **Acuicludos.** Unidad o unidades litológicas 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 arcillolitas.
- **Acuitardos.** Unidad(es) litológica(s) que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmite muy lentamente; no son aptas 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.
- **Acuifugos.** Unidades litológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico no fracturado o rocas metamórficas sin meteorización ni fracturación; estos se consideran impermeables.

La mayor sensibilidad se presenta en acuíferos libres y semiconfinados. Debido a sus características de permeabilidad y capacidad de almacenamiento, el nivel de saturación de agua es mayor y la relación con la generación de procesos de remoción en masa es directa; la menor susceptibilidad a la ocurrencia de los procesos de remoción en masa la tienen las unidades más compactas y con menos saturación de agua como los acuitardos, acuicludos y acuíferos colgados.

En la Tabla 5-5 se presenta la calificación de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, de acuerdo con las unidades hidrogeológicas en el área estudio.

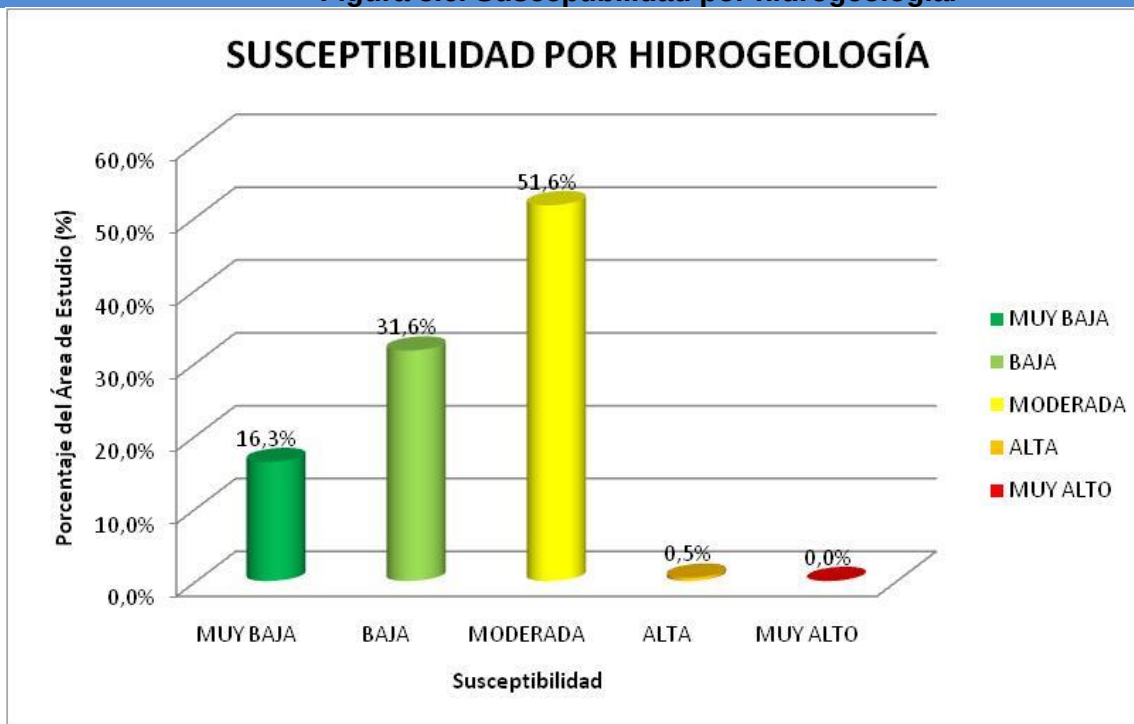
Tabla 5-5 Valores de susceptibilidad por Hidrogeología.

UNIDAD CARTOGRÁFICA	PESO
Acuíferos con muy Baja Productividad (Roca C)	1
Acuíferos de Baja Productividad (A)	2
Acuíferos de Baja productividad (Roca B)	2
Acuíferos de Baja Productividad (Roca B))	2
Acuíferos de Mediana Productividad (A)	3
Acuífero de Mediana Productividad (Roca B)	3
Acuíferos de Mediana Productividad (Roca B))	3
Acuíferos de Muy Alta Productividad (Roca B)	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

La Figura 5.6 muestra que el 0.5% (24.91 ha) del área de estudio presenta susceptibilidad alta, el 51.6% (2815.71 ha) presenta susceptibilidad moderada, el 31.6% (1726.32 ha) presenta susceptibilidad baja y el 16.3% (890.96 ha) susceptibilidad muy baja.

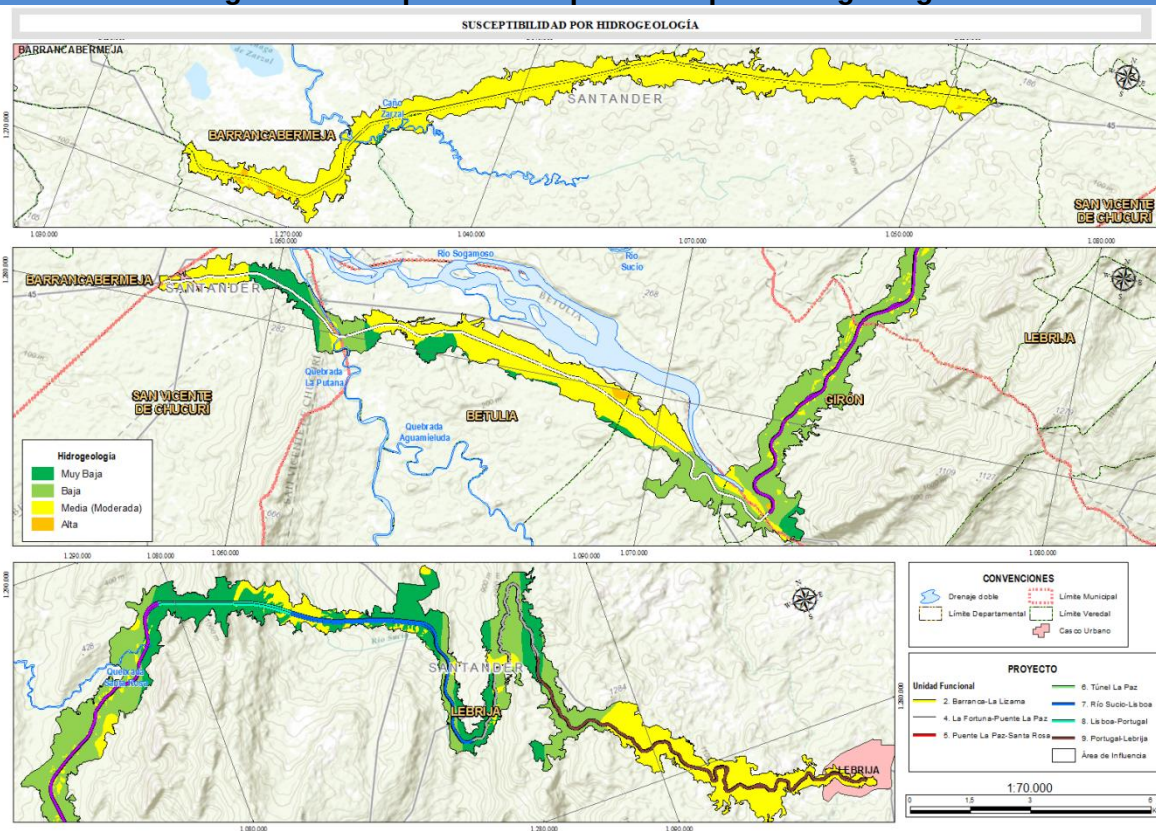
Figura 5.6. Susceptibilidad por hidrogeología.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.7se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de estudio de acuerdo a la sectorización por hidrogeología.

Figura 5.7. Mapa de susceptibilidad por hidrogeología.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.11.4 Cobertura de la Tierra (SC)

Las coberturas vegetales son elementos naturales de protección del suelo contra la erosión; según Roldan (2005) en Lianes(2008)¹, 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 radicales, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo; según Morgan (1997) en Lianes(2008) de este modo, la cantidad y calidad de la cobertura vegetal (protección vertical) disminuye notablemente la posibilidad de generación de procesos de remoción en masa según Marchamalo(2004)

¹Lianes, E., 2008. Estudio del Factor de Vegetación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo revisada en la Cuenca del Río Birrís, Costa Rica: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.

en Lianes (2008).

Por lo anterior, zonas que presentan coberturas bosque de galería, algunos cultivos y pastos arbolados presentan menor susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, que otras coberturas como zonas de extracción minera, que no cuentan con una vegetación o es muy débil que sirva de capa protectora o amortiguadora entre la atmosfera y el suelo.

En laTabla 5-6se presenta la calificación de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, de acuerdo con las unidades de coberturas de la tierra en el área de estudio.

Tabla 5-6 Valores de susceptibilidad por Cobertura de la tierra.

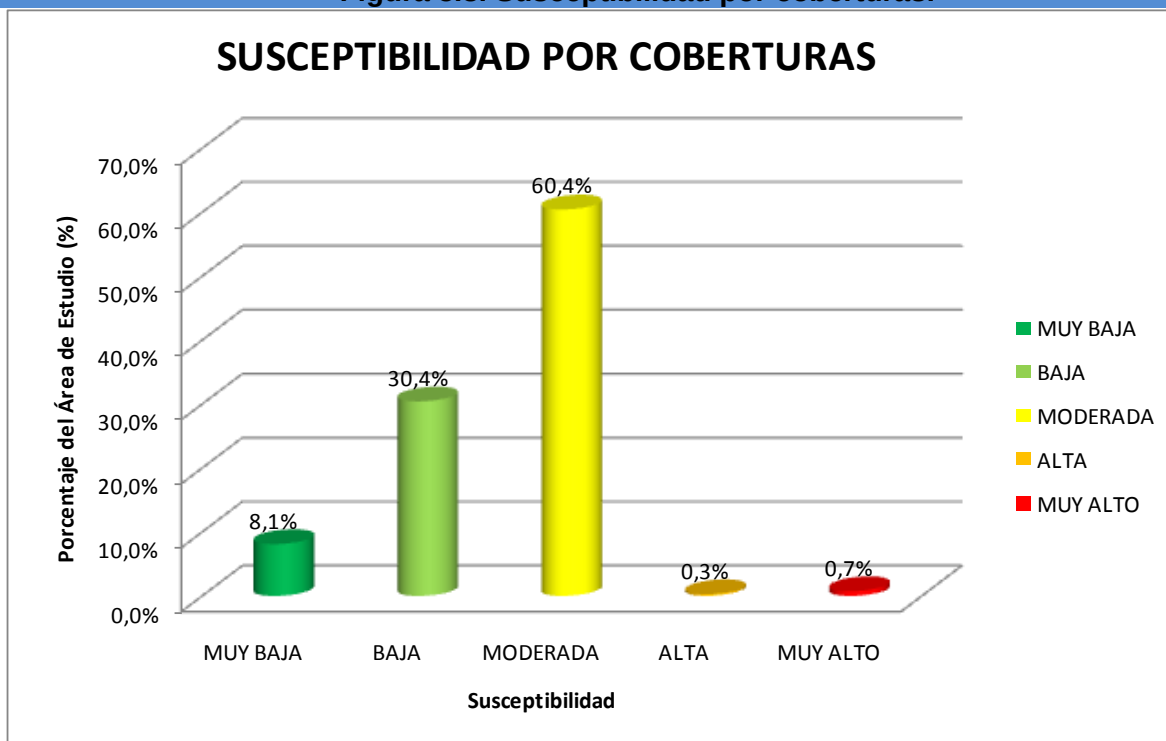
SIMBOLO	UNIDAD CARTOGRÁFICA	PESO
111	Tejido urbano continuo	2
112	Tejido urbano discontinuo	3
211	Otros cultivos transitorios	2
231	Pastos limpios	3
232	Pastos arbolados	2
233	Pastos enmalezados	3
241	Mosaico de cultivos	3
242	Mosaico de pastos y cultivos	3
332	Afloramientos rocosos	4
333	Tierras desnudas y degradadas	5
511	Ríos (50 m)	1
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	1
514	Cuerpos de agua artificiales	2
1131	Tejido Urbano	3
1132	Tejido Urbano	3
1211	Zonas industriales	3
1212	Zonas comerciales	3
1312	Explotación de hidrocarburos	2
1315	Explotación de materiales de construcción	5
1324	Relleno sanitario	4
1412	Parques cementerios	1
2112	Otros cultivos	2
2152	Yuca	2
2212	Caña	2
2223	Cacao	2
2232	Palma de aceite	2

SIMBOLO	UNIDAD CARTOGRÁFICA	PESO
2236	Cultivos permanentes	2
2431	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2
2441	Mosaico de pastos con espacios naturales	2
2451	Mosaico de cultivos y espacios naturales	2
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3
3141	Bosque de galería y/o ripario	1
3144	Bosque de galería y/o ripario	1
3151	Plantación de coníferas	2
3152	Plantación de latifoliadas	2
3231	Vegetación secundaria alta	2
3232	Vegetación secundaria baja	3
12111	Zonas industriales	3
14231	Áreas turísticas	1
22131	Plátano y banano	2
121112	Zonas industriales	3
122111	Red vial y territorios asociados	3
122112	Red vial y territorios asociados	3

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

La Figura 5.8 muestra que el 0.7% (40.84 ha) del área de estudio presenta susceptibilidad muy alta, el 0.3% (15.38 ha) presenta susceptibilidad alta, el 60.4% (3298.83 ha) presenta susceptibilidad moderada, el 30.4% (1660.12 ha) presenta susceptibilidad baja y el 8.1% (442.73 ha) susceptibilidad muy baja.

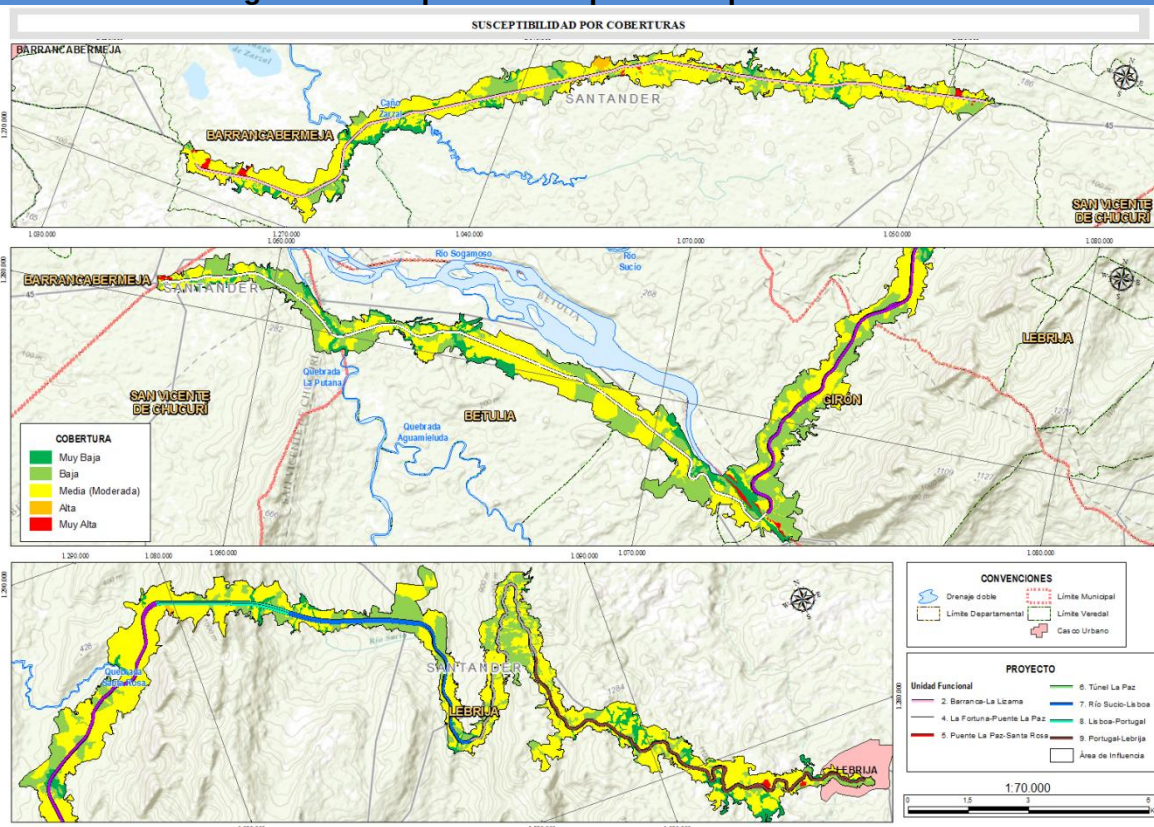
Figura 5.8. Susceptibilidad por coberturas.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.9 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de estudio de acuerdo a la sectorización por coberturas.

Figura 5.9. Mapa de susceptibilidad por coberturas.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.11.5 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 su potencial de arrastre, en sus dimensiones físicas y los datos hidráulicos de la base de datos (Ver Tabla 5-7).

Tabla 5-7 Ponderación de drenajes según tipo.

Tipo de Drenajes	Peso
Río Sogamoso	5
Drenajes Dobles	3
Drenajes Sencillos	2

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Posteriormente, mediante el procesamiento de la información en SIG se hizo el cálculo de la densidad de drenajes por unidad de área (m/km^2), estableciendo un radio de influencia de 1km.

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 5-7. El resultado de esta operación permitió clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías de la siguiente manera (ver Tabla 5-8).

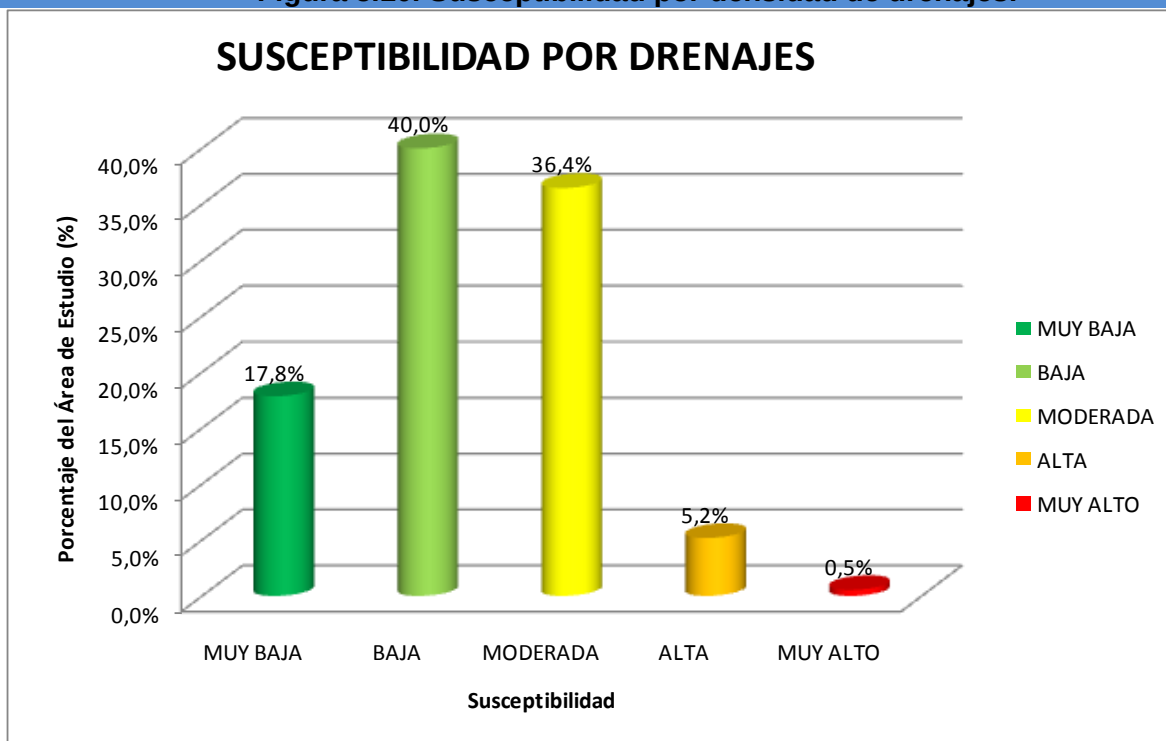
Tabla 5-8 Valores de susceptibilidad por densidad de drenajes.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO (UCP) (m/km^2)	PESO
<1.92	1
1.92-3.84	2
3.84-5.77	3
5.77 - 7.69	4
>7.69	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

La Figura 5.10 muestra que el 0.5% (29.25 ha) del área de estudio presenta susceptibilidad muy alta, el 5.2% (282.55 ha) presenta susceptibilidad alta, el 36.4% (1989.29 ha) presenta susceptibilidad moderada, el 40.0% (2182.89 ha) presenta susceptibilidad baja y el 17.8% (973.92 ha) susceptibilidad muy baja.

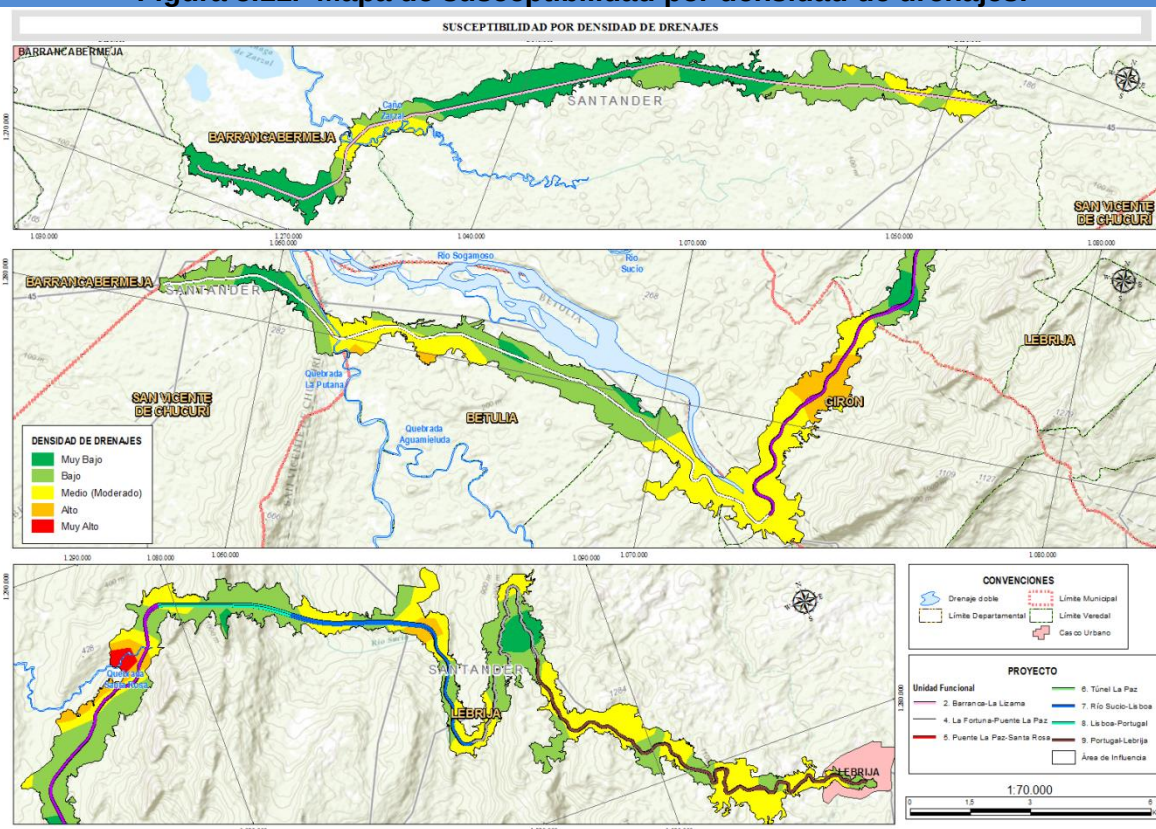
Figura 5.10. Susceptibilidad por densidad de drenajes.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.11se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de estudio de acuerdo a la sectorización por densidad de drenajes.

Figura 5.11. Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.11.6 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 (actual Servicio Geológico Colombiano). En la Tabla 5-9 se presenta las calificaciones dadas a los diferentes tipos de fallas.

Tabla 5-9 Ponderación de fallas según tipo.

Tipo de Drenajes	Peso
Lineamiento fotogeológico	2
Falla cubierta	2
Falla de Arrugas - Falla inversa o de cabalgamiento	4
Falla de La Salina - Falla inversa o de cabalgamiento	4
Falla inferida	3
Falla de Infantas - Falla inversa o de cabalgamiento	4
L H - Falla inferida con indicación de movimiento	3
Falla definida Río Sogamoso	4

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Posteriormente, mediante el procesamiento de la información en SIG se hizo el cálculo de la densidad de fallas por unidad de área (m/km^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.

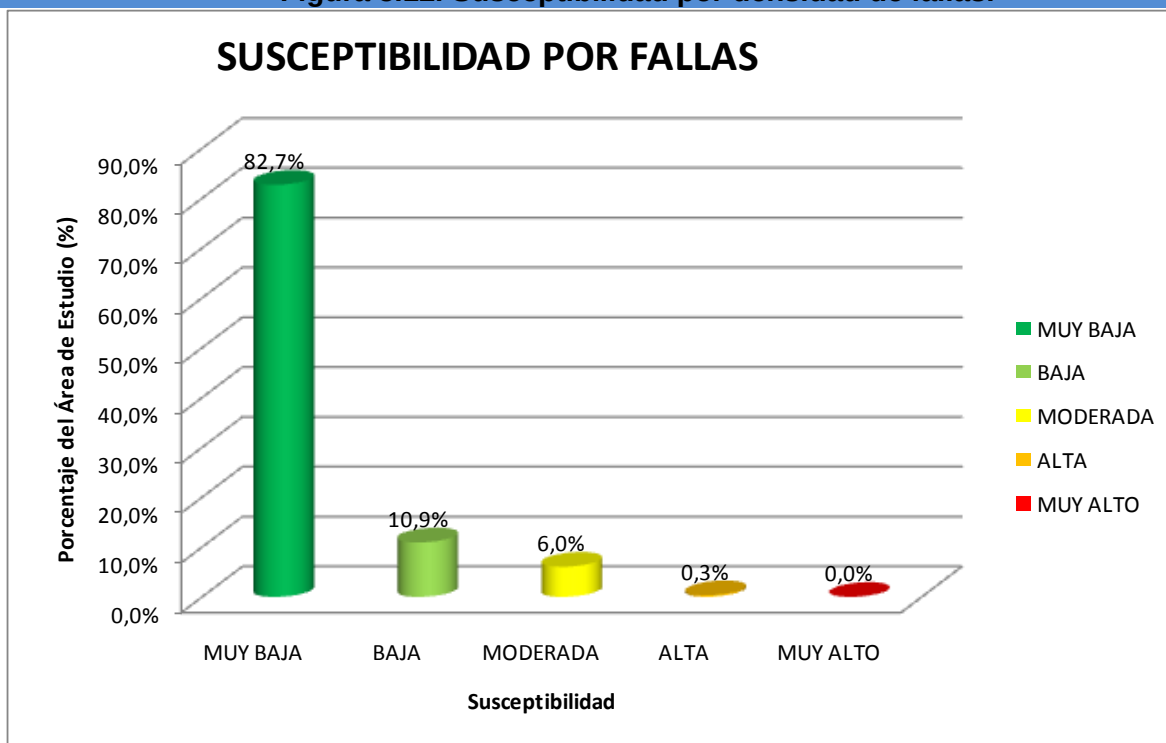
Tabla 5-10 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO (UCP) (m/km^2)	PESO
<0.3	1
0.3-0.63	2
0.63-1.08	3
1.08 - 1.41	4
>1.41	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

La Figura 5.12 muestra que el 0.3% (18.24 ha) presenta susceptibilidad alta, el 6.0% (330 ha) presenta susceptibilidad moderada, el 10.9% (596.75 ha) presenta susceptibilidad baja y el 82.7% (4512.92 ha) susceptibilidad muy baja.

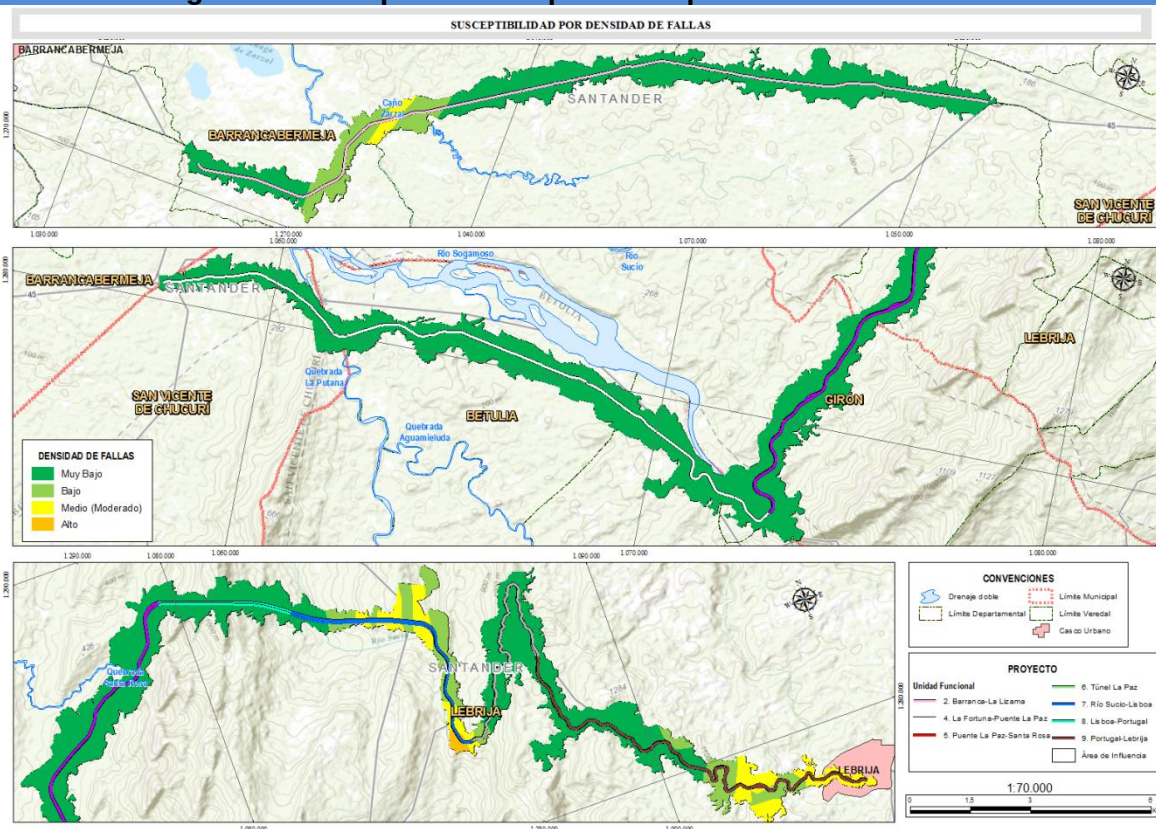
Figura 5.12. Susceptibilidad por densidad de fallas.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.13se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de estudio de acuerdo a la sectorización por densidad de fallas.

Figura 5.13. Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.11.7 Pendientes del terreno (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 estudio. Se establecieron cinco categorías, donde a las pendientes escarpadas y muy escarpadas se les asignó el peso de 4 y 5, mientras que a los terrenos ligeramente planos y planos se les asignó el peso más bajo. En la Tabla 5-11 se presentan las calificaciones dadas a las diferentes pendientes del terreno.

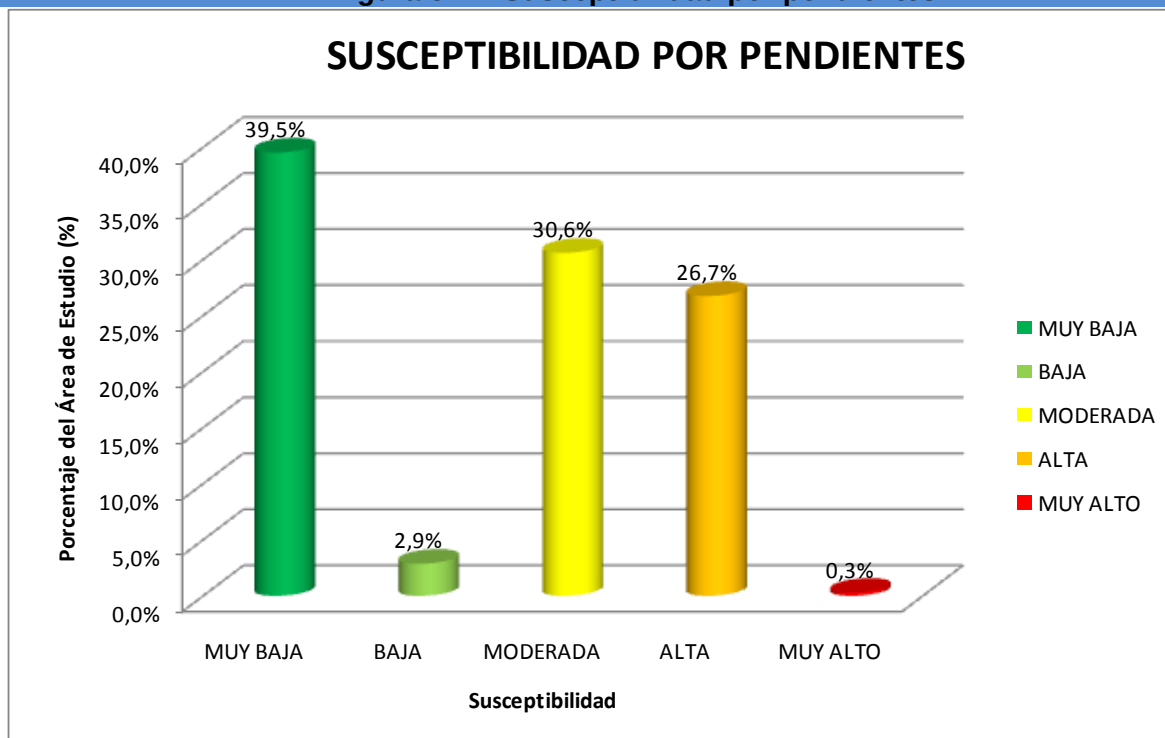
Tabla 5-11 Valores de susceptibilidad por Pendientes.

INCLINACIÓN (%)	UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO (UCP)	SUSCEPTIBILIDAD	PESO
0 – 1	Plano	Muy Baja	1
1 – 3	Plano a Ligeramente Plano	Muy Baja	1
3 – 7	Ligeramente Inclinado	Baja	2
7 – 12	Moderadamente Inclinado	Baja	2
12 – 25	Fuertemente Inclinado	Moderada	3
25 – 50	Ligeramente Escarpado o Ligeramente Empinado	Alta	4
50 – 75	Moderadamente Escarpado o Moderadamente Empinado	Alta	4
75 – 100	Fuertemente Escarpado	Muy Alta	5
> 100	Totalmente Escapado	Muy Alta	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

La Figura 5.14 muestra que el 0.3% (14.67 ha) presenta susceptibilidad muy alta, el 26.7% (1459.65 ha) presenta susceptibilidad alta, el 30.6% (1669.72 ha) presenta susceptibilidad moderada, el 2.9% (156.11 ha) presenta susceptibilidad baja y el 39.5% (2157.75 ha) presenta susceptibilidad muy baja.

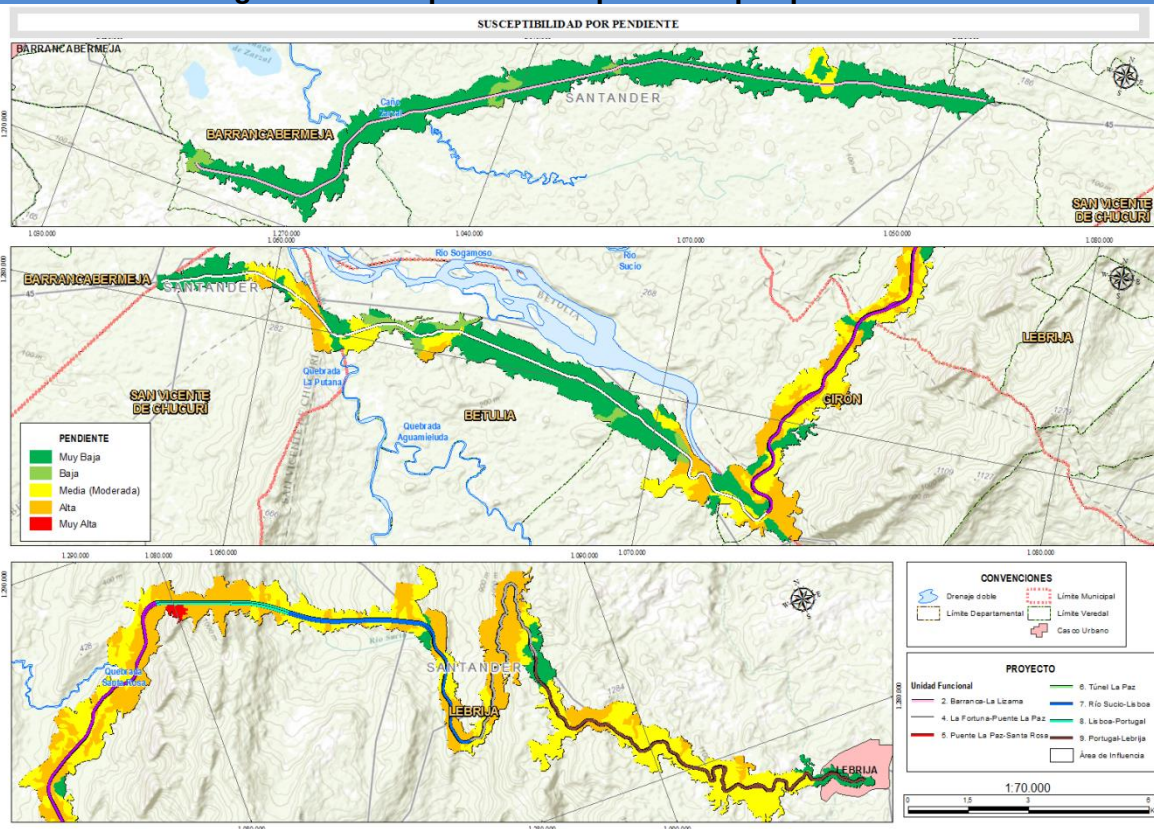
Figura 5.14. Susceptibilidad por pendientes.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.15 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de estudio de acuerdo a la sectorización por pendientes.

Figura 5.15. Mapa de susceptibilidad por pendientes.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.11.8 Intensidad de erosión (SE)

Mediante la interpretación de imágenes de satélite y la visita de campo realizado en el área de estudio de la línea de transmisión, se realizó la cartografía de procesos erosivos y procesos de remoción en masa; esto permitió establecer áreas y tipos de procesos erosivos que caracterizan el área de estudio. 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.

Para la evaluación de intensidad de erosión se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Interpretación de imágenes LIDAR del proyecto.
- Trabajo de campo. Se hicieron recorridos de campo tanto en el área de estudio, y se obtuvo un inventario de procesos morfodinámicos, debidamente georreferenciados.

- Para la cartografía de los procesos erosivos asociados a terracetas y pisadas de ganado y suelos desnudos, se obtuvieron unidades de área. A los procesos erosivos y movimientos en masa, cartografiados como surcos, cárcavas y deslizamientos, se les aplicó un buffer de 40m, que corresponde a las áreas potencialmente afectadas por estos procesos morfodinámicos.

Los procesos erosivos de mayor afectación en las áreas de estudio del proyecto, son patas de vaca y suelos desnudos; las terracetas y pisadas de ganado puede presentarse en grado moderado y severo.

Los deslizamientos cartografiados se clasificaron en activos y antiguos, siendo calificados los primeros de Morfodinámica Alta y los segundos con Morfodinámica Media, debido a que se encuentran en proceso de estabilización.

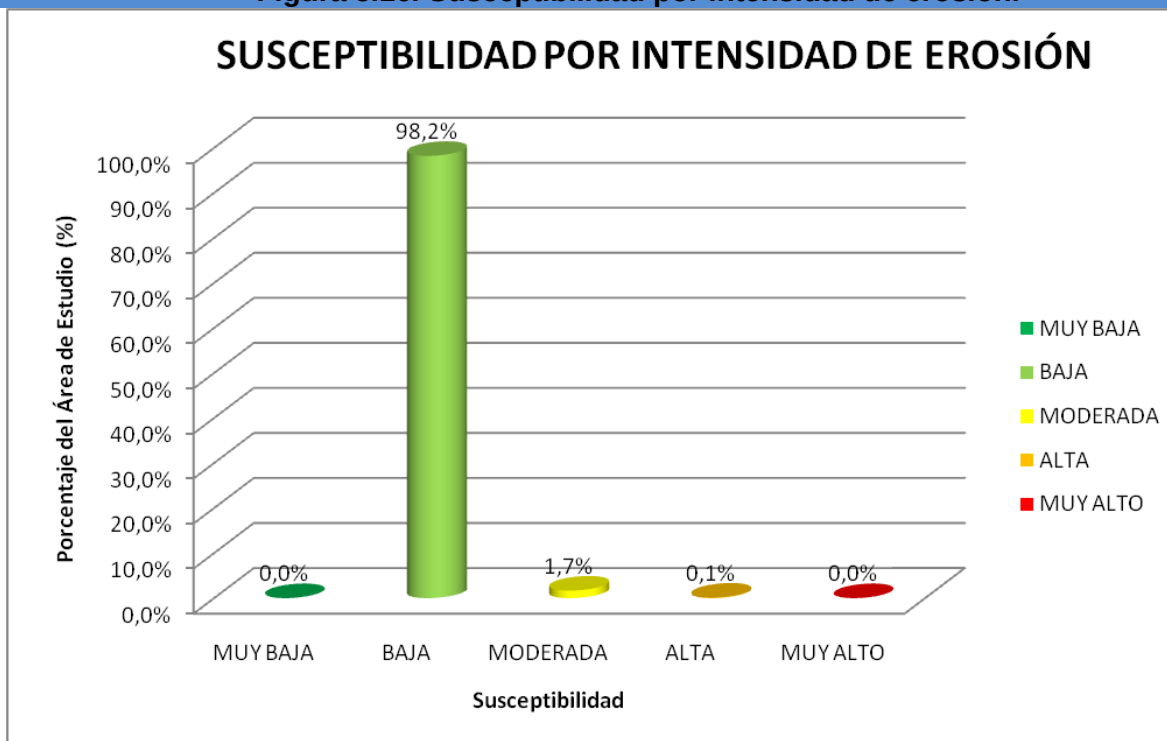
Tabla 5-12 Valores de susceptibilidad por Intensidad de erosión.

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

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

La Figura 5.16 muestra que el 0.1% (6.13 ha) presenta susceptibilidad alta, el 1.7% (91.11 ha) presenta susceptibilidad moderada y el 98.2% (5360.67 ha) presenta susceptibilidad baja.

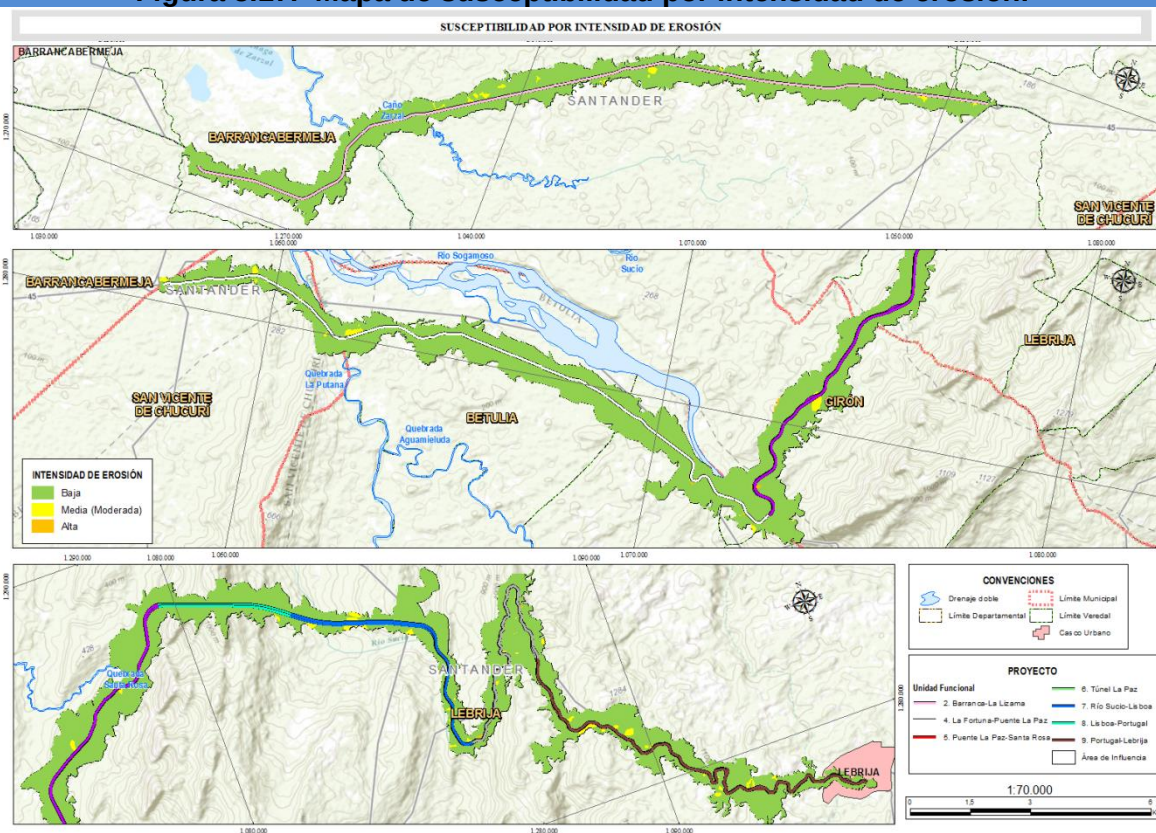
Figura 5.16. Susceptibilidad por intensidad de erosión.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.17 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de estudio de acuerdo a la sectorización por intensidad de erosión.

Figura 5.17. Mapa de susceptibilidad por intensidad de erosión.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.12 Susceptibilidad a los procesos de remoción en masa (PRM)

Durante el proceso de evaluación de la amenaza por PRM 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 SIGArcGis10, así:

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

Donde:

ST = Susceptibilidad del terreno a los PRM.

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 de intensidad de erosión.

Teniendo en cuenta que existen ocho variables de análisis, los valores sumatorios varían entre 14 y 25, 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 5-13.

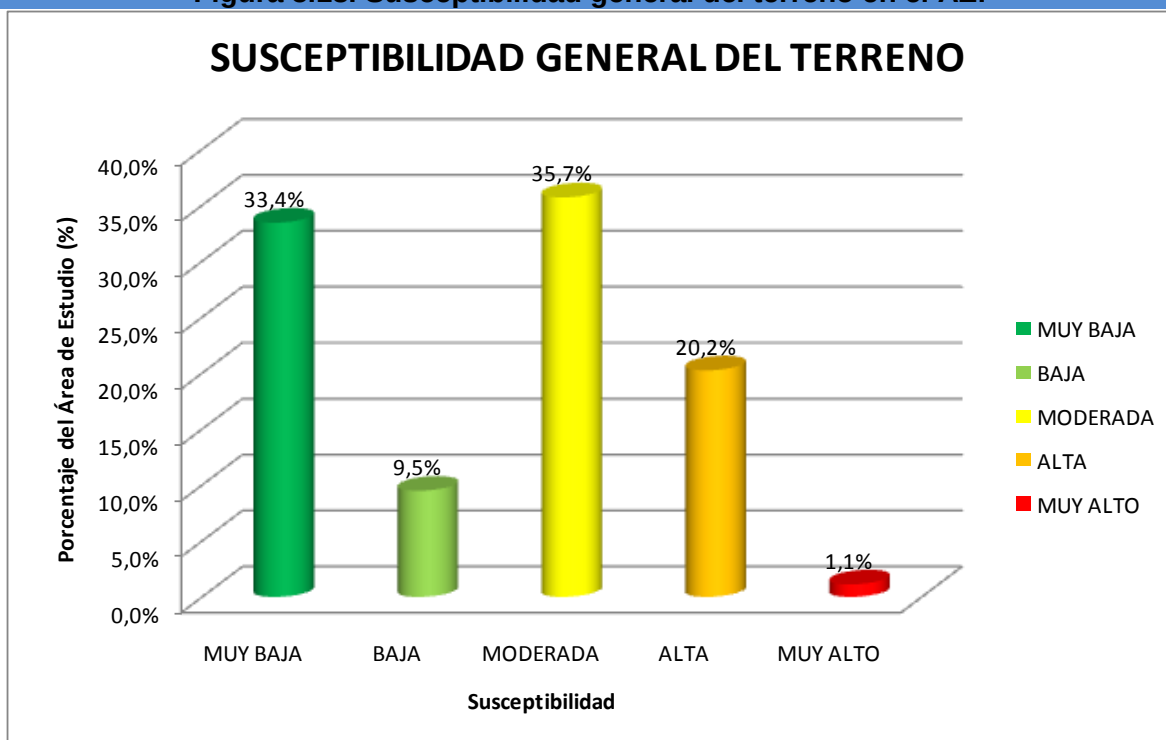
Tabla 5-13 Intervalos de caracterización de la susceptibilidad general del terreno.

INTERVALOS	CATEGORÍAS DE SUSCEPTIBILIDAD	PESO
<15	Muy Baja	1
16 - 17	Baja	2
18 - 19	Moderada	3
20 - 22	Alta	4
>23	Muy Alta	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En Figura 5.18 la se observa la distribución de las categorías de susceptibilidad general del terreno dentro del área de estudio.

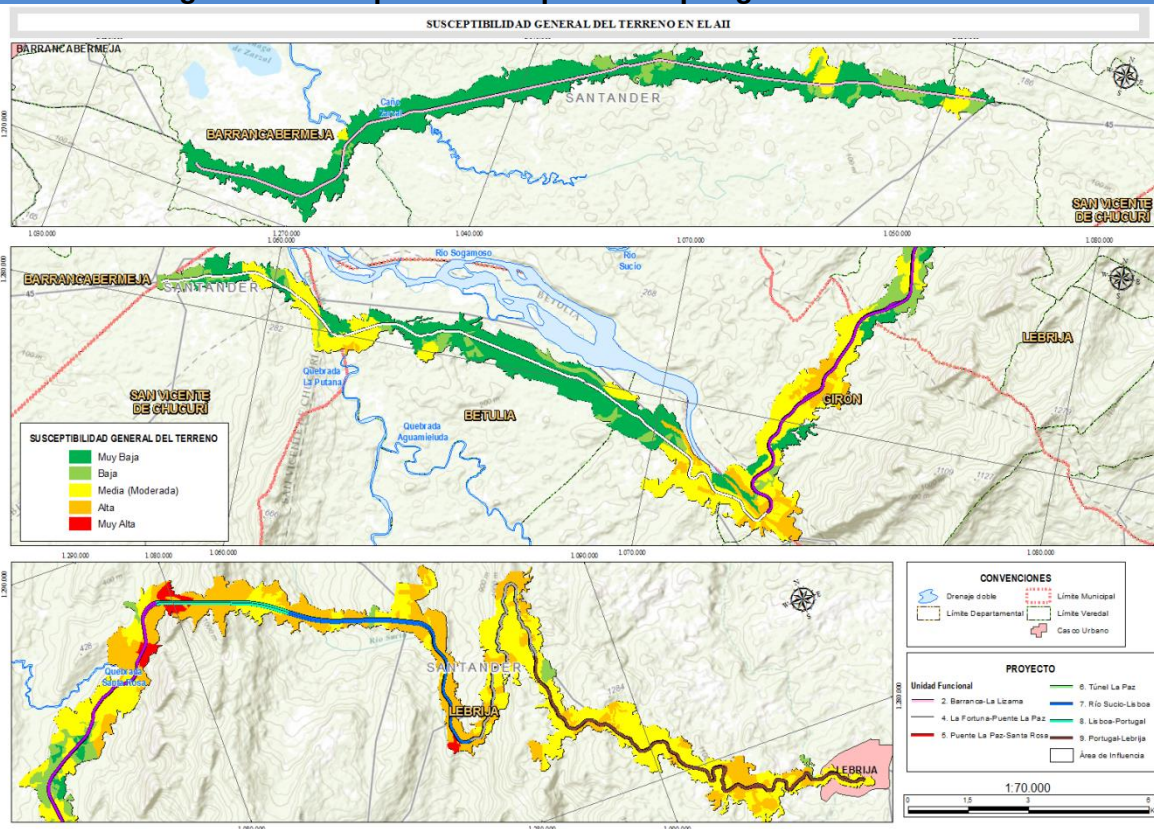
Figura 5.18. Susceptibilidad general del terreno en el AE.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.19 se presenta el mapa de susceptibilidad general del terreno a procesos erosivos y de remoción en masa.

Figura 5.19. Mapa de susceptibilidad por general del terreno.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.13 Factores detonantes

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

5.1.13.1 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 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.

En la Tabla 5-14 se presentan las calificaciones dadas a los diferentes rangos de precipitación del terreno.

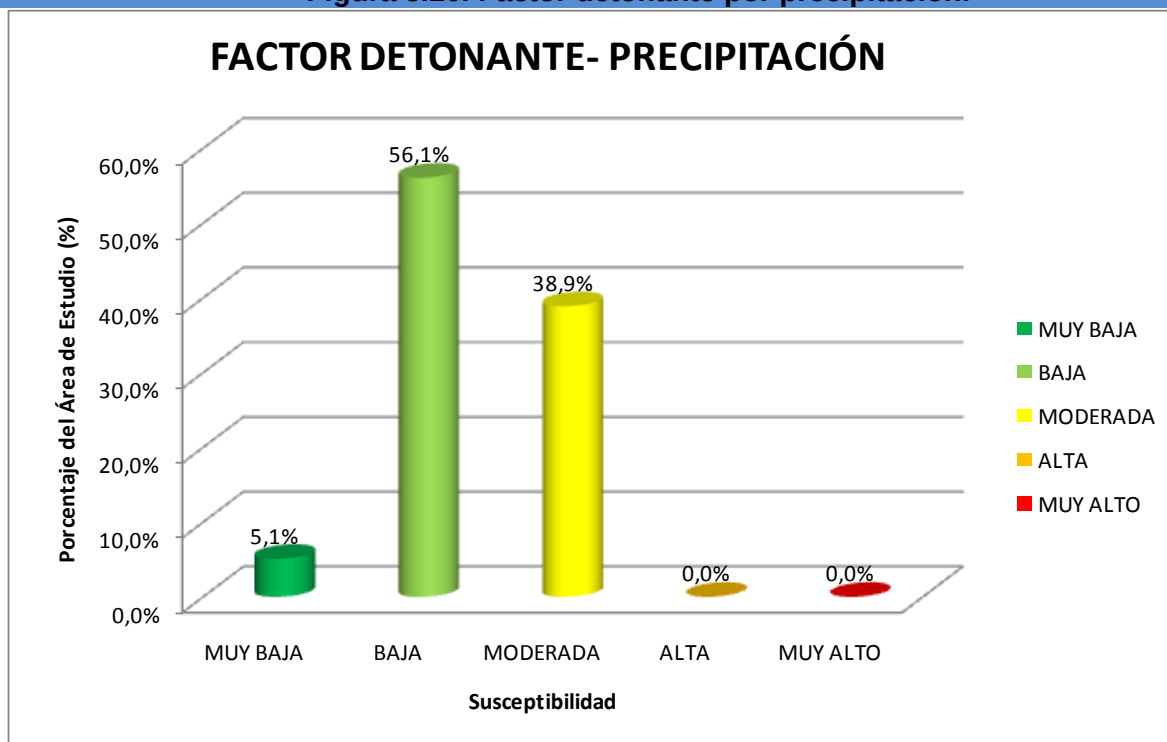
Tabla 5-14 Intervalos de categoría de precipitación.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO (UCP)	PESO
900 - 1500	1
1500 - 2500	2
2500 - 3500	3

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

La Figura 5.19 muestra que el 38.9% (2121.04 ha) presenta susceptibilidad moderada, el 56.1% (3059.85 ha) presenta susceptibilidad baja y el 5.1% (277.01 ha) susceptibilidad muy baja.

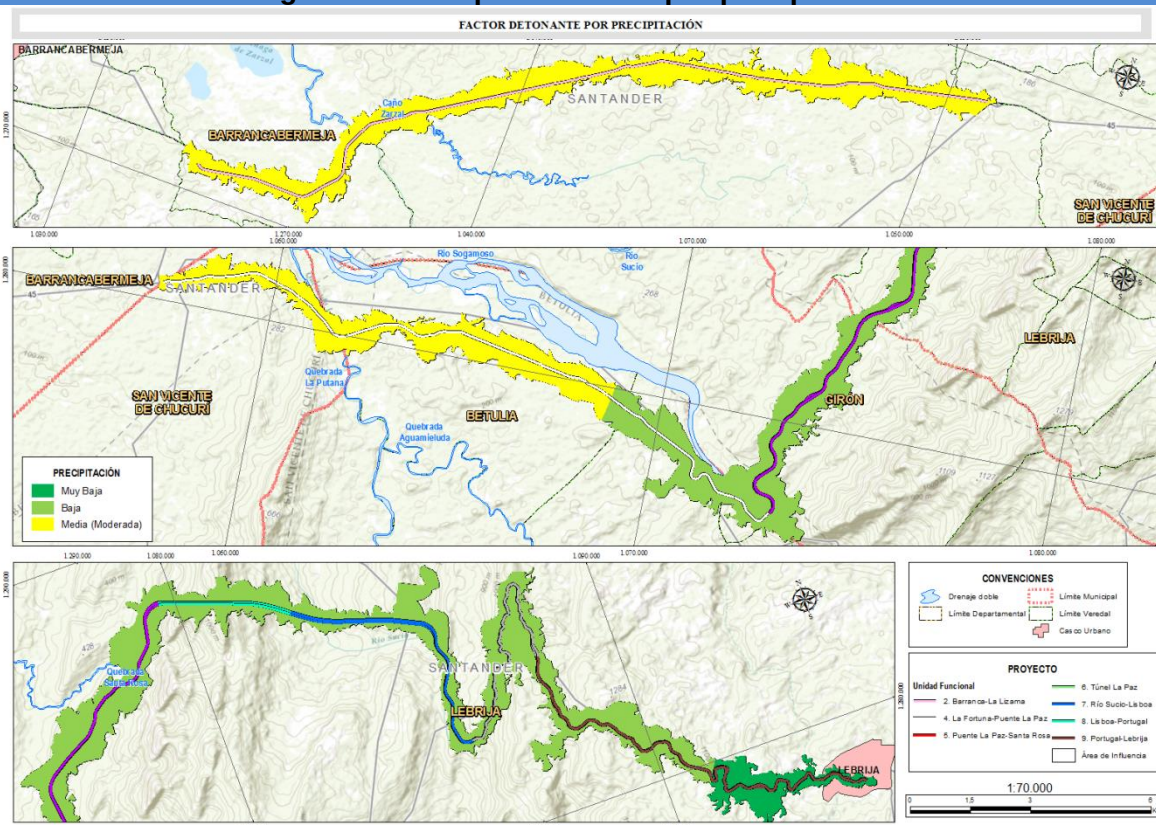
Figura 5.20. Factor detonante por precipitación.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.21 se presenta el mapa de factor detonante por precipitación.

Figura 5.21. Mapa detonante por precipitación.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.13.2 Sismicidad (FP)

El factor detonante por sismicidad se determinó con base en los resultados del “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, 2010), en el cual se establece que el sector se localiza en una Zona de Amenaza Sísmica Intermediay alta, en la se asigna la calificación correspondiente.

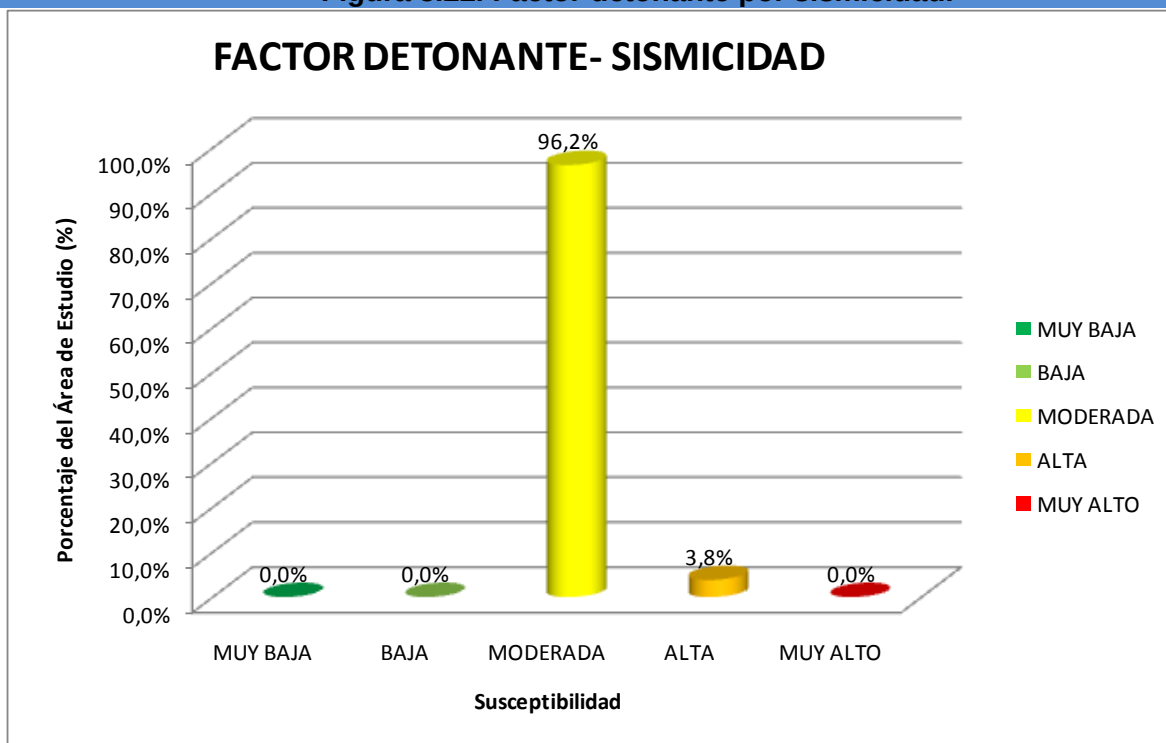
Tabla 5-15 Intervalos de categoría por sismicidad.

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

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

LaFigura 5.22muestra que el 96.2% (5249.97 ha)presenta susceptibilidad moderada y el 3.8% (207.95 ha)presenta susceptibilidad alta.

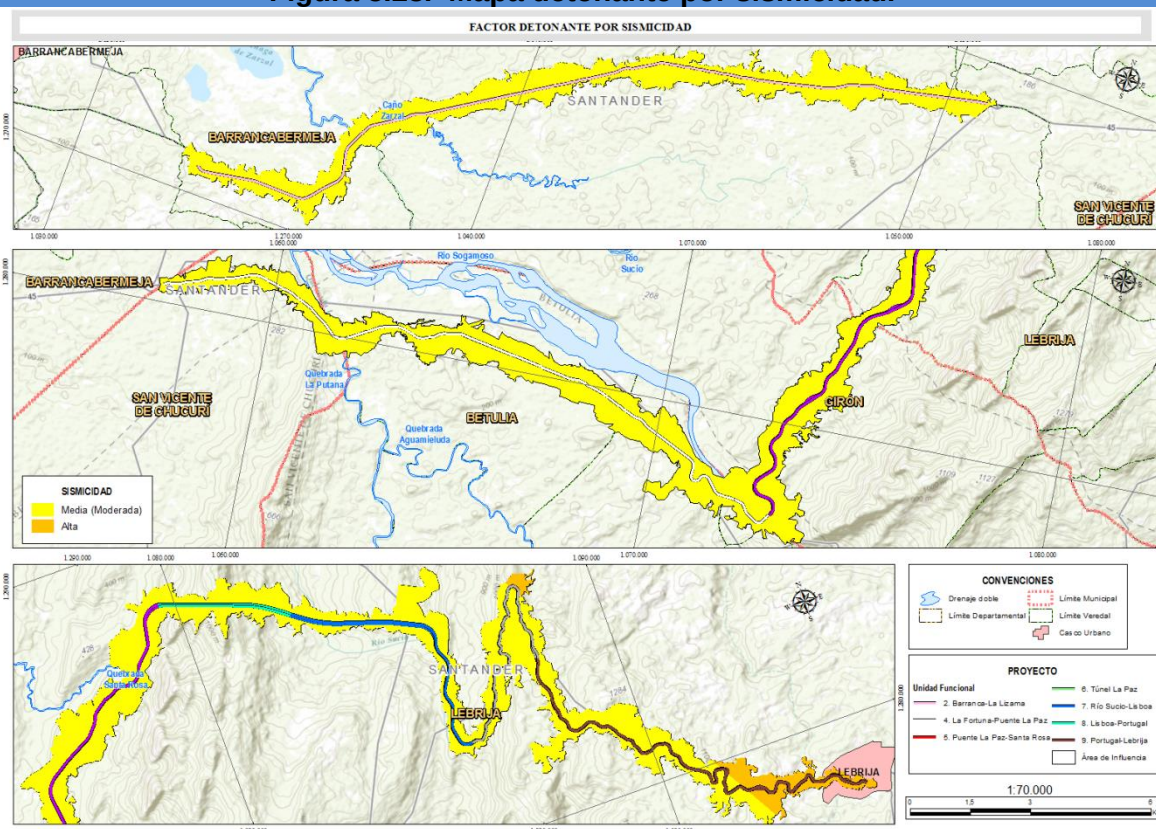
Figura 5.22. Factor detonante por sismicidad.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.23 se presenta el mapa del factor detonante por sismicidad.

Figura 5.23. Mapa detonante por sismicidad.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.14 Amenaza relativa del terreno

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 5-16).

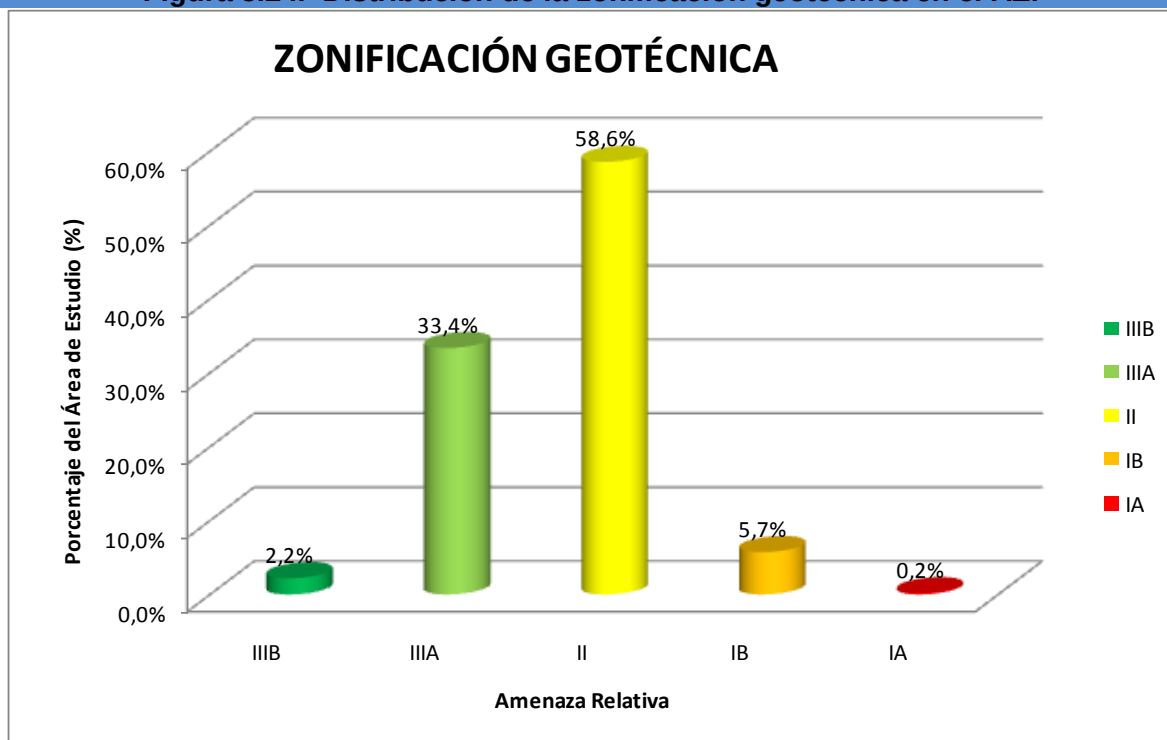
Tabla 5-16 Categorías de zonificación geotécnica.

RANGOS DE VALORES	SÍMBOLO	AMENAZA RELATIVA	ESTABILIDAD GEOTÉCNICA
<79	IIIB	Muy Baja	Muy Alta
80 - 94	IIIA	Baja	Alta
95 - 109	II	Moderada	Moderada
110 - 124	IB	Alta	Baja
>125	IA	Muy Alta	Muy Baja

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5.24 se observa la distribución de las categorías de zonificación geotécnica dentro del área de estudio.

Figura 5.24. Distribución de la zonificación geotécnica en el AE.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Tabla 5-17 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.

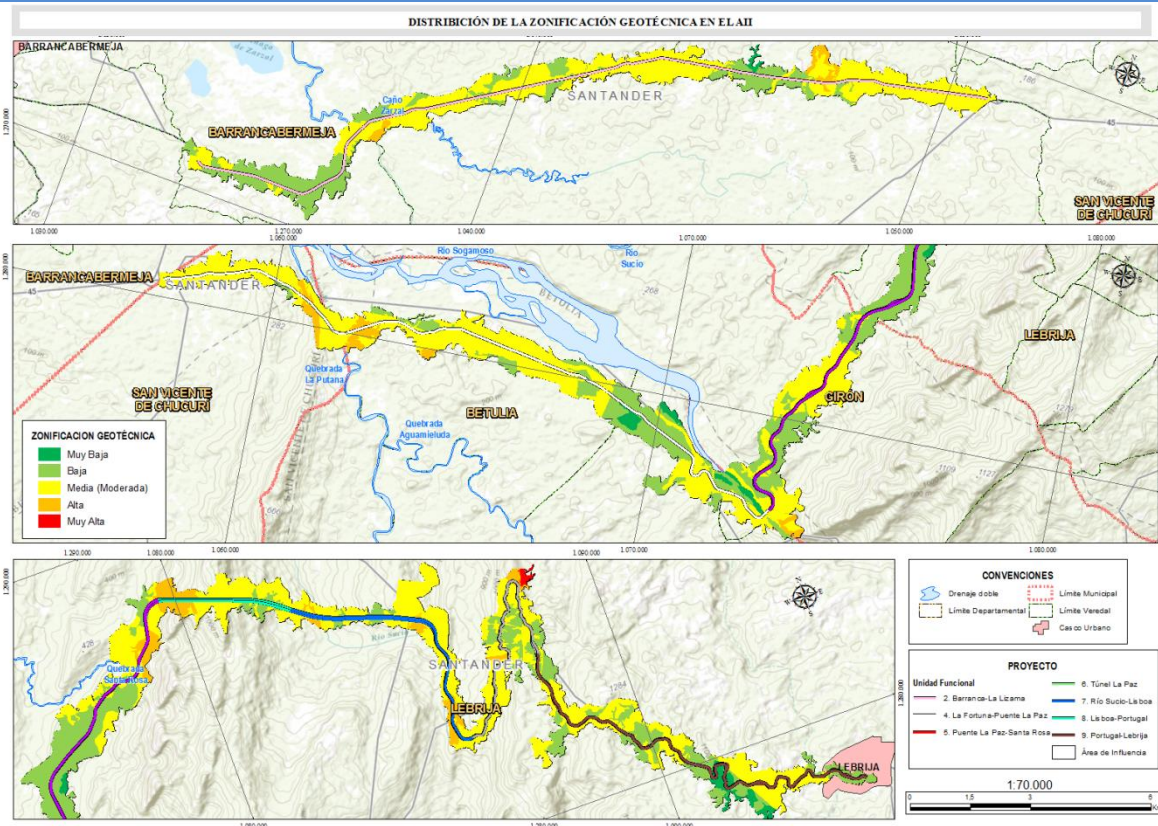
Tabla 5-17 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica.

SÍMBOLO	AMENAZA RELATIVA	ESTABILIDAD GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN	AE (ha)
IIIB	Muy Baja	Muy Alta	Zonas donde no se presentan procesos erosivos y de remoción en masa. Se caracteriza por un predominio de rocas calizas y areniscas, de las formaciones la Luna, Esmeraldas, Tablazo y Tambor. Las unidades geomorfológicas presentes en estas áreas son planos y llanuras de inundación. La cobertura de la tierra corresponde a bosque de galería. Las pendientes que caracterizan están entre 0 – 3 %. Los rangos de precipitación son de 900 -1500 mm/año. La amenaza sísmica es moderada.	119.57
IIIA	Baja	Alta	Zonas en donde las condiciones del terreno no presentan mayores riesgos de generación procesos erosivos y de remoción en masa. Se caracteriza por un predominio de depósitos aluviales y terrazas aluviales y de areniscas y arcillolitas de la Formación Mugrosa. Las unidades geomorfológicas presentes en estas áreas son las terrazas. La cobertura de la tierra corresponde a plantaciones latifoliadas, plantaciones coníferas, mosaico de cultivos, pastos arbolados y vegetación secundaria alta. Las pendientes que caracterizan están entre 3 y 12%. Los rangos de precipitación son de 900 - 1500 mm/año. La amenaza sísmica es moderada	1820.6
II	Moderada	Moderada	Zonas en donde el terreno presenta algunas condiciones para generar procesos erosivos y de remoción en masa. Se caracteriza por un predominio de rocas sedimentarias de las Formaciones Umir y Simiti. Las unidades geomorfológicas presentes en el área son las lomas y colinas, y laderas estructurales. La cobertura de la tierra corresponde a zonas industriales, tejido urbano, pastos limpios, mosaico de cultivos y bosque fragmentado. Las pendientes que caracterizan están entre 7 y 25%. Los rangos de precipitación son de 1500 – 2500 mm/año. La amenaza sísmica es moderada y alta.	3195.8
IB	Alta	Baja	Zonas en donde la mayoría de condiciones del terreno son propensas a generar procesos erosivos y de remoción en masa. Se caracteriza por un predominio de rocas lutitas de las Formaciones Lisama, Umir y Simiti.	312.78

SÍMBOLO	AMENAZA RELATIVA	ESTABILIDAD GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN	AE (ha)
			Las unidades geomorfológicas presentes en esta área son los espinazos y escarpes de terrazas de acumulación. La cobertura de la tierra corresponde a zonas industriales, pastos limpios y afloramientos rocosos. Las pendientes que caracterizan están entre 25 a 75%. Los rangos de precipitación son de 2500 – 3500 mm/año. La amenaza sísmica es moderada y alta.	
IA	Muy Alta	Muy Baja	Zonas en donde todas las condiciones del terreno son muy propensas a general procesos erosivos y de remoción en masa. Se caracteriza por un predominio de depósitos coluviales y rocas lutitas de las Formaciones Lisama, Umir y Simiti. Las unidades geomorfológicas presentes en esta área son las filas y espinazos y depósitos. La cobertura de la tierra corresponde a zonas de tierras desnudas y degradadas, y a pastos limpios. Las pendientes que caracterizan están entre 75 a 100%. Los rangos de precipitación son de 2500 – 3500 mm/año. La amenaza sísmica es alta.	9.08

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5.25. Mapa de zonificación geotécnica a procesos erosivos y de remoción en masa.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.15 Caracterización geotécnica de túneles

5.1.15.1 Caracterización geológica del Túnel La Paz y Túnel La Sorda

Las condiciones de estabilidad geotécnicas de los Túneles La Paz y La Sorda están definidas por las características geológicas de las rocas presentes en el perfil de dichos túneles, la estructura, composición y fabrica de los materiales rocosos, sumado a sus condiciones de fractura miento son factores de gran relevancia para determinar sus condiciones de estabilidad.

La caracterización geológica del túnel La Paz se describe a detalle en el 5.1.1 subcapítulo de Geología.

La caracterización geológica del túnel La Sorda se describe a detalle en el 5.1.1 del subcapítulo de Geología.

5.1.15.2 Perfil Geotécnico Túnel La Paz

La caracterización geotécnica del macizo rocoso se hizo con la ayuda de los afloramientos rocosos en superficie y la descripción de núcleos de las perforaciones mecánicas que se tienen previstas para la investigación del subsuelo en el túnel.

Para determinar el refuerzo requerido en el macizo se caracterizó el material según Bieniawski a partir de las condiciones geológicas y la cobertura de la roca vertical. Con base al estudio geológico se determinó que por el trazado del túnel se encuentran las formaciones La Paz, Lisama y Umir donde se presentan areniscas grises y limolitas; lutitas abigrarradas y areniscas de grano fino gris; y lutitas blandas respectivamente.

La clasificación de Bieniawski, también conocida como clasificación RMR permite estimar la calidad de la roca y sus condiciones de estabilidad ante obras civiles como túneles, taludes y cimentaciones. En túneles es comúnmente usada para definir sectores con comportamiento geotécnico homogéneos y para inferir su grado de estabilidad y las medidas de reforzamiento que se deberán tomar. El valor de RMR con el cual se clasifica el tipo de roca se calcula a partir de la resistencia a la compresión simple de la roca, a sus características de fracturamiento (RQD), a la separación de las diaclasas y su estado, y a los niveles freáticos que se presenten en la zona. En la Tabla 5-18 se presenta la descripción de los tipos de roca de la clasificación de Bieniawski.

Tabla 5-18 Clasificación tipo de rocas según Bieniawski.

CLASE	CALIDAD DE LA ROCA	ESTABILIDAD GEOTÉCNICA
I	Muy Buena	Muy Alta
II	Buena	Alta
III	Regular	Moderada
IV	Mala	Baja
V	Muy Mala	Muy Baja

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

De acuerdo al análisis de la información secundaria, a la descripción geológica de las rocas, al estudio hidrogeológico de las zonas de túneles y a las visitas de campo se estimó que el 62 % del alineamiento del túnel atraviesa una roca estimada tipo II, el 36% atraviesa una roca tipo III y el 2 % atraviesa una roca tipo IV.

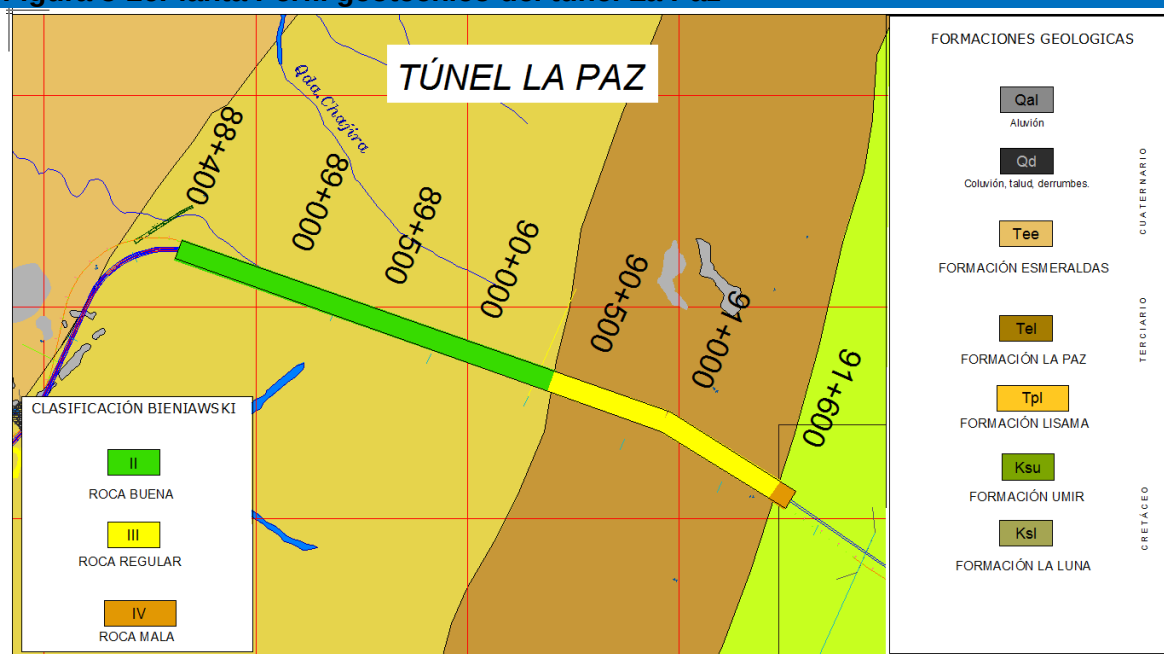
En la Tabla 5–19 resumen los tipos de terreno esperados a lo largo de la excavación del túnel. En la Figura 5-26 se observa la planta-perfil del túnel la Paz, calzada derecha.

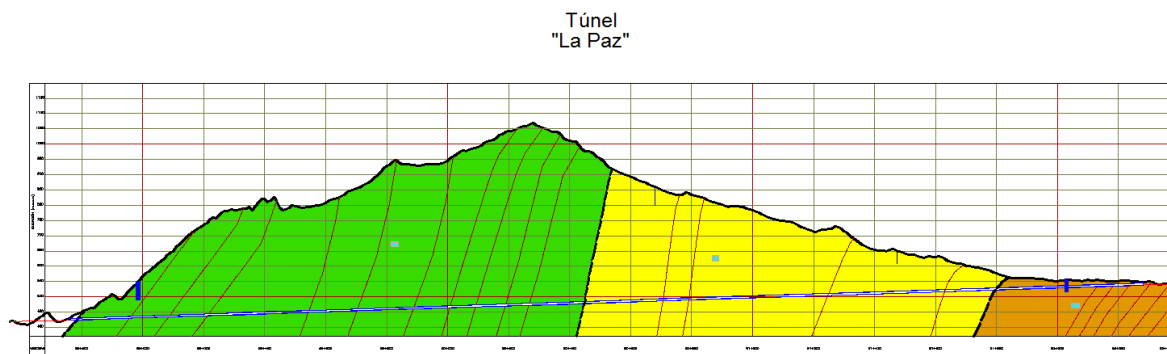
Tabla 5–19 Tipos de terrenos presentes en el tunel de la paz

TÚNEL LA PAZ					
TIPOS DE TERRENO TRAMO DE CALZADA EN TUNEL					
ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	ESPESOR (m)	TIPO DE ROCA	TIPO DE TERRENO	% TIPO DE TERRENO
K88+430	K90+400	1970	Formación la Paz: arenisca gris clara, conglomeratica masiva y limolita	II	62
K90+400	K91+550	1150	Formación Lisama : Lutitaabigrarrada; arenisca de grano fino gris	III	36
K91+550	K91+600	50	Formación Umir : Lutita Blanda de color gris con capas delgadas limolíticas y algunos matos de carbón	IV	2
LONGITUD TOTAL:		3170		TOTAL:	100

Fuente: Ferropol concesión ruta del Cacao 2016

Figura 5-26Planta Perfil geotécnico del túnel La Paz





Fuente: Ferrocil concesión ruta del Cacao 2016.

5.1.15.3 Perfil Geotécnico Túnel La Sorda

La caracterización geotécnica del macizo rocoso se hizo con la ayuda de los afloramientos rocosos en superficie y la descripción de núcleos de las perforaciones mecánicas que se tienen previstas para la investigación del subsuelo en el túnel.

Para determinar el refuerzo requerido en el macizo se caracterizó el material según Bieniawski a partir de las condiciones geológicas y la cobertura de la roca vertical. Con base al estudio geológico se determinó que por el trazado del túnel se encuentran las formaciones Lisama y Umir donde se presentan lutitasabigrarradas y areniscas de grano fino gris; y lutitas blandas respectivamente.

La clasificación de Bieniawski, también conocida como clasificación RMR permite estimar la calidad de la roca y sus condiciones de estabilidad ante obras civiles como túneles, taludes y cimentaciones. En túneles es comúnmente usada para definir sectores con comportamiento geotécnico homogéneos y para inferir su grado de estabilidad y las medidas de reforzamiento que se deberán tomar. El valor de RMR con el cual se clasifica el tipo de roca se calcula a partir de la resistencia a la compresión simple de la roca, a sus características de fracturamiento (RQD), a la separación de las diaclasas y su estado, y a los niveles freáticos que se presenten en la zona. En la Tabla 5-20 se presenta la descripción de los tipos de roca de la clasificación de Bieniawski.

Tabla 5-20 Clasificación tipo de rocas según Bieniawski.

CLASE	CALIDAD DE LA ROCA	ESTABILIDAD GEOTÉCNICA
I	Muy Buena	Muy Alta
II	Buena	Alta
III	Regular	Moderada
IV	Mala	Baja
V	Muy Mala	Muy Baja

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

De acuerdo al análisis de la información secundaria, a la descripción geológica de las rocas, al estudio hidrogeológico de las zonas de túneles y a las visitas de campo se estimó que el 28 % del alineamiento del túnel atraviesa una roca estimada tipo III, el 59% atraviesa una roca tipo IV y el 15 % atraviesa una roca tipo V.

Las siguiente Tabla 5–21 se resumen los tipos de terreno esperados a lo largo de la excavación del túnel. En la Figura 5-27 se observa la planta-perfil del túnel la Sorda, calzada derecha.

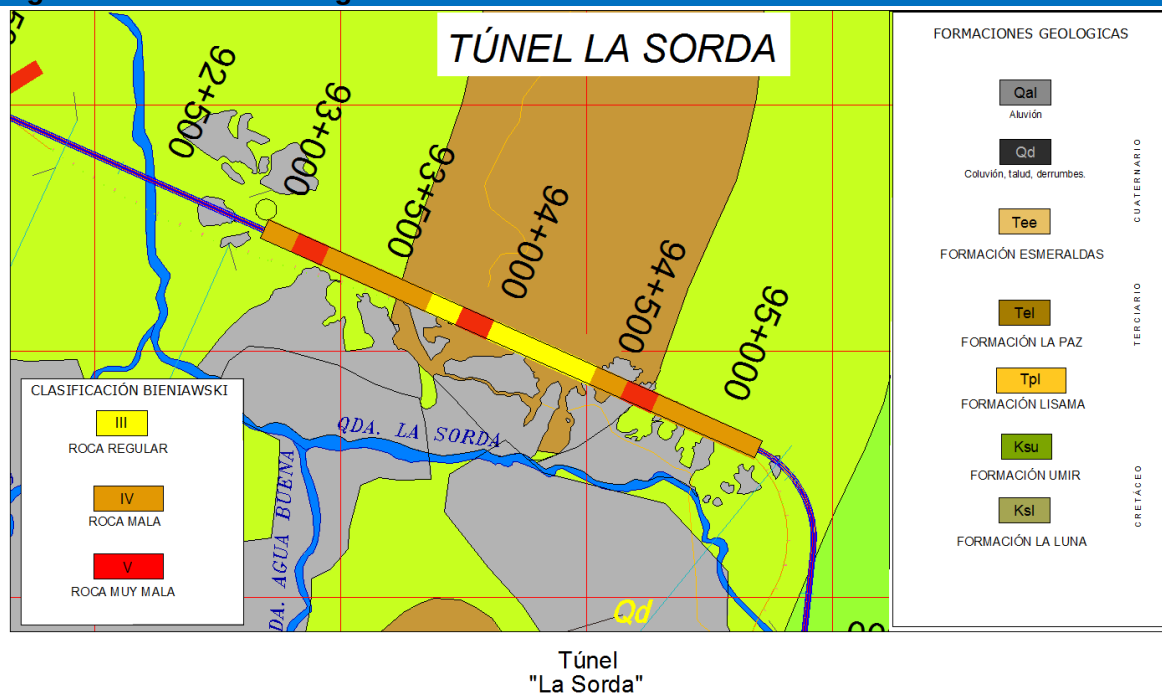
Tabla 5–21 Tipos de terrenos presentes en el tunel de la Sorda

TÚNEL LA SORDA					
TIPOS DE TERRENO TRAMO DE CALZADA EN TUNEL					
ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	ESPESOR (m)	TIPO DE ROCA	TIPO DE TERRENO	% TIPO DE TERRENO
K92+945	K93+100	155	Formación Umir : Lutitav Blanda de color gris con capas delgadas limolíticas y algunos matos de carbón	IV	6
K93+100	K93+200	100	Brecha de falla en rocas de la formación UmirLutita Blanda y limolitas	V	5
K93+200	K93+650	450	Formación Umir : Lutita Blanda de color gris con capas delgadas limolíticas y algunos matos de carbón	IV	20
K93+650	K93+750	100	Formación Lisama : Lutitaabigrarrada; arenisca de grano fino gris	III	5
K93+750	K93+850	100	Brecha de falla en rocas de la Formación Lisama Areniscas y lutitas	V	5
K93+850	K94+350	500	Formación Lisama : Lutitaabigrarrada; arenisca de grano fino gris	III	23
K94+350	K94+500	150	Formación Umir : Lutitav Blanda de color gris con capas delgadas limolíticas y algunos matos de carbón	IV	6
K94+500	K94+600	100	Brecha de falla en rocas de la formación Umir: Lutita Blanda y limolitas	V	5

TÚNEL LA SORDA					
TIPOS DE TERRENO TRAMO DE CALZADA EN TUNEL					
ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	ESPESOR (m)	TIPO DE ROCA	TIPO DE TERRENO	% TIPO DE TERRENO
K94+600	K95+141	541	Formación Umir : Lutita Blanda de color gris con capas delgadas limolíticas y algunos matos de carbón	IV	25
TOTAL:		2196		TOTAL:	100

Fuente: Ferropol concesión ruta del Cacao 2016

Figura 5-27 Planta Perfil geotécnico del túnel La Sorda



Fuente: Ferropol concesión ruta del Cacao 2016.