

FORTALECIMIENTO AL PROYECTO DE FORMULACIÓN ADOPCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL POT DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA, SANTANDER. CONTRATO No. 3349-17

Informe Técnico de Caracterización de Fenómenos de Amenaza por
Movimientos en Masa

Barrancabermeja, Santander, Colombia - Febrero 2018



BARRANCABERMEJA
ES POSIBLE



Gestores del Proyecto

Darío Echeverri Serrano

Alcalde Municipio de Barrancabermeja 2016-2019,
Municipio de Barrancabermeja

Elizabeth Lobo Gualdrón,

Asesora de Planeación
Oficina Asesora de Planeación, Barrancabermeja

Autores

Gabriel Alberto Bayona Fetecua

Geólogo, Universidad EAFIT • Magíster en Ciencias de la Tierra. Universidad EAFIT • Director de Proyecto,
SAGGES S.A.S. • info@sagges.com.

Jaime Norberto Guarín Ocampo

Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Colombia - Medellín • Magíster En Emergencias Y Desastres,
Universidad de Antioquia • Especialista En Geotecnia Y Estabilidad De Taludes, Universidad de Medellín •
Coordinador de ingeniería Geotecnia, SAGGES S.A.S.

Juan Camilo Piedrahita Valencia,

Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín • Maestría En Ingeniería: Recursos
Minerales, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín • Ingeniero Especialista Geotecnia, SAGGES S.A.S.

Juan Esteban Moná Graciano,

Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín • Maestría En Ingeniería: Geotecnia, Facultad
De Minas, Universidad Nacional de Colombia • Ingeniero Especialista Geotecnia, SAGGES S.A.S.

Colaboradores

Omar Wilches Tapias

Geólogo, TP 1046 del CPG • Anexo A: Estudios básicos de amenaza: Estudio Geoeléctrico municipio
Barrancabermeja, Departamento de Santander

John Jairo Botero Muñoz

Ingeniero Civil, Facultad De Minas, Universidad Nacional de Colombia • Especialista En Geotecnia. Universidad
EAFIT • Anexo B: Estudios Básicos De Amenaza: Caracterización Geotécnica Preliminar De Suelos Municipio De
Barrancabermeja.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION	1.9
1.1	OBJETIVO GENERAL	1.9
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1.9
1.3	METODOLOGIA	1.9
2	ANÁLISIS DE LA INFORMACION.....	2.11
2.1	REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS (DESINVENTAR).	2.11
2.2	ALOS PALSAR GLOBAL RADAR (IMÁGENES SATELITALES).....	2.11
2.3	FASE DE DIAGNÓSTICO VOL. III CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO. RIO SOGAMOSO. Y FASE DE DIAGNÓSTICO VOL. III CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO. RIO OPÓN.	2.12
2.4	GUÍA TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (POMCAS).	2.12
2.5	PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA EN COLOMBIA.....	2.13
2.6	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR DE BARRANCABERMEJA.....	2.13
2.7	PLANCHAS GEOLÓGICAS OFICIALES DE INGEOMINAS (119-108)	2.14
2.8	METODOLOGÍA Y PROCESO DE INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA REVISIÓN EXCEPCIONAL DE POT, SEGÚN LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1807 DE 2014, CON BASE EN ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN DE LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA.	2.14
2.9	UNIDAD DE PLANEACIÓN RURAL, DIAGNÓSTICO Y CARTOGRAFÍA DE LOS CORREGIMIENTOS DE BARRANCABERMEJA.	2.15
2.10	DECRETO 1077 DE 2015.....	2.15
2.11	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PRELIMINAR DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA, SANTANDER.	2.15
2.12	GEOLOGÍA URBANA DE BARRANCABERMEJA: BASE PARA INGENIERÍAS, ORDENAMIENTO TERRITORIAL AMBIENTAL Y GESTIÓN DEL RIESGO.	2.16
3	TRABAJO DE CAMPO	3.17
3.1	VISITAS DE CAMPO.....	3.17
3.2	MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA (PERFORACIONES).	3.18
3.3	ANÁLISIS DE LABORATORIO.	3.20
3.4	MÉTODOS DE EXPLORACIÓN INDIRECTA (PROSPECCIÓN GEOFÍSICA).....	3.20
4	CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL RURAL	4.22
4.1	INVENTARIO DE PROCESOS	4.22
4.1.1	Movimientos en masa.....	4.22
4.1.2	Erosión superficial.....	4.24
4.1.3	Cárcavas.....	4.25
4.1.4	Erosión Antrópica.....	4.25
4.1.5	Erosión Lateral	4.26

4.1.6	Erosión Lateral de Orillas	4.26
4.2	PROCESOS MORFODINÁMICOS PREDOMINANTES	4.27
4.3	ZONAS AFECTADAS.....	4.28
4.4	FACTORES CONDICIONANTES.	4.29
4.4.1	Geología Rural	4.29
4.4.2	Geomorfología.....	4.32
4.4.3	Cobertura y uso del suelo	4.37
4.5	FACTORES DETONANTES	4.38
4.5.1	Lluvias.....	4.38
4.5.2	Sismos	4.39
5	CARACTERIZACION GEOAMBIENTAL URBANA.....	5.41
5.1	INVENTARIO DE PROCESOS URBANOS	5.41
5.1.1	Movimientos en masa urbanos.....	5.42
5.1.2	Erosión superficial.....	5.42
5.1.3	Cárcavas.....	5.43
5.1.4	Erosión Lateral	5.44
5.1.5	Erosión Lateral de Orillas.	5.44
5.1.6	Bloques en superficie.....	5.45
5.1.7	Erosión Antrópica.....	5.46
5.1.8	Reptación	5.46
5.2	PROCESOS DOMINANTES.....	5.47
5.3	ZONAS AFECTADAS.....	5.48
5.4	FACTORES CONDICIONANTES EN LA ZONA URBANA	5.49
5.4.1	Geología	5.49
5.4.2	Geomorfología.....	5.51
5.5	FACTORES DETONANTES	5.60
6	ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA PROCESOS RURALES	6.61
6.1	ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA DESLIZAMIENTOS	6.61
6.1.1	Geomorfología susceptible a movimientos en masa tipo deslizamiento.....	6.61
6.2	FACTORES CONDICIONANTES.	6.63
6.2.1	Pendientes	6.63
6.2.2	Curvatura de plano	6.64
6.2.3	Unidades geológicas superficiales.....	6.64
6.3	MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTO EN MASA TIPO DESLIZAMIENTO A ESCALA RURAL.....	6.65
6.4	ANÁLISIS DE SUCEPTIBILIDAD PARA CAIDAS.....	6.67
6.4.1	Pendientes mayores a 45 grados	6.67
6.4.2	Macizos rocosos.....	6.67
6.4.3	Subunidades geomorfológicas.....	6.68
7	ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA PROCESOS URBANOS Y ZONA DE EXPANSIÓN.	7.70

7.1	ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA DESLIZAMIENTOS	7.70
7.1.1	Geomorfología susceptible a movimientos en masa tipo deslizamiento en zona urbana y zona de expansión.....	7.70
7.2	FACTORES CONDICIONANTES	7.73
7.2.1	Pendientes	7.73
7.2.2	Curvatura de plano	7.73
7.2.3	Unidades geológicas superficiales.....	7.74
7.3	MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTO EN MASA TIPO DESLIZAMIENTO. 7.74	
8	CARACTERIZACION DE LA AMENAZA RURAL.	8.76
9	CARACTERIZACION DE LA AMENAZA URBANA	9.78
10	CONCLUSIONES	10.80
11	BIBLIOGRAFÍA	11.85
A.	ANEXO: ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA: ESTUDIO GEOELÉCTRICO MUNICIPIO BARRANCABERMEJA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.	1
B.	ANEXO: ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PRELIMINAR DE SUELOS MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA.....	2

LISTADO DE FIGURAS

Figura 3-1	Ubicación de las perforaciones realizadas en el trabajo	3.19
Figura 3-2	Ubicación de las líneas geeléctricas realizadas en el trabajo	3.21
Figura 4-1.	Procesos cercanos a la vía principal Barrancabermeja – El Centro	4.23
Figura 4-2.	Mapa de procesos rurales	4.24
Figura 4-3.	Erosión superficial, municipio de Barrancabermeja.	4.25
Figura 4-4.	Procesos de Carcavamiento.....	4.25
Figura 4-5	Erosión Antrópica típica en la zona rural de Barrancabermeja.	4.26
Figura 4-6:	Zonas con Erosión Lateral, ubicada en la parte superior de las colinas.....	4.26
Figura 4-7.	Erosión Lateral de Orillas ocasionada por la instalación de pilotes en el margen derecho del Rio Sogamoso.	4.27
Figura 4-8.	Mapa de procesos predominantes Rurales.....	4.28
Figura 4-9:	Mapa de zonas afectadas.....	4.29
Figura 4-10:	A la izquierda cerros remanentes típicos del corregimiento de El Llanito, a la derecha las pendientes menores pendientes en La Fortuna.	4.33
Figura 4-11:	Movimiento en masa activo, generado sobre escarpes de terraza de erosión.	4.33
Figura 4-12:	Planicies aluviales confinadas en la zona de El Llanito (izquierda) y Cerros remanentes confinando la planicie aluvial en El Centro (derecha).....	4.34
Figura 4-13:	Llanuras de inundación de los ríos Magdalena y Sogamoso.	4.35
Figura 4-14:	Topografía homogénea en el corregimiento de La Meseta de San Rafael. ...	4.36
Figura 4-15:	Colinas estructurales orientadas en sentido N-S.....	4.36
Figura 4-16:	Tipos de intervenciones antrópicas que clasifican dentro de Procesos Constructivos.	4.37
Figura 4-17.	Plano de Isoyetas, zona de Barrancabermeja.....	4.39
Figura 4-18.	Clasificación de amenaza sísmica, zona de Barrancabermeja.	4.40
Figura 5-1:	Mapa de Procesos Urbanos.	5.41
Figura 5-2:	Deslizamiento Activo en la Comuna 7, costado oriental de la Carrera 28.....	5.42
Figura 5-3:	Erosión superficial en el área urbana de Barrancabermeja.	5.43
Figura 5-4:	Cárcavas en la zona Urbana de Barrancabermeja, Comuna 3 y zona de expansión Sureste.	5.43
Figura 5-5:	Erosión Lateral generada en la comuna 4, en la parte superior de las lateras.	5.44
Figura 5-6:	Erosión Lateral de Orillas en cercanías al humedal Miramar.....	5.45
Figura 5-7:	Bloques en superficies encontrados en la Comuna 2.....	5.45
Figura 5-8:	Erosión Antrópica causada por la extracción de diversos materiales de construcción.....	5.46
Figura 5-9:	Vista típica de la reptación presente en la zona urbana.....	5.47
Figura 5-10:	Mapa de Procesos dominantes en la zona urbana.....	5.48
Figura 6-1.	Mapa de geomorfología rural susceptible a movimientos en masa.	6.62
Figura 6-2.	Mapa de geomorfología rural no susceptible a movimientos en masa.....	6.63
Figura 6-3.	Mapa de susceptibilidad por movimiento en masa rural tipo deslizamiento. ..	6.66



Figura 6-4. Mapa de susceptibilidad por movimiento en masa tipo caída	6.68
Figura 6-5. Detalle de la zona de mayor susceptibilidad a movimientos en masa tipo caída.	6.69
Figura 7-1. Mapa geomorfológico susceptible a movimientos en masa urbano y zona de expansión.	7.72
Figura 7-2. Mapa geomorfológico susceptible a movimientos en masa urbano y zona de expansión.	7.72
Figura 7-3. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa urbano y zona de expansión.	7.75
Figura 8-1. Mapa de amenaza por movimiento en masa rural.	8.76
Figura 9-1. Mapa de amenaza por movimientos en masa urbano y zona de expansión. ..	9.78

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3-1	Ubicación de la perforación en la Formación Geológica correspondiente. .	3.19
Tabla 3-2.	Ensayos realizados	3.20
Tabla 3-3	Coordenadas de líneas geoelectricas (SEV)	3.21
Tabla 4-1:	Relación porcentual de usos del suelo.	4.38
Tabla 6-1.	Geoformas susceptibles movimiento en masa tipo deslizamiento (Rural).....	6.61
Tabla 6-2.	Geoformas no susceptibles a movimiento en masa tipo deslizamiento (Rural).	6.62
Tabla 6-3.	Estadísticas de Pendientes (Rural).....	6.64
Tabla 6-4.	Estadísticas de curvatura de plano (Rural).	6.64
Tabla 6-5-	Estadísticas de unidades geológicas superficiales (Rural).	6.65
Tabla 7-1.	Geoformas susceptibles a movimiento en masa tipo deslizamiento Urbano.	7.70
Tabla 7-2.	Geoformas no susceptibles a movimiento en masa tipo deslizamiento Urbano.	7.71
Tabla 7-3.	Estadísticas de Pendientes Urbana	7.73
Tabla 7-4.	Estadísticas de Curvatura de Plano (Urbano).	7.73
Tabla 7-5.	Estadísticas de Unidades Geológicas Superficiales (Urbano).....	7.74

1 INTRODUCCION

Se presenta en este informe los resultados de los estudios sobre la Amenaza por Movimientos de Masa en el Municipio de Barrancabermeja, área urbana y rural.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un informe técnico de caracterización de la amenaza por movimientos de masa para el Municipio de Barrancabermeja y un Mapa de zonificación de Amenaza para el área urbana y para el área rural, según las características y escalas requeridas por el decreto 1077 de 2015.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar análisis de pendientes, geomorfología para ingeniería, inventario morfodinámico y de procesos activos, análisis de taludes y zonas inestables, en la zona rural y urbana del Municipio de Barrancabermeja.
- Zonificar la amenaza, tanto urbana como rural en categorías baja, media y alta conforme a análisis geológicos, geomorfológicos y geotécnicos de la zona urbana y rural del Municipio de Barrancabermeja.
- Establecer dentro del proceso una metodología de análisis para la Amenaza por movimientos en masa en el área urbana y rural del Municipio de Barrancabermeja.

1.3 METODOLOGIA

Se trabajó con base en los elementos propuestos en la "GUIA METODOLOGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA", Servicio Geológico colombiano, diciembre de 2017.

Los pasos generales se describen a continuación:

- **Análisis de la información.**
Revisión de la información referida al área de estudio, primariamente la que ha tenido que ver con el Ordenamiento del Territorio.
Revisión de la cartografía básica.
Elaborar un modelo digital de elevación que servirá de base a todo el trabajo.
- **Caracterización Geo-ambiental.**
Realización de un inventario de procesos morfodinámicos.
Análisis de los factores condicionantes.
Análisis de los factores detonantes.
- **Análisis de Susceptibilidad.**
Análisis de los factores que tienen que ver dentro del medio físico con la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.
Clasificación de la susceptibilidad en Alta, media y baja.
Elaboración de un mapa de susceptibilidad para el área urbana y para el área rural.

- **Caracterización de la amenaza.**
Análisis de los factores que tienen que ver dentro del medio físico con la Amenaza a la ocurrencia de Movimientos en Masa.
- Clasificación de la Amenaza a movimientos de Masa en Alta, media y baja.
- Elaboración de un mapa de Amenaza por movimientos en Masa para el área urbana y para el área rural.

- **Recomendaciones finales.**

2 ANÁLISIS DE LA INFORMACION

2.1 REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS (DESINVENTAR).

El registro de eventos que sucedieron en el municipio de Barrancabermeja fue obtenido a partir del Sistema de inventario de efectos de desastres (DESINVENTAR). Haciendo énfasis en los eventos que generaron movimientos en masa en el área de interés.

La información recolectada tiene como fin observar multitemporalmente la ocurrencia de eventos, con miras a obtener posibles tiempos de recurrencia, magnitud de eventos, daños ocasionados a la población y la infraestructura.

Esta información es recolectada a partir datos suministrados por entidades oficiales y en gran parte por las comunidades, lo que genera en muchos casos registros poco precisos en cuanto magnitud de los eventos, localización y afectación real, produciendo cierta incertidumbre; sin embargo, estos estudios complementados con otros análisis multitemporales pueden brindar herramientas más concretas para entender los fenómenos dados en la región.

2.2 ALOS PALSAR GLOBAL RADAR (IMÁGENES SATELITALES).

ALOS es el satélite conocido como DAICHI que permite obtener Modelos Digitales de la Superficie con una resolución horizontal apreciable de todo el globo terráqueo y PALSAR es uno de los tres instrumentos del satélite.

A partir de la página web de Alos se obtuvieron imágenes de la zona de interés con una resolución de 12,5 m por pixel, con estas imágenes se generó un DEM para la zona rural con una escala apropiada para este fin, a partir de este DEM se pudo realizar un mapa de pendientes y otros productos que generan insumos necesarios para el análisis de la amenaza por remoción en masa.

El proceso para la obtención de las imágenes consiste ingresar al sitio web y registrarse como un nuevo usuario, sigue el procedimiento confirmando tu dirección de correo electrónico y firmando con tu contraseña. Después del registro, puede buscar el área en el que estás interesado y descargar los datos.

2.3 FASE DE DIAGNÓSTICO VOL. III CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO. RIO SOGAMOSO. Y FASE DE DIAGNÓSTICO VOL. III CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL RIESGO. RIO OPÓN.

Estos documentos consisten en una fase de caracterización y diagnóstico, implicando los diferentes aspectos que conforman las cuencas de los ríos Opón y Sogamoso, la interrelación de este con el medio físico-biótico, de las condiciones sociales, culturales y económicas, del modelo político administrativo, de las funcionalidades de la cuenca y de las condiciones de riesgo.

El fin de este documento es realizar la identificación y análisis de las condiciones de amenaza y vulnerabilidad que puedan limitar o condicionar el uso del territorio y el aprovechamiento de los recursos naturales. Por lo anteriormente mencionado se observan los resultados obtenidos en cuanto a la amenaza por remoción en masa, y se observan los insumos utilizados para llegar a este resultado como lo es las bases cartográficas, los mapas geológicos, geomorfológicos, mapas de pendientes, análisis de laboratorios, entre otros.

La metodología utilizada en el POMCA para la amenaza se basa en el método del talud infinito, en el cual se involucran 7 variables que constan de factores como parámetros geotécnicos, dimensiones del suelo, condición sísmica y presencia de agua. Este método, asume que el talud se extiende de manera infinita (Plain Strain) y no considera las condiciones en 3 dimensiones del talud.

Uno de los problemas observados puede ser la escala de trabajo (1:100.000) ya que las variables ingresadas para este nivel pueden tornarse ambiguas y de poca precisión, pues realizar las generalizaciones de espesores de suelo, nivel freático, cohesión, entre otras, puede llevar a errores que se reflejan en la zonificación por amenaza.

La representación gráfica del mapa de amenaza del POMCA presenta pixeles muy grandes y con una forma que no necesariamente representa la realidad, pues se observan formas triangulares y con ángulos.

Unos de los insumos extraídos de los estudios POMCAS, son la cartografía geomorfológica, esta cartografía sigue una metodología que combinaba varios autores, lo cual proporcionó una visión más amplia sobre la obtención de una nomenclatura incluyente que relaciones la forma fisiográfica, la génesis de la forma, entre otros.

2.4 GUÍA TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (POMCAS).

Este documento consiste en una guía metodológica completa para realizar planes de ordenamiento y manejo de cuencas, en el caso de este estudio se utilizó el anexo de diagnósticos, en el cual se desarrollan las orientaciones técnicas que servirán de referentes para identificar y definir los parámetros, variables, indicadores y fuentes de información útiles para establecer la caracterización de la cuenca.

Para nuestro interés observamos cómo se obtiene la amenaza por remoción en masa, La metodología consiste en un análisis determinístico que agrupa un conjunto de parámetros basados en modelos hidrológicos y de estabilidad. Esto permite obtener una valoración cuantitativa de la amenaza en valores absolutos de un factor de seguridad que permiten evitar la subjetividad de otros métodos más cualitativos.

Esta metodología puede ser usada parcialmente, ya que algunos de los parámetros no se obtienen en los alcances de este estudio, sin embargo, la claridad de los conceptos puede llevar a la unificación de criterios para obtener la amenaza según el grado de profundidad de los estudios realizados.

2.5 PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA EN COLOMBIA.

Este estudio se desarrolla a partir de la necesidad de unificar las clasificaciones geomorfológicas en Colombia, debido a que entidades como INGEOMINAS, IDEAM, algunas universidades y empresas del sector privado, entre otros, utilizan la geomorfología con diferentes enfoques y propósitos y ninguna tiene la responsabilidad de desarrollar esta disciplina en el ámbito Nacional.

La unificación de criterios de clasificación propuesta según los objetivos que se tengan, en nuestro caso, las geoformas son clasificadas en primera instancia por el tipo de proceso que generó la geoforma como lo son la caída de rocas, los flujos de lodos y flujos de escombros, las avenidas torrenciales, la sedimentación, entre otras, enmarcadas en un ambiente geomorfológico dado como lo es el ambiente fluvial, volcánica, glaciaria, entre otros, definiendo así unidades y subunidades concretas con una nomenclatura que enmarca la clasificación sistemática anteriormente mencionada.

2.6 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR DE BARRANCABERMEJA.

A partir de este estudio se obtuvo información sobre los rasgos geotécnicos principales del municipio de Barrancabermeja, haciendo correlaciones con diferentes aspectos como el tectónico y geológico, determinando así una zonificación sísmica.

Este estudio incorpora información de diferentes entidades como lo es el IGAC, el Servicio Geológico Colombiano, además de seguir una ruta metodológica de la Association Francaise du Genie Parasismique-AFPS (1995). Por lo anteriormente mencionado un documento confiable del que se pueden extraer aspectos como la identificación y determinación de movimientos en masa.

De los insumos usadas en la microzonificación sísmica preliminar fue la geomorfología, la cual fue comparada con otros estudios básicos como las UPRs de los diferentes corregimientos, los POT, Los estudios POMCAS de los ríos Opón y Sogamoso, entre otros, extrayendo así información complementaria para definir aspectos que ayuden a definir la amenaza por remoción en masa.

2.7 PLANCHAS GEOLÓGICAS OFICIALES DE INGEOMINAS (119-108)

Las planchas geológicas del INGEOMINAS (Actual Servicio Geológico Colombiano), obtenidas de la zona de interés usan una base cartográfica de escala 1:100.000, Dichas planchas no fueron usadas para la realización de mapas geológicos debido a la escala de trabajo que se necesita a nivel rural 1:25.000.

Consistiendo en mapas que integra aspectos geológicos, estructurales, además contar con memorias explicativas de la cual se extraen datos específicos sobre diversos asuntos como la geomorfológicos, la tectónica, entre otros, que sirven de insumos para la obtención de la amenaza por remoción en masa.

El municipio de Barrancabermeja está dividido en 2 planchas geológicas diferentes, hacia el Sur se encuentra la plancha 119 llamada Barrancabermeja, mientras que hacia el Norte se encuentra la plancha 108 denominada Puerto Wilches, ambas zonas son de gran importancia para entender la configuración regional y las características geológicas del municipio.

2.8 METODOLOGÍA Y PROCESO DE INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA REVISIÓN EXCEPCIONAL DE POT, SEGÚN LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1807 DE 2014, CON BASE EN ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN DE LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA.

Este documento es una aproximación de los conceptos técnicos realizados en anteriores estudios a los lineamientos exigidos por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el cual requiere una serie de insumos que se combinan en un método heurístico, determinístico o probabilístico que entrega una zonificación en niveles de amenaza por movimientos en masa e inundaciones para una zona específica.

En este caso el decreto se aplicó de manera satisfactoria, generando unas bases de datos para sistemas de información geográfica que integra algunas variables consideradas en estudios anteriores y se realizó una zonificación válida con buenas representaciones gráficas que son valiosas para el desarrollo del presente trabajo.

El decreto 1807 de 2014 fue modificado por el decreto 1077 de 2015 del mismo ministerio y el presente estudio se basa en este último.

2.9 UNIDAD DE PLANEACIÓN RURAL, DIAGNÓSTICO Y CARTOGRAFÍA DE LOS CORREGIMIENTOS DE BARRANCABERMEJA.

Este trabajo consta de 3 documentos donde se estudian los diferentes corregimientos del municipio de Barrancabermeja. Uno comprende los corregimientos de La Fortuna y Meseta de San Rafael, el segundo Ciénaga de Opón y San Rafael de Chucurí, y el tercero todo el corregimiento del Centro, estos trabajos, finalizados en 2012, hacen una revisión bibliográfica de los conceptos técnicos relacionados con geología, geomorfología y otras variables, los cuales sirvieron de base para los refinamientos que se realizaron en los 3 informes técnicos y todos los productos gráficos (SIG).

Este estudio es clave para la definición de variables en algunos corregimientos, ya que presenta una base cartográfica bien definida para algunos sitios, a una escala, que, aunque requiere ser refinada, es válida. Algunos conceptos de este estudio son obsoletos hoy y serán reemplazados espacialmente junto con su nomenclatura a las metodologías vigentes expedidas por instituciones tales como IGAC y Servicio Geológico Colombiano.

2.10 DECRETO 1077 DE 2015.

El decreto 1077 de 2015 es un requisito legal para cualquier estudio de amenaza y gestión del riesgo en el territorio colombiano, este es expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio el cual ha tenido una serie de actualizaciones, pero este es el documento vigente que nos sirve de guía para el trabajo y que a su vez muestra los lineamientos que se deben seguir para realizar estudios para amenaza por movimientos en masa e inundaciones.

Estos estudios se realizan a diferentes escalas, primero hay que realizar un estudio básico con escalas que varían entre 1:5.000 y 1:25.000 y posteriormente estudios detallados que tienen escalas de mayor detalle, entre 1:2.000 y 1:5.000.

Es la guía que se debe seguir para realizar la zonificación final por métodos heurísticos, probabilísticos o determinísticos, que pueden ser modificados según las necesidades y condiciones específicas de una región, en este caso Barrancabermeja.

2.11 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PRELIMINAR DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA, SANTANDER.

Este documento se realizó en el año 2007 como una tesis de Pregrado en la universidad de la Salle, en el cual se realiza un análisis cuantitativo de las condiciones geotécnicas y su comportamiento esperado por sectores, dando como resultado final una zonificación de susceptibilidad a movimientos sísmicos. En este se involucran bibliografía disponible, trabajo de campo y ensayos de laboratorio, que parece estar bien fundamentado teóricamente en las interpretaciones que se realizan.

Para la evaluación de amenaza en movimientos en masa la caracterización geotécnica de unidades es realmente útil ya que según las condiciones del subsuelo se comportan los procesos morfodinámicos como los movimientos en masa, y este estudio entrega insumos adicionales como ensayos de laboratorio, que es fundamental para el comportamiento geotécnico de una subunidad geomorfológica o geológica dentro del municipio.



2.12 GEOLOGÍA URBANA DE BARRANCABERMEJA: BASE PARA INGENIERÍAS, ORDENAMIENTO TERRITORIAL AMBIENTAL Y GESTIÓN DEL RIESGO.

Este estudio publicado en el año 2016 es un estudio reciente que integra mucha de la bibliografía hasta el momento de su publicación en donde se comprenden capítulos de geología y geomorfología urbana, y también subregional. En la escala urbana cuentan con un nivel de detalle que no ha sido encontrado en los estudios anteriores, ya que el mapa fue levantado en escala 1:5.000 por recorridos de campo en el área urbana creando un modelo fiable del subsuelo donde se desarrollan los procesos constructivos.

Este documento es un insumo importante para ajustar y comparar las observaciones de geología y geomorfología que se levantaron en campo a escala urbana y que sirve de elemento de control para las asociaciones en escalas subregionales.

3 TRABAJO DE CAMPO

3.1 VISITAS DE CAMPO.

Se llevaron a cabo 2 campañas dentro de zonas urbanas y rurales del municipio de Barrancabermeja, con el fin de obtener insumos para la realización del estudio básico de amenaza por movimientos en masa, tanto a escala urbana como rural.

La primera visita de campo se realizó entre los días 13 y 19 de diciembre de 2017 y se realizó una segunda salida de corroboración de datos y examinación de puntos de control los días 12 a 15 de enero de 2018.

Con el fin de darle un mayor rendimiento logístico de las visitas de campo, se hizo una recopilación de datos proporcionados por estudios anteriores, a partir de los cuales se zonifican preliminarmente las áreas de interés, en última instancia se definieron 20 zonas, clasificadas mediante una jerarquía dependiendo del grado de prioridad; las jerarquías de grado 1 son aquellas donde es indispensable hacer una visita con una exploración descriptiva y sus respectivos sondeos directos e indirectos; las jerarquías de grado 2 son zonas de prioridad intermedia, usadas para verificar áreas de interés donde principalmente se hace una exploración descriptiva, en algunos casos estas áreas secundarias fueron redefinidas como zonas prioritarias debido a las características observadas; y por último, tenemos las zonas de menor jerarquía, estas zonas representan el grado 3 de prioridad y se usaron principalmente como puntos de control y de observación.

Las estaciones de campo fueron diseñadas para obtener información de las características generales de la zona como lo es la geomorfología y la geología, teniendo una guía especial para describir zonas con procesos de inestabilidad, la cual consiste en una lista de chequeo que permite tener un mayor control de las variables a evaluar en campo. La lista de chequeo fue modificada a partir de trabajos anteriores como Cruden y Varnes 1998, Alvarez et al 2000, Sandra Patiño (Geoingeniería S.A y Otros).

3.1.1 PROCESO DE CHEQUEO EN CAMPO

Como primer ítem de chequeo en zonas de procesos se define qué tipo de procesos morfodinámicos se están observando en la estación, por ejemplo, si se observa reptación, flujos de lodos, deslizamientos, caídas de rocas, entre otros.

Cómo ítem 2 se observa el tipo de unidades geológicas superficiales teniendo en cuenta su origen, por ejemplo, si son depósitos aluviales, coluviales, suelos residuales o roca.

El ítem 3 consiste en observar la degradación de estas unidades geológicas superficiales debido a los diferentes procesos antrópicos, como lo es la deforestación, la minería, el sobre pastoreo, entre otros.

Cómo ítem 4 se observa si los procesos tienen algún grado de actividad, definiendo si estos son latentes, activos, inactivos o reactivados.

El ítem 5 consiste en observar el contenido de agua de la zona de interés, si presenta humedad, si está seco, si se observa empozamiento, si se observan flujos, entre otros.

El ítem 6 busca describir los tipos de erosión que afectan los procesos, como por ejemplo si se da una erosión pluvial, en surcos, cárcavas u otros.

Posteriormente, el ítem 7 aborda el grado de erosión que se define según los tipos de erosión observados, y se clasifican como ligeras, moderadas, alta y muy alta.

El ítem 8 consiste en evaluar el comportamiento del proceso, si se está ensanchando, profundizando, alargando o se está dando de manera progresiva.

El ítem 9 evalúa la presencia del nivel freático en inmediaciones del proceso.

El ítem 10 consiste en evaluar las formas de las pendientes con el fin observar si son rectas, cóncavas, convexas, irregulares, para así observar patrones entre unidades geológicas superficiales y su manifestación en la morfología de las vertientes.

El ítem 11 consiste en evaluar qué tipo de superficie de ruptura presenta un proceso de deslizamiento, si es continua, discontinua, única, múltiple, entre otras.

El ítem 12 busca identificar grietas en los procesos de movimiento en masa, su disposición con respecto a los ejes de los cuerpos, su posición, entre otros.

Posteriormente, el ítem 13 busca caracterizar la continuidad de estas grietas.

El ítem 14 consiste en observar las medidas de tratamiento que se realizan para controlar los diferentes fenómenos y evaluar su efectividad, por ejemplo, la aplicación de muros de contención.

El ítem 15 consiste en asignar una valoración en campo de la susceptibilidad que presentan los fenómenos morfodinámicos, donde se definen 3 niveles, baja, media y alta, dependiendo de la combinación de factores y evidencias observadas.

El ítem 16 consiste en definir según las observaciones los usos del suelo.

Por último, el ítem 17 busca observar el estado de la cobertura del suelo según la densidad vegetal observada en el área (Ver Anexo: Formato de Salida de Campo).

3.2 MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA (PERFORACIONES).

La exploración directa del subsuelo se llevó a cabo mediante la realización de diez y seis (16) perforaciones con taladro manual por el sistema de percusión y llevado a profundidades variables entre cuatro con cincuenta (4,50) metros y diez con cincuenta (10,50) metros lineales, además del respectivo ensayo de penetración estándar SPT cada metro; todo lo anterior se acompañó de reconocimientos detallados de la zona del proyecto y sus vecindades mediante la exploración descriptiva de las estaciones de campo, anteriormente mencionada.

Los datos obtenidos en la exploración directa del subsuelo además del análisis de laboratorio aparecen en los anexos del informe.

Durante la ejecución de los sondeos se recuperaron muestras remodeladas (tomadas en bolsa) de los materiales típicos de la zona del proyecto y servirán como suelo de cimentación de las estructuras proyectadas dentro del lote. De cada sondeo (perforación), se realiza un registro estratigráfico con la localización de las muestras tomadas a partir de una descripción de los materiales detectados al avanzar los sondeos y la posición del nivel freático.

De los ciento ocho (108) metros lineales de perforación, se recuperaron cien (100) muestras para su análisis de laboratorio. Los testigos de las muestras permanecerán durante un mes dentro del laboratorio a partir de la fecha de entrega del presente informe quedan a disposición del laboratorio.

Tabla 3-1 Ubicación de la perforación en la Formación Geológica correspondiente.

Nombre de estación	Nomenclatura de la Perforación	Geología
BUC3-004	P5A	Formación Mesa - Conglomerados
BUC3-005	P6A	Formación Mesa - Conglomerados
BUC6-006	P9A	Formación Mesa - Lodolitas y Areniscas
BUC7-007	P10A	Formación Mesa - Lodolitas y Areniscas
BUC2-008	P7B	Formación Mesa - Lodolitas y Areniscas
BUC1-009	P6B	Llenos antrópicos
BRL-010	BRL-010	Formación Real
BREC-011	BREC-011	Formación Colorados
BREC-012	BREC-012	Formación Real
BRLF-013	BRLF-013	Formación Real
BRLM-014	BRLM-014	Formación Real
BUC7-015	P4B	Formación Mesa - Lodolitas y Areniscas
BUE-001	P1A	Formación Real
BUE-002	P2A	Formación Real
BUE-003	P3A	Formación Real
BUE016	BUE016	Depósitos Aluviales Recientes

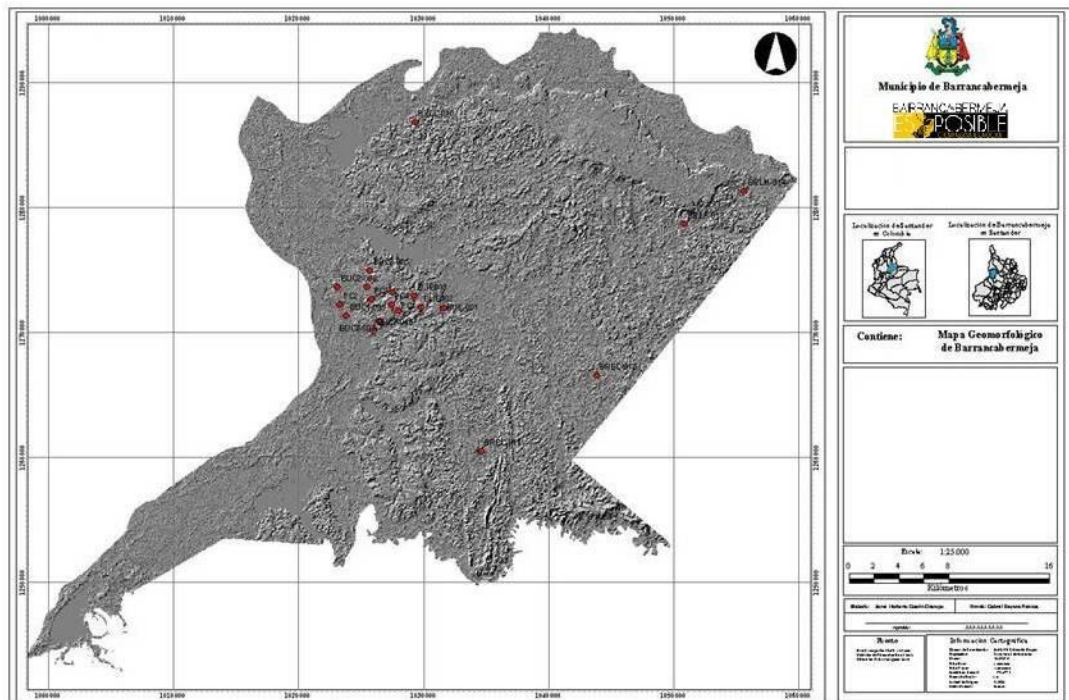


Figura 3-1 Ubicación de las perforaciones realizadas en el trabajo

3.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO.

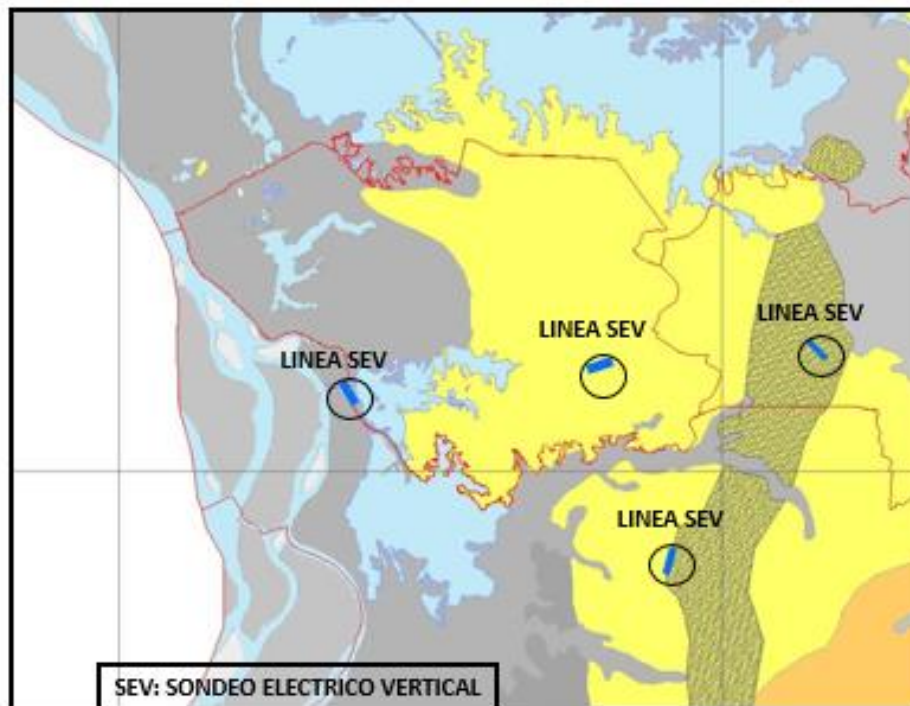
Al laboratorio ingresaron cien (100) muestras obtenidas durante la exploración de campo, las cuales se sometieron a una detallada inspección visual con miras a confrontar las descripciones realizadas durante la exploración de campo y seleccionar las muestras más representativas para ejecutarles los ensayos de rigor (humedad natural, límites de Atterberg y lavado sobre tamiz # 200). Los ensayos realizados fueron los siguientes, Tabla 3-2:

Tabla 3-2. Ensayos realizados

Tipo de Ensayo	Cantidad realizada
Humedad natural	32
Limites líquidos	32
Limites plásticos	32
Lavado sobre tamiz # 200	32

3.4 MÉTODOS DE EXPLORACIÓN INDIRECTA (PROSPECCIÓN GEOFÍSICA).

Se realizaron 4 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), cuya ubicación se presenta en la Figura 3-2.



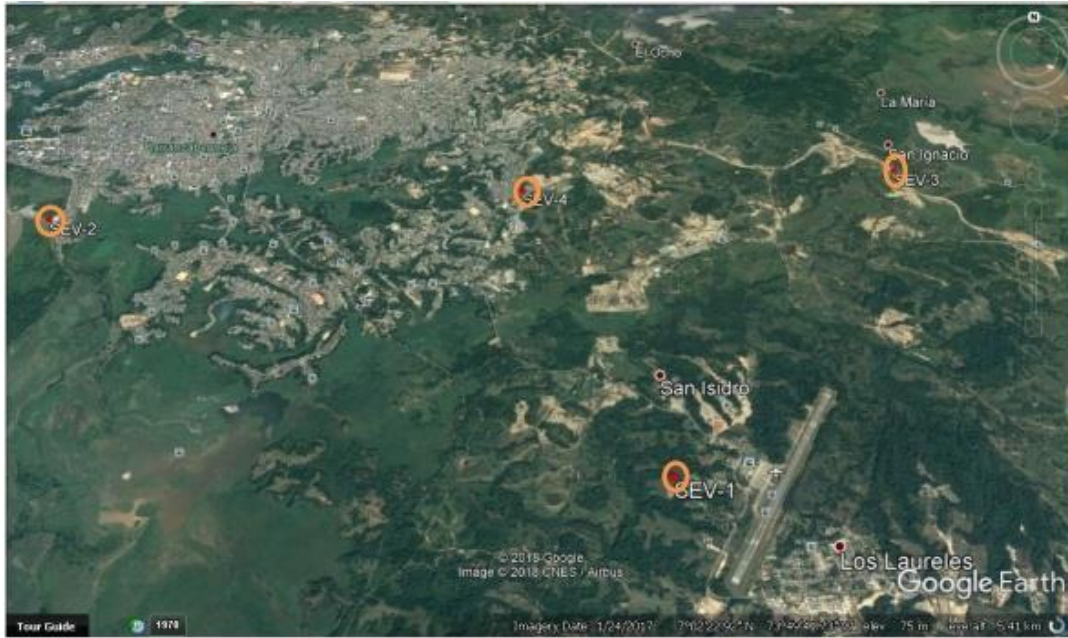


Figura 3-2 Ubicación de las líneas geoelectricas realizadas en el trabajo
Fuente: Elaboración del presente trabajo, 2018.

Tabla 3-3 Coordenadas de líneas geoelectricas (SEV)

Linea	Punto	Magna Sirgas Bogotá		Longitud (m)	Objetivo
		Este	Norte		
1	Inicial	1023891,7	1023772,4	120	Caracterizacion zona El Arenal
	Final	1271352,4	1271280		
2	Inicial	1031636,8	1031562,7	120	Identificacion estructural y estratigrafica en depositos recientes terciarios
	Final	1272069,1	1272000		
3	Inicial	1029200,5	1029080,4	120	Identificacion de las características del grupo Real y la formación Colorados.
	Final	1268486,6	1268530		
4	Inicial	1028014,7	1027968,1	120	Identificacion de espesor de depositos y naturaleza sub-superficial de la zona de mayor pendiente en el area urbana.
	Final	1271687,8	1271840		

4 CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL RURAL

En este capítulo se realizará la descripción de las características físicas que tienen que ver con el medio biótico y abiótico en el cual se realiza la evaluación final de amenaza por movimientos en masa, estas características físicas comprenden procesos morfodinámicos, factores detonantes y factores condicionantes que finalmente son los que hacen posible la ocurrencia o ausencia de movimientos en masa, algunos ítems como la geología, geomorfología están dentro de esta caracterización y requieren la visita a campo que es esencial para la caracterización final y se encuentra asistida por Sistemas de Información Geográfica en la fase de pre-campo y procesamiento de la información recolectada.

4.1 INVENTARIO DE PROCESOS

Los procesos morfodinámicos son eventos que modelan el terreno de manera rápida o paulatina, que tienen diversas clasificaciones dependiendo del tipo de proceso que sea, algunos procesos pueden tener variada incidencia en la forma en la que se comporta el relieve, y pueden presentar indicios de inestabilidad que con el paso del tiempo pueden afectar la forma en la que interactúa la población con el paisaje y en algunos casos, la misma población es el factor detonante para la ocurrencia de estos eventos.

A continuación, se describen los procesos morfodinámicos encontrados en el área rural de Barrancabermeja, que a la escala de levantamiento (1:25.000) se pierden muchos procesos con tamaño menor a 10.000 m² (mínimo sugerido por el SGC, 2017). Estos procesos fueron identificados con las ortofotos rurales del municipio de Barrancabermeja adquiridas por Walmart S.A.S.

4.1.1 Movimientos en masa

Los movimientos en masa evaluados para la zona rural, al igual que los demás procesos morfodinámicos, son identificables cuando tienen extensión mayor a 10.000 m² según la metodología propuesta por el SGC, 2017, esta escala de trabajo reduce significativamente el nivel de detalle del cual se pueden identificar los movimientos en masa activos, inactivos y latentes.

Se identificaron movimientos en masa activos en la zona entre el aeropuerto y el área urbana, un proceso de movimiento en masa que es progresivo hacia la vía principal.



Figura 4-1. Procesos cercanos a la vía principal Barrancabermeja – El Centro

En las imágenes se ve la cercanía del proceso con la vía principal, y que comienza a tener efectos sobre la capa asfáltica que eventualmente puede paralizar la vía, igualmente, se puede ver que desagües antrópicos aumentan la incidencia de este proceso, por lo cual se debe tener consideraciones de manejo especialdado que se presenta alta probabilidad de afectarseen dirección hacia la vía, con los correspondientes impactos sobre el flujo vehicular.

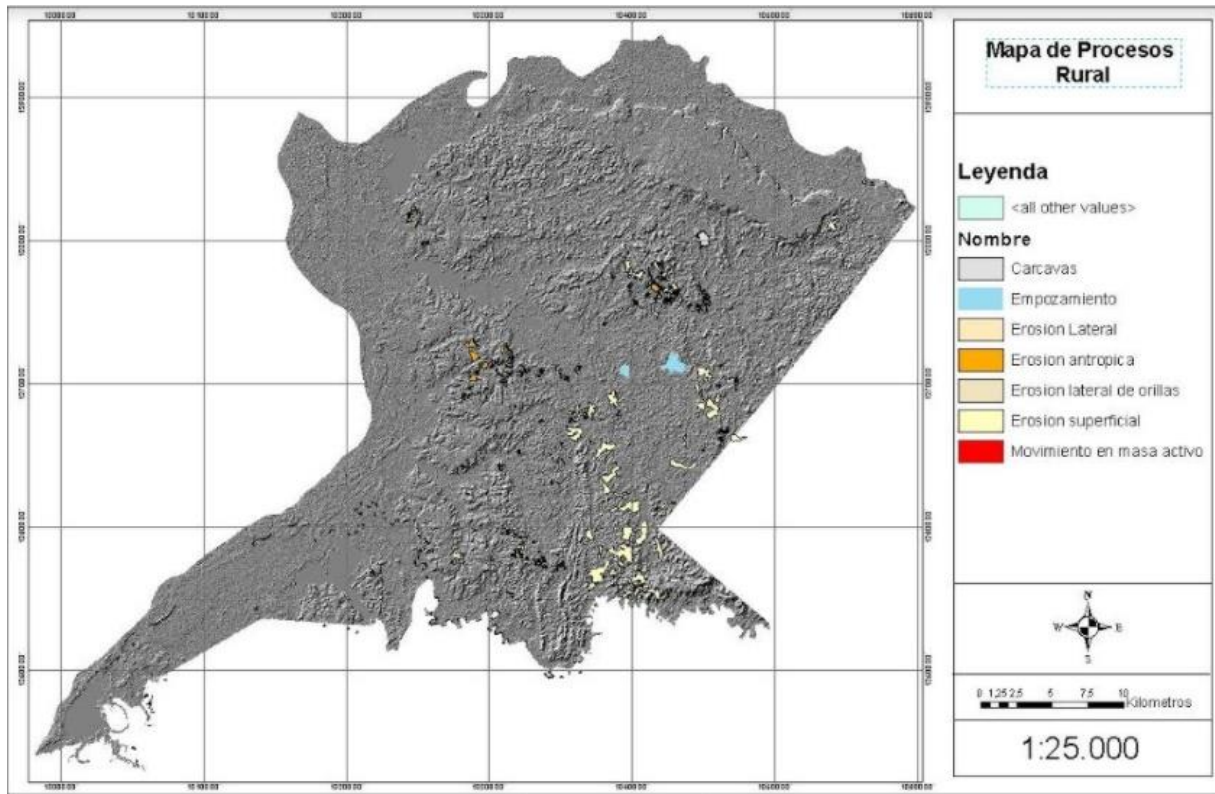


Figura 4-2. Mapa de procesos rurales

4.1.2 Erosión superficial

La erosión superficial es un proceso que se encuentra distribuido por todos los corregimientos del municipio y de varias escala, desde algunos metros hasta centenas de metros (200-300 metros) la ocurrencia de este proceso se debe a varios factores independientes que en ocasiones se combinan, tales factores pueden ser: Deforestación, Pluviosidad, tipo de uso del suelo tradicional y algunas veces el pastoreo de animales puede detonar este proceso, que es progresivo y aumenta su área de influencia de manera paulatina.

Según los procesos identificados por ortofotos, este proceso es natural y no presenta influencia directa de las actividades antrópicas, además se encuentra asociado a todas las unidades geológicas.

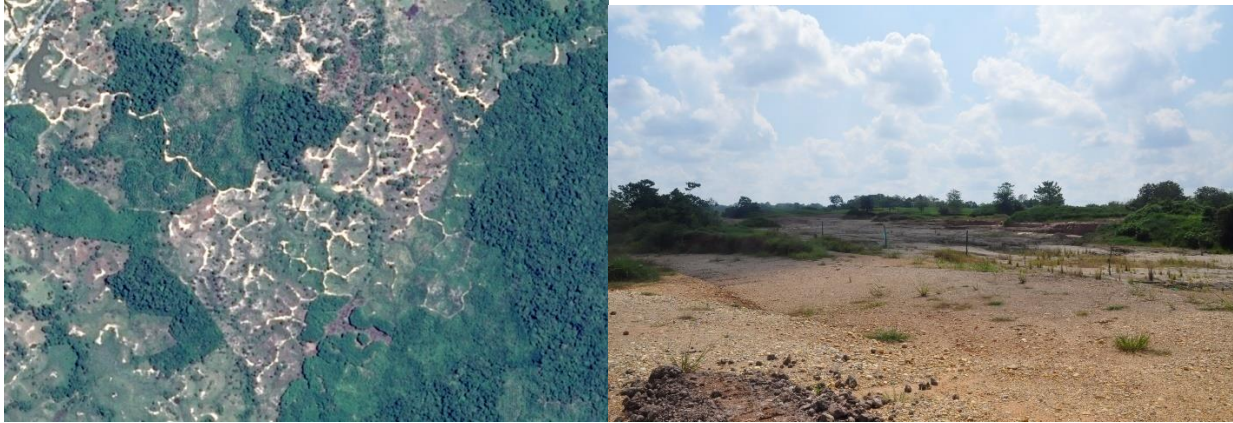


Figura 4-3. Erosión superficial, municipio de Barrancabermeja.

4.1.3 Cárcavas

Las Cárcavas es un proceso erosivo que se distribuye en todas las unidades geológicas presentes la zona urbana, que generalmente no tienen más de 100 metros de longitud, y se caracteriza por ser un proceso de erosión concentrado que se vuelve remontante y comienza a afectar las áreas circundantes.

Se encuentra en varios puntos de la zona rural del municipio, en los corregimientos de El Centro, El Llanito y principalmente en La Fortuna, donde el tipo de roca (Formación Colorados) es bastante susceptible a que ocurra, debido a la baja compactación, y se puede evidenciar desde un proceso incipiente hasta niveles avanzados de erosión por carcavamiento.



Figura 4-4. Procesos de Carcavamiento.

4.1.4 Erosión Antrópica

La erosión Antrópica es un proceso ocasionado de forma directa por las intervenciones humanas al terreno, se puede generar por realización de obras civiles como viviendas o proyectos de infraestructura, aunque su mayor causante es la minería de materiales de construcción que se realizan en ocasiones de forma indiscriminada y termina afectando a la misma comunidad.

En corregimientos como El Llanito, El Centro y en cercanías a la zona de Expansión Sureste es común encontrar sitios de extracción de material como se ve en la Figura 4-5. Algunos sitios más fueron encontrados en campo, pero no es posible ser vistos en la cartografía realizada, por el área y la escala de trabajo.



Figura 4-5 Erosión Antrópica típica en la zona rural de Barrancabermeja.

4.1.5 Erosión Lateral

La erosión lateral es un proceso que se origina en la parte superior de un talud, que se puede volver potencialmente inestable por la erosión causada en las cercanías del inicio de la pendiente y que puede generar coronas que se desestabilizan y pueden generar procesos de movimiento en masa. Se encuentran distribuidas aleatoriamente en todos los corregimientos, y también pueden ser causadas como producto de la evolución espacial de la erosión superficial, que llega a zonas de ladera.



Figura 4-6: Zonas con Erosión Lateral, ubicada en la parte superior de las colinas.

4.1.6 Erosión Lateral de Orillas

La erosión lateral de orillas ocurre exclusivamente en zonas aledañas a cuerpos de agua lénticos y lóticos que generan erosión en sus laterales, esto se puede observar a lo largo del río Magdalena, Sogamoso y Opón, al igual que en algunos de los humedales y lagunas que se encuentran en la zona rural de Barrancabermeja. En algunos sitios esta erosión lateral de

orillas es ayudada por intervención humana de una forma indirecta, tal como se muestra en la Figura 4-7 donde la instalación de pilotes sobre el río Sogamoso, probablemente para controlar la erosión en ese costado, desencadenó en el costado izquierdo, erosión lateral de orillas que terminó colapsando un sistema de tablestacas instalado como muro de contención.



Figura 4-7. Erosión Lateral de Orillas ocasionada por la instalación de pilotes en el margen derecho del Río Sogamoso.

4.2 PROCESOS MORFODINÁMICOS PREDOMINANTES

Los procesos morfodinámicos predominantes son los procesos que presentan mayor cantidad porcentual entre el área total de procesos encontrados en la zona rural, que para la escala de trabajo muchos procesos no fue posible representar completamente en los mapas, entre estos los fenómenos de reptación, que si fue posible analizar con mayor detalle en el caso de la zona urbana.

Como se muestra en la Figura 4-8 los procesos predominantes son Erosión superficial (68,9%) y Erosión antrópica (9,2%), la erosión superficial se muestra como el fenómeno predominante porque por su propio mecanismo, este proceso se extiende rápidamente de manera lateral removiendo la vegetación del terreno, lo que la hace más propensa a fenómenos de remoción. Este proceso es principalmente activo en el corregimiento de El Centro y La Fortuna.

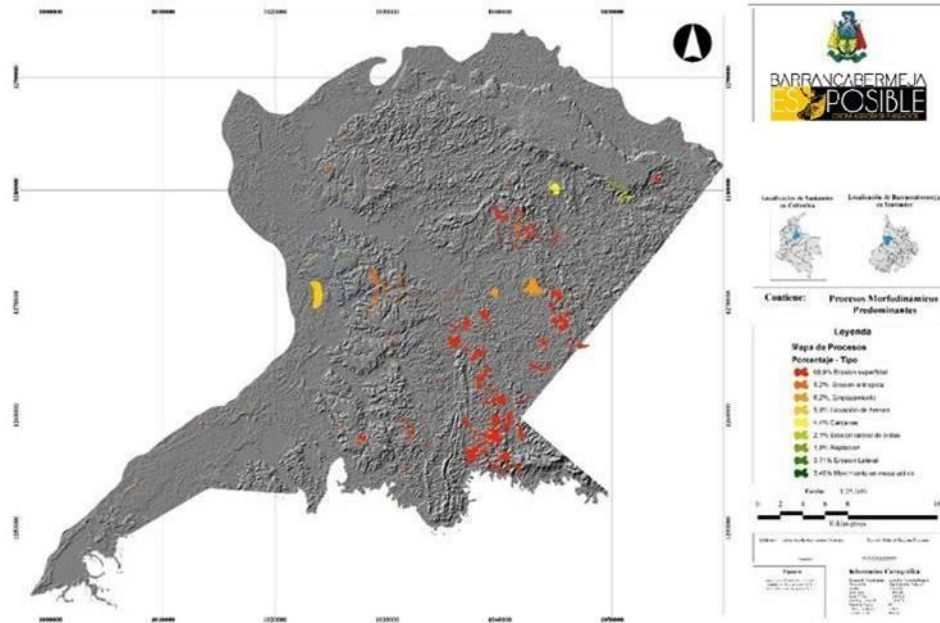


Figura 4-8. Mapa de procesos predominantes Rurales

4.3 ZONAS AFECTADAS

Las Zonas afectadas en la parte rural de Barrancabermeja se encuentran ubicadas principalmente en el corregimiento de El Centro, donde las erosiones superficiales se encuentran asociados directamente a los campos de extracción de hidrocarburo.

En la zona de La Fortuna, en cercanías al sector conocido como El Perol, la erosión superficial es determinada principalmente por el tipo de roca que allí se encuentra, ya que la Formación Colorados es poco compacta y susceptible a esto.

La zona de la meseta es bastante estable en su parte superior, pero en donde la meseta finaliza se encuentran escarpes que pueden ocasionar movimientos en masa, tal como se evidenció durante las visitas de campo.

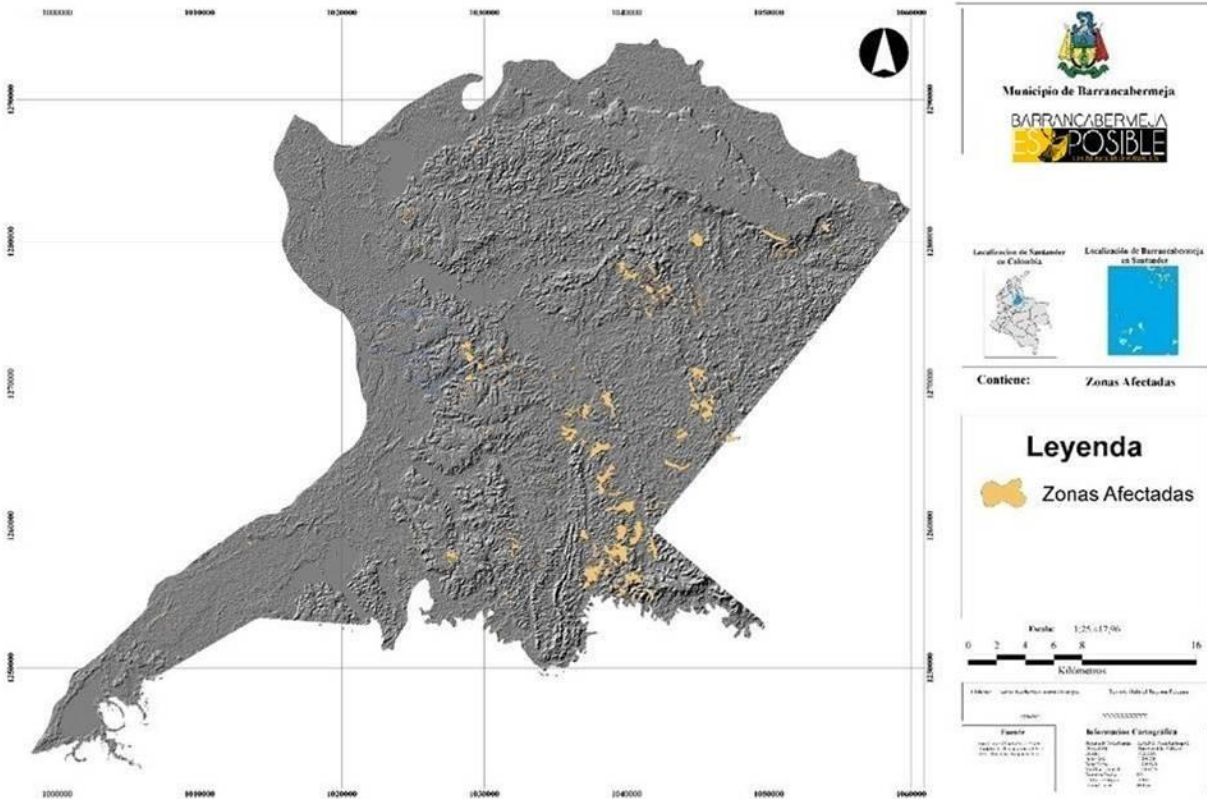


Figura 4-9: Mapa de zonas afectadas.

4.4 FACTORES CONDICIONANTES.

Los factores condicionantes comprenden todos los factores geo ambientales que actúan de manera areal en la zona rural del municipio de Barrancabermeja, que determinan, e influyen de manera importante en el comportamiento geotécnico de la región, teniendo en cuenta principalmente la existencia de diferentes unidades litológicas que generan un determinado comportamiento en las geoformas, razón por la cual la integración de estos dos factores representan el principal insumo en el análisis geoespacial de la amenaza por movimientos en masa, otros factores que condicionan la ocurrencia de inestabilidad en la superficie del municipio son los usos del suelo, los factores morfométricos como la curvatura de plano, las pendientes.

4.4.1 Geología Rural

La geología de la zona rural está enmarcada en la evolución tectónica y estratigráfica del valle del Magdalena, área que desde el cretáceo hasta la actualidad ha generado una deposición continua de unidades sedimentarias, donde las principales unidades asociadas al área de interés pertenecen al Paleógeno y Neógeno, como las Formaciones Esmeraldas, Colorado, Grupo Real y Formación Mesa, además de una importante influencia del río Magdalena, el cual ha generado amplios depósitos cuaternarios aluviales y lacustres.

Estratigráficamente se encuentra definida por basamento metamórfico que solo aflora en las partes altas de la cordillera oriental, al que supra yacen Formaciones cretácicas y cenozoicas de origen sedimentario, originadas en las épocas de transgresión y regresión marina, y en la parte superior se encuentran las unidades más recientes generadas por los regímenes de sedimentación continentales con algunas alternancias menores de etapas marinas.

Generalmente los contactos entre las unidades geológicas antiguas presentan discordancias entre grupos de unidades de diferentes etapas, mientras que las unidades más recientes como la Formación Mesa y el cuaternario muestran contactos erosivos y discordantes sobre las unidades más antiguas. Se distinguen los siguientes elementos:

4.4.1.1 Terciario

Comprende Unidades geológicas que van desde los 65 Ma hasta los 3Ma. Las unidades predominantes de esta etapa en la zona de estudio son:

- *Formación Esmeraldas (Tee)*

Esta Formación sedimentaria fue formalizada por Morales et al 1958, su localidad tipo se definió en el flanco Este el Sinclinal de Nuevo Mundo en las riveras del Río Sogamoso, su capa inferior está definido por lodolitas que suprayacente los paquetes de areniscas de las Formación la Paz, en algunas zonas presenta areniscas de color gris y verdosas de grano fino y medio, líticas y micáceas, con intercalación de gruesos paquetes de arcillolitas abigarradas y algunas oscuras con altos contenidos de materia orgánica.

La edad de dicha unidad ha sido definida mediante palinomorfos como Eoceno tardío. En la zona de estudio afloran principalmente en la parte occidental del municipio cerca de la meseta de San Rafael en la ribera del río Sogamoso.

- *Formación Colorados (Toc)*

Esta unidad fue definida por Wheeler en 1935, La localidad tipo de la Formación Colorado se encuentra en el Río Colorado cerca al Campo Cira – Infantas en el municipio de Barrancabermeja, se trata de una secuencia de 1.250m de espesor, de los cuales 100m representan los Horizonte fosilífero de “La Cira”, esta unidad reposa concordantemente con las unidades infra yacentes de la Formación Mugrosa y Esmeraldas, consta de areniscas conglomeráticas y conglomerados cuarzosos, con importantes intercalaciones de lodolitas violáceas y abigarradas. Esta unidad es definida como oligoceno tardío hasta mioceno medio a partir de palinomorfos y fósiles de moluscos.

En el municipio de Barrancabermeja afloran principalmente en la zona Sur, en los corregimientos del centro y la Fortuna.

- *Grupo Real inferior (Tmr1)*

Esta unidad fue definida por Wheeler en 1953, el nombre procede una estación de triangulación situada cerca al Río Opón, a unos 2 km al oeste de la Quebrada Real. Consiste en rocas sedimentarias siliciclásticas principalmente conformada por areniscas y conglomerados polimícticos, se encuentra discordante con la Formación Colorados, la edad de esta unidad ha sido datada por medio de palinomorfos como perteneciente al mioceno medio. Esta unidad representa el cuerpo geológico que más aflora regionalmente, ubicándose principalmente en la zona central del municipio.

- *Grupo Real Superior (Tmr2)*

Esta unidad fue definida también por Wheeler en 1953, en la misma sección tipo de la unidad Real Inferior, la diferencia fundamental entre estas unidades es presencia de grandes paquetes de lodolitas intercaladas con areniscas polimícticas, se encuentra concordante con el Grupo Real Inferior, y discordante con la Formación Mesa y unidades cuaternarias. La edad de esta unidad fue definida por trazas de fisión en apatito entre los 10 y los 6 Ma, Aflora especialmente en la zona de expansión Este del municipio, y en algunas zonas de la zona central del municipio.

- *Formación Mesa (Qa12-Qa13)*

Unidad definida por Hettner en 1892 en la zona de Honda-La Dorada, sin embargo, en el norte del valle Medio del Magdalena hace referencia a un carácter morfológico formando grandes terrazas y mesetas prominentes, la unidad que aflora en el municipio de Barrancabermeja consiste en depósitos aluviales con diferentes grados de compactación, y se caracteriza por presentar gravas gruesas en la base y lodos y arenas en la parte superior.

La edad de esta unidad ha sido datada por trazas de fusión en apatito U/Pb entre los 4-5 Ma, sin embargo, algunas de estas unidades pueden haber sido generadas en el cuaternario por actividad del río Magdalena u otros sistemas fluviales.

Aflora especialmente en el corregimiento de la Meseta de San Rafael, la zona Central del corregimiento de la Fortuna, al Este de la zona Urbana y la zona de expansión Este.

4.4.1.2 Cuaternario

Estas unidades comprenden etapas entre los 2,53 Ma y la actualidad, comprenden las unidades más superficiales generadas por procesos coluviales, aluviales y lacustres. A continuación, se describen las principales unidades:

- *Playas aluviales (Qabp)*

Consiste en playas e islas generadas en los sistemas aluviales, conformadas principalmente por arenas y gravas de composiciones muy variadas, presentan diferentes niveles y se

ubican tanto en la zona centrales como en los bordes de ríos (Barras), pueden tener cientos de metros de largo elongadas principalmente en la dirección de los sistemas fluviales. Se ubican principalmente en la zona occidental del municipio en el cauce del río Magdalena.

- *Depósitos coluviales (Qc)*

Los coluviones se definen como masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a subangulares, depositados por la gravedad, lavado de la lluvia, reptación o deslizamiento, en general representan movimientos en masa (Qc).

- *Depósitos Aluviales (Qal1)*

Consisten en depósitos recientes generados por los ríos y quebradas dejando diferentes niveles de terrazas, los cuales. Estos niveles de terraza representan además las llanuras de inundación de los sistemas abiertos y confinados, son unidades recientes que en algunos casos pueden ser confundidos con depósitos de la Formación Mesa.

4.4.2 Geomorfología

La geomorfología de la zona rural se encuentra condicionada por la interacción de la geología y la dinámica del río Magdalena en el pasado, además de su comportamiento actual y los drenajes que modelan el terreno. También hay otros factores que influyen en el modelamiento del terreno, como la disposición estructural de las rocas sedimentarias que componen el municipio y las intervenciones recientes al terreno realizadas por el ser humano.

En general, la clasificación de unidades geomorfológicas se realiza con base al trabajo propuesto y ampliamente aceptado de Carvajal (2012), que es utilizado por entes oficiales como el Servicio Geológico Colombiano y sus cartillas de metodología para la elaboración de diversos mapas de zonificación. Esta clasificación clasifica las geoformas dependiendo de su ambiente genético, que para el caso específico de la zona rural de Barrancabermeja son:

- *Denudacional (D)*
- *Fluvial (F)*
- *Estructural (S)*
- *Antrópico(A)*

4.4.2.1 Ambiente morfogenético denudacional

- *Cerro remanente o relicto*

Los cerros remanentes se caracterizan por tener una forma redondeada y con pendientes de hasta 31°, que varían dependiendo de la zona, en el corregimiento de El Llanito estos cerros tienen pendientes de hasta 31° siendo más común los rangos entre 21° y 26°, en el sector de La Fortuna tiene menos grados de inclinación en sus laderas, siendo el máximo encontrado de 19°. Las laderas en general son rectas a convexas, y en la cima de los cerros puede ser planos con varios metros de amplitud.



Figura 4-10: A la izquierda cerros remanentes típicos del corregimiento de El Llanito, a la derecha las pendientes menores pendientes en La Fortuna.

- *Escarpe de erosión menor*

Los escarpes de erosión menor son escarpes presentes en geoformas con poca altura en sus partes altas, como colinas estructurales y cerros remanentes o relictos, la ocurrencia de esta está asociada a procesos erosivos que modelan el terreno abruptamente, pasando de ser pendientes de 15 a 25° a pendientes mayores a 40°. En el sector de El Llanito es donde es más recurrente este proceso.

- *Escarpe de Terrazas de Erosión*

Los escarpes de terrazas son unidades geomorfológicas ubicados exclusivamente en los límites de terrazas antiguas abandonadas por los cauces de los ríos Magdalena, Sogamoso y Opón, formando en ocasiones taludes de depósitos aluviales y son susceptibles a movimientos en masa, como sucedió en el corregimiento de La Meseta (Figura 4-11), donde en su parte superior la unidad de Terrazas de acumulación antigua, mientras que en los bordes de esta, se encuentra Escarpes de Terrazas de Erosión, y pueden generar este tipo de movimientos.



Figura 4-11: Movimiento en masa activo, generado sobre escarpes de terraza de erosión.

4.4.2.2 Ambiente Morfogenético Fluvial

- *Planicie Aluvial Confinada*

Las planicies aluviales confinadas son espacios moderadamente amplios que se encuentran entre varias cerros remanentes o relictos, dicho de otra forma, los valles entre colinas, y pueden presentar una amplitud variable, llegando a ser de hasta 350 metros en algunos corregimientos como El Llanito, El Centro, La Fortuna y zonas cercanas a la Meseta.



Figura 4-12: Planicies aluviales confinadas en la zona de El Llanito (izquierda) y Cerros remanentes confinando la planicie aluvial en El Centro (derecha).

- *Plano o Llanura de Inundación*

Esta unidad se encuentra exclusivamente en los estribos de los ríos Opón, Sogamoso y Magdalena, ya que tienen la energía suficiente para ampliar su cauce y depositar sedimentos en zonas planas. Se caracterizan por estar casi al mismo nivel de elevación de estos ríos, ser totalmente planos con algunos empozamientos y de estar compuestos de material poco consolidado.



Figura 4-13: Llanuras de inundación de los ríos Magdalena y Sogamoso.

- *Unidad de Playas e Islas Aluviales*

Estas 2 unidades geomorfológicas se encuentran igualmente contiguas a los ríos Opón, Sogamoso y Magdalena. Las playas se encuentran generalmente entre el cuerpo de agua y las llanuras de inundación, mientras que las Islas Aluviales se encuentran dentro de los cuerpos de agua con cambios interno del curso del río, mostrando depósitos dentro del mismo río. En la Figura 4-13 se muestra una pequeña unidad de playas sobre el río Sogamoso que no fue posible cartografiar dada la escala de trabajo.

- *Terrazas de Acumulación*

Entre las unidades de Terrazas hay 3 y se diferencian entre otras cosas, por la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentran, las terrazas más antiguas, denominadas según Carvajal (2012) Terrazas Antiguas, se encuentran en el corregimiento de La Meseta, la cual se encuentra definida por esta característica homogénea del terreno y con alturas que llegan hasta los 150 msnm.

Las Terrazas de Acumulación Subreciente se encuentran en varias partes del municipio y las alturas sobre el nivel del mar rondan los 115 msnm.

Las Terrazas de Acumulación son más cercanas a los ríos y las alturas son de alrededor de 80 msnm. Estas 3 unidades las diferencia la altura sobre el nivel del mar, pero el material que las compone es diferente ya que por su edad de deposición ha comenzado un proceso de compactación que es una diferencia reológica clave para entender el comportamiento reológico. En términos morfométricos son del mismo nivel de homogeneidad.



Figura 4-14: Topografía homogénea en el corregimiento de La Meseta de San Rafael.

4.4.2.3 Ambiente Morfogenético estructural

- *Colina estructural (Sces)*

Las unidades de colinas estructurales están caracterizadas por tener una orientación preferencial de origen estructural, y que no necesariamente se deba a discontinuidades, los plegamientos de unidades sedimentarias, común en la zona, también condicionan estas geoformas, al igual que la disposición estratigráfica sin plegamiento hace que tengan una orientación preferencial, que en general es elongada en sentido N-S. Se encuentran asociadas a la Formación Real en la parte sur de la zona rural y en el sector de La Fortuna. Asociadas a estas hay altas pendientes.

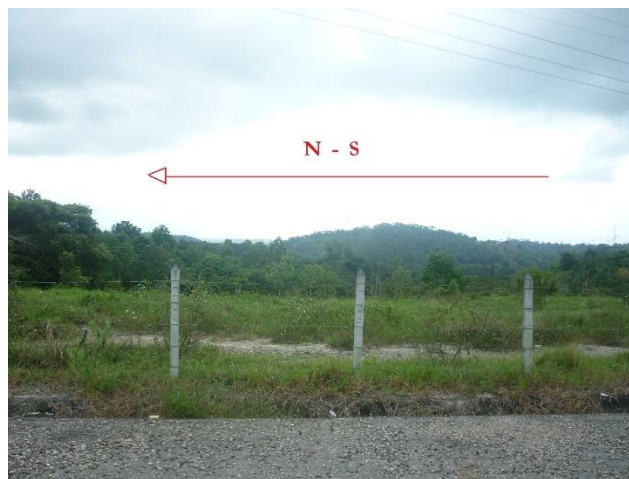


Figura 4-15: Colinas estructurales orientadas en sentido N-S.

4.4.2.4 Ambiente morfogenético antrópico

- *Procesos constructivos (Apc)*

En esta clasificación se agrupan todas geoformas que han sido generadas por la intervención antrópica al suelo; esta clasificación particular “procesos constructivos” es una modificación realizada en este trabajo, debido a que según la guía metodológica estos procesos antrópicos son clasificados en Minería de Pits y Socavón, por lo que el término adaptado en este trabajo incluye todas las modificaciones al terreno de origen antrópico, como minería, pozos de hidrocarburos, construcciones de infraestructura y demás.



Figura 4-16: Tipos de intervenciones antrópicas que clasifican dentro de Procesos Constructivos.

4.4.3 Cobertura y uso del suelo

La cobertura y usos del suelo es un factor parcialmente antrópico que se convierte en un factor condicionante debido a que dependiendo del uso que tenga puede ser un factor con incidencia directa en la ocurrencia de movimientos en masa.

Los usos de suelos fueron clasificados en el estudio realizado para las Unidades de Planeación Rural (UPR) y clasificado de la siguiente forma con sus porcentajes.

Tabla 4-1: Relación porcentual de usos del suelo.

Categoría Usos del Suelo	Área (%)
Pecuario	16,2
Urbano	2,3
Forestal Productor Protector	30,3
Agroforestal	13,2
Protector	8,3
Agrícola	20,7
Aeropuerto	0
Espejo de Agua	3,6
Playa	0,9
Sin Estudio	4,6
Total	100

El uso del suelo es principalmente Forestal Productor, Agrícola y Pecuario, los cuales pueden ser o no factores condicionantes, en el caso de la actividad pecuaria se ha visto que es extensiva, por lo que su afectación es moderadamente crítica. Igualmente dependiendo del tipo de cultivo que se realice en la producción agrícola hay diferentes grados de afectación.

Para el análisis de susceptibilidad estas categorías fueron tomadas genéricamente con valores estándar sin importar el tipo de cultivo, ya que para clasificar esto se requiere un análisis mucho más detallado y una mayor escala de trabajo. Este análisis se realiza en el capítulo de Susceptibilidad y Amenaza.

4.5 FACTORES DETONANTES

4.5.1 Lluvias

La zona de Barrancabermeja se presenta en el trópico con altas promedios de precipitación anual, las medias están oscilando por los 2600 mm anuales, pero tenemos, como se muestra en la figura precipitaciones medias hasta de 3100 y mínimas de 2400, la intensidad de la lluvia para toda la zona tanto en el área rural como en la urbana se asume como media.

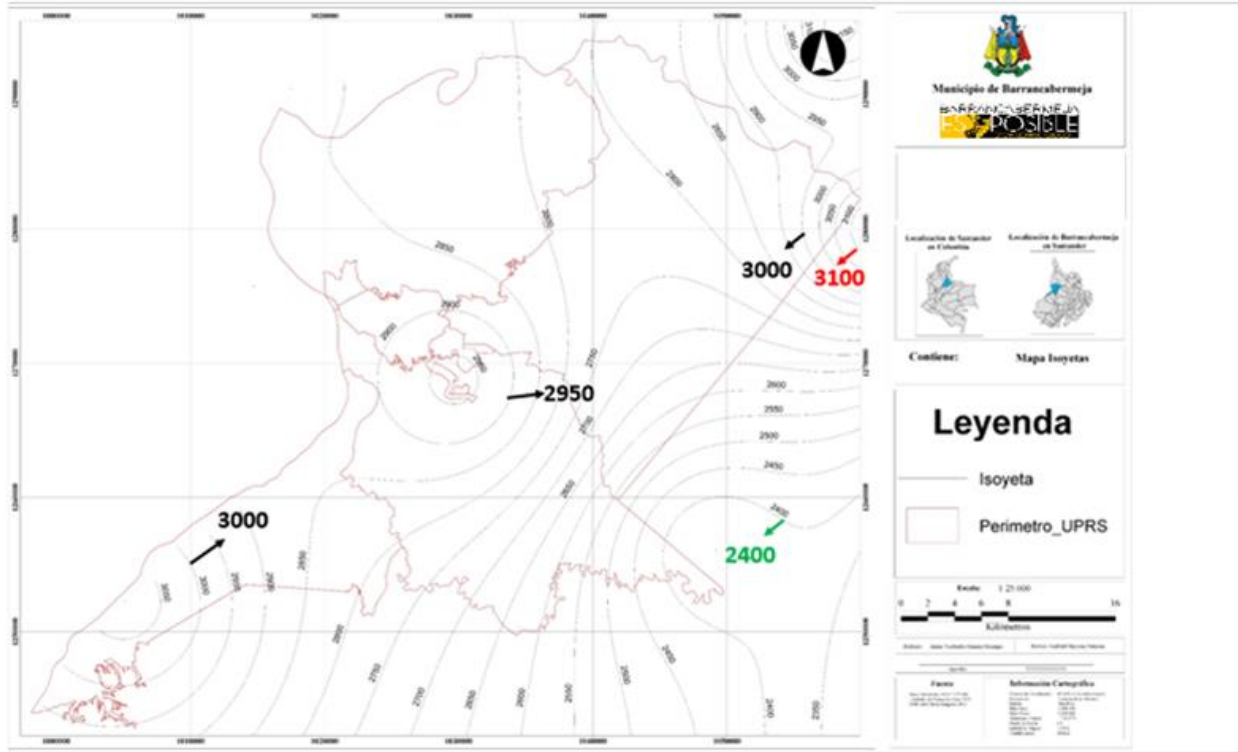


Figura 4-17. Plano de Isoyetas, zona de Barrancabermeja.

4.5.2 Sismos

Se considera, según las clasificaciones del Ingeominas y del servicio Geológico Colombiano, la zona en una clasificación con valores de aceleración de 0,1 a 0,15, lo que se considera intermedia para los cálculos de amenazas, considerando una clasificación igual tanto para la zona rural como la urbana.

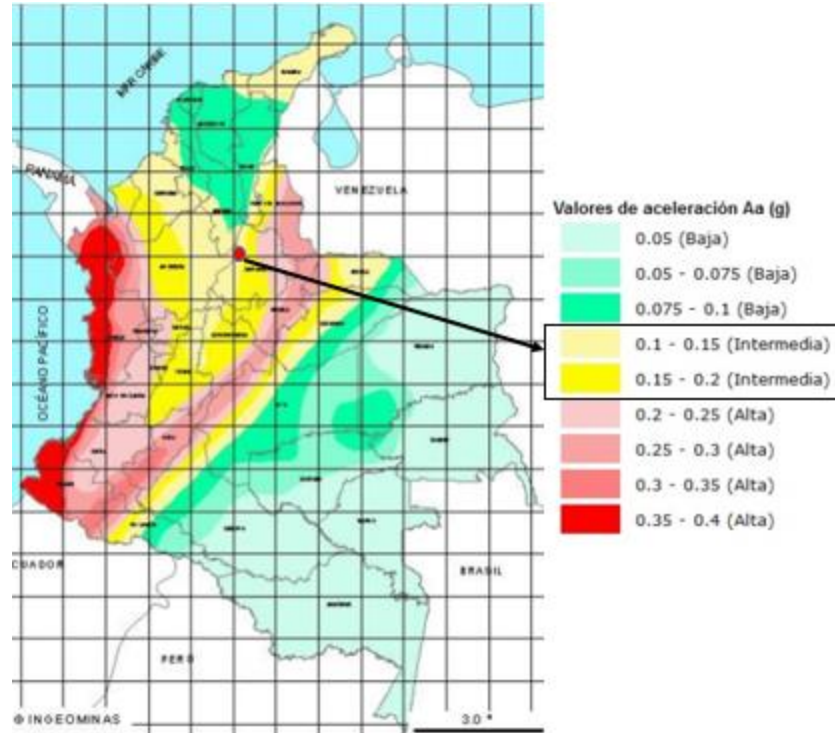


Figura 4-18. Clasificación de amenaza sísmica, zona de Barrancabermeja.

5 CARACTERIZACION GEOAMBIENTAL URBANA

La caracterización de los componentes geoambientales del área urbana se realizó de la misma manera con la que se realizó la rural, en donde fueron indispensables las fuentes de información oficiales y publicaciones científicas que han estudiado la geología, geomorfología, climatología y demás factores de la zona urbana de Barrancabermeja.

La diferencia notable entre la caracterización rural y urbana es la diferencia de escala cartográfica, ya que, al ser más detallada en esta última, permite reconocer características que no es posible identificar en escala de trabajo de 1:25.000. Algunos nombres de las unidades geomorfológicas y geológicas se siguen respetando dependiendo los autores principales, los cuales tienen algunas correcciones realizadas en el presente trabajo.

5.1 INVENTARIO DE PROCESOS URBANOS

Los procesos morfodinámicos urbanos, de igual manera que los procesos morfodinámicos rurales, dependen de varios factores y son un factor que está modelando continuamente el terreno y la forma del relieve, que puede afectar la expansión urbana normal en ciudades como Barrancabermeja y hacen más propensa la ocurrencia de movimientos en masa.

En la zona urbana se pueden identificar con mayor detalle los procesos morfodinámicos debido a que la escala de trabajo es mayor, los insumos presentan un mayor detalle y se realizaron más visitas de campo, en donde se visitó comuna por comunas. El mapa de procesos se muestra en la Figura 5-1.

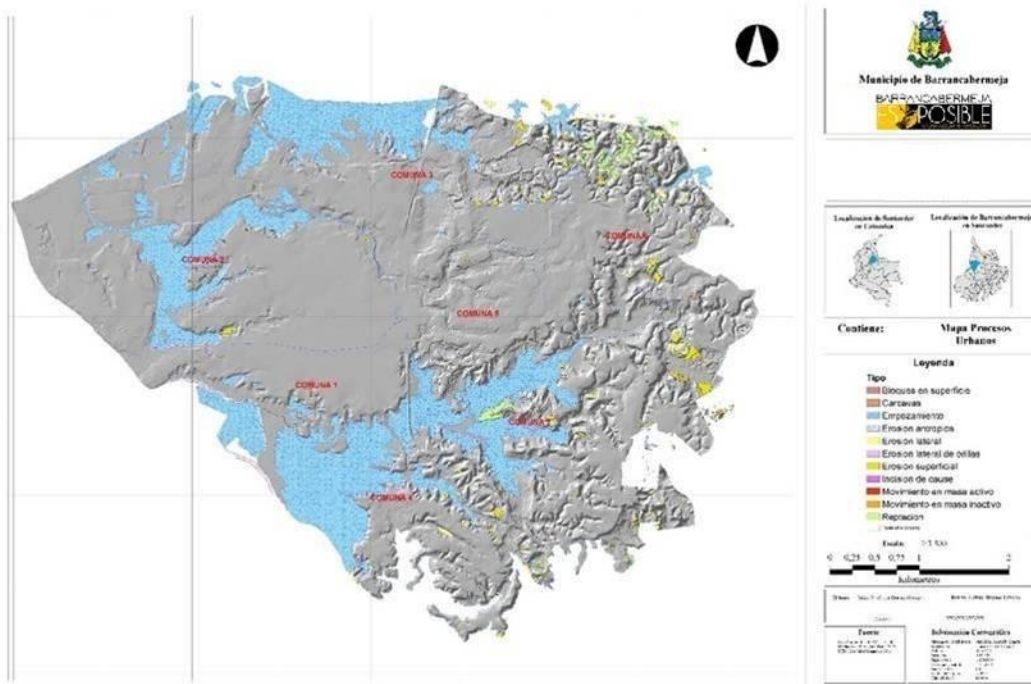


Figura 5-1: Mapa de Procesos Urbanos.

5.1.1 Movimientos en masa urbanos

Los movimientos en masa encontrados en la zona urbana están ubicados en la Comuna 7, específicamente en los barrios Yarima II, Las Palmas, Las Flórez y en la Ciudadela Educativa. Generalmente son zonas inestables alargadas paralelas a la ladera que presentan 15 a 20 metros de amplitud perpendicular a su sentido elongado.

Este proceso morfodinámico es generado y acelerado por la intervención antrópica, que en la zona urbana es un factor importante en la generación de este tipo de movimientos, ya que las construcciones se realizan en su mayoría sin tener en cuenta los efectos de modificar el terreno.



Figura 5-2: Deslizamiento Activo en la Comuna 7, costado oriental de la Carrera 28.

5.1.2 Erosión superficial

La erosión superficial es un proceso recurrente. Al igual que en los procesos morfodinámicos rurales, es el proceso más abundante en la zona urbana, que es detonado en la misma proporción por efectos antrópicos y naturales, ya que es abundante sitios de acopios de material, parqueaderos, obras en construcción e inclusive zonas de explotación de suelos. Este proceso puede tener hasta 200 metros de longitud y puede llegar a convertirse en un proceso crítico para la ocurrencia de movimientos en masa.



Figura 5-3: Erosión superficial en el área urbana de Barrancabermeja.

5.1.3 Cárcavas

Las cárcavas en la zona urbana se encuentran en las zonas despobladas, clasificadas como zonas de protección ambiental o zona de expansión y con nivel bajo de vegetación y en ocasiones ayudados por procesos antrópicos, en las ortofotos se pueden identificar muy claramente este tipo de proceso. En la Figura 5-4 se muestran las características de este proceso, que se encuentra asociado a la formación Mesa - Lodolitas y Areniscas principalmente, debido a que son más susceptibles a la erosión.



Figura 5-4: Cárcavas en la zona Urbana de Barrancabermeja, Comuna 3 y zona de expansión Sureste.

5.1.4 Erosión Lateral

La erosión en la zona urbana se encuentra ubicada en los sitios clasificados geomorfológicamente como Colina Estructural, Cerro Remanente o Relicto y como Escarpe de Erosión menor, y se encuentran ubicados en la parte superior de estas geoformas en cercanías al cambio de pendiente, y se caracterizan por tener zonas moderadamente sin vegetación. Se encuentran en las comunas 3, 4, 6 y 7



Figura 5-5: Erosión Lateral generada en la comuna 4, en la parte superior de las lateras.

5.1.5 Erosión Lateral de Orillas.

La erosión lateral de orillas en el municipio de Barrancabermeja se encuentra asociada a el río Magdalena, los humedales Miramar, El Castillo, Juan Esteban y las quebradas dentro de la zona urbana, en general este proceso no es muy influyente para la inestabilidad, ya que las quebradas y los humedales no se tiene mucho golpe de ola que es el movimiento que causa la erosión, pero para el caso del Río Magdalena es un agente erosivo poderoso que se ha controlado con muros de contención de tablestacas, pilotes y demás.

Las zonas afectadas por este proceso son pocas, pero generan zonas de alta pendiente, como se observa en los sitios cercanos al humedal Miramar.



Figura 5-6: Erosión Lateral de Orillas en cercanías al humedal Miramar.

5.1.6 Bloques en superficie

Los bloques en superficie son bloques de roca con baja meteorización (poco alterados) que resisten la meteorización, o que son la parte rocosa de una mezcla de bloques y resiste la erosión que se encuentran más susceptibles a presentar caída de bloques. En el caso de Barrancabermeja se construyó un solo polígono con los bloques encontrados en la Comuna 2. Según las características geológicas de Barrancabermeja es poco probable que se encuentren más bloques en superficies.



Figura 5-7: Bloques en superficies encontrados en la Comuna 2.

5.1.7 Erosión Antrópica

La erosión antrópica es un proceso que se encuentra en muchas partes del municipio, asociada a todas las unidades geomorfológicas, debido a que las construcciones de viviendas se encuentran en todo el territorio urbano, pero las zonas afectadas más notables son las que presentan procesos extractivos, como la extracción de material fino granular para la elaboración de ladrillos y otros materiales de construcción. Estos procesos se encuentran ubicados principalmente en la Comuna 6 y 3.



Figura 5-8: Erosión Antrópica causada por la extracción de diversos materiales de construcción.

5.1.8 Reptación

Este proceso morfodinámico no es de los que se puede cartografiar exclusivamente en la zona urbana, debido netamente a la escala de trabajo, ya que, en la zona rural, la escala de trabajo no hace posible que se identifiquen estos procesos por medio de las ortofotos, y los vistos en campo no se pueden identificar en el mapeo final.

Este proceso consiste en el movimiento vertical paulatino y diferencial de algunas de las laderas ubicadas principalmente en la parte norte de la zona urbana (Comuna 6) y es generado por la humedad natural del suelo sin intervención, y ayudado por pastoreo de ganado, en los estados avanzados de este proceso puede llegar a generar movimientos en masa por colapso de la ladera.



Figura 5-9: Vista típica de la reptación presente en la zona urbana.

5.2 PROCESOS DOMINANTES

Los procesos dominantes en la zona urbana, como se muestra en la Figura 5-10 comprende un análisis porcentual del área de cada tipo de proceso en relación con el área total de todos los procesos cartografiados en la zona urbana.

El proceso morfodinámico predominante es la erosión superficial con un 33,8% de área total de procesos cartografiados, el segundo proceso es la reptación con un 24,4%, ocurrente principalmente en la zona norte, y la erosión antrópica con 12,3%.

Estos procesos dominantes, como se observa en la Figura 5-10 se encuentran en las comunas 6, 3, y 7. El proceso menos recurrente es bloques en superficie, que como se mencionó anteriormente solo tienen un polígono encontrado en la Comuna 2.

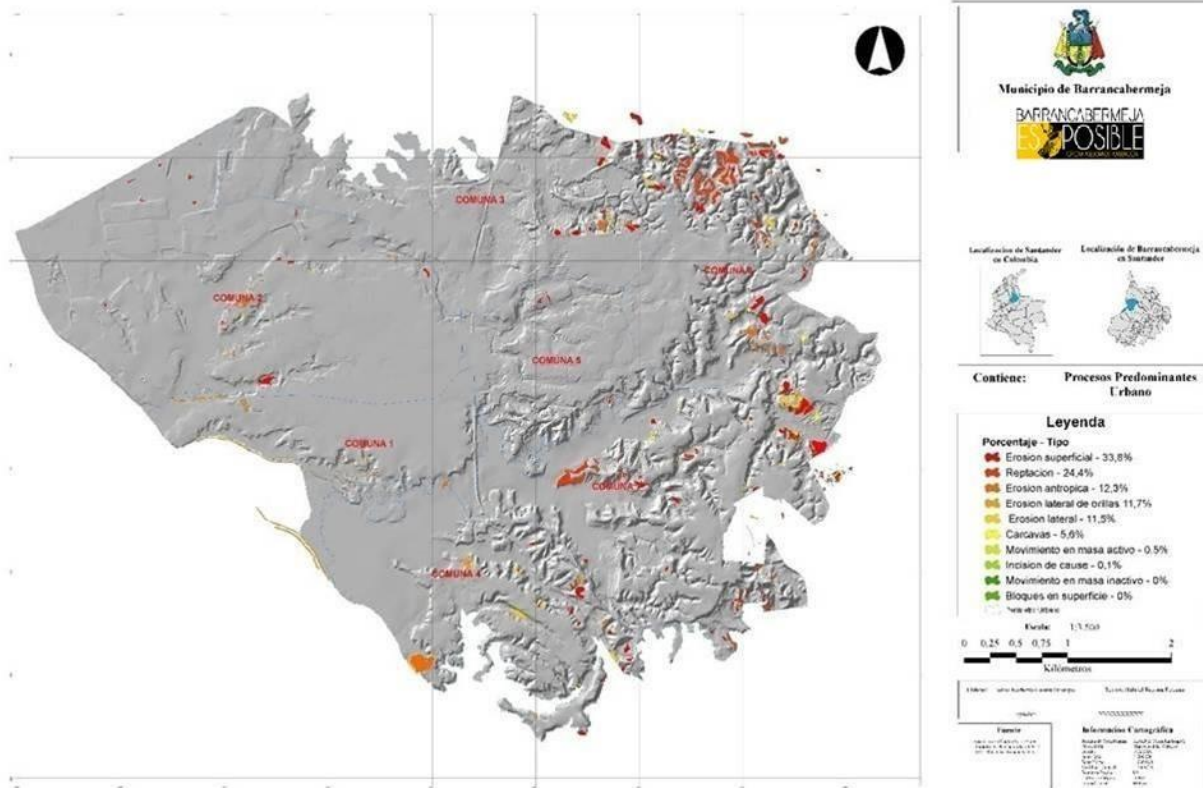


Figura 5-10: Mapa de Procesos dominantes en la zona urbana.

5.3 ZONAS AFECTADAS

Como zonas afectadas por la ocurrencia de procesos morfodinámicos, se utilizó la misma cartografía hecha en campo y con las ortofotos, y fueron discretizados los procesos que generan zonas inestables, entre los que se encuentran: Erosión Superficial, Reptación, Erosión antrópica, Erosión Lateral, Movimientos en masa, bloques en superficie y Erosión Lateral de Orillas.

Estos sitios caracterizados como zonas afectadas tienen la característica que son procesos más rápidos y muestran evidencias claras de su ocurrencia como la falta de vegetación.

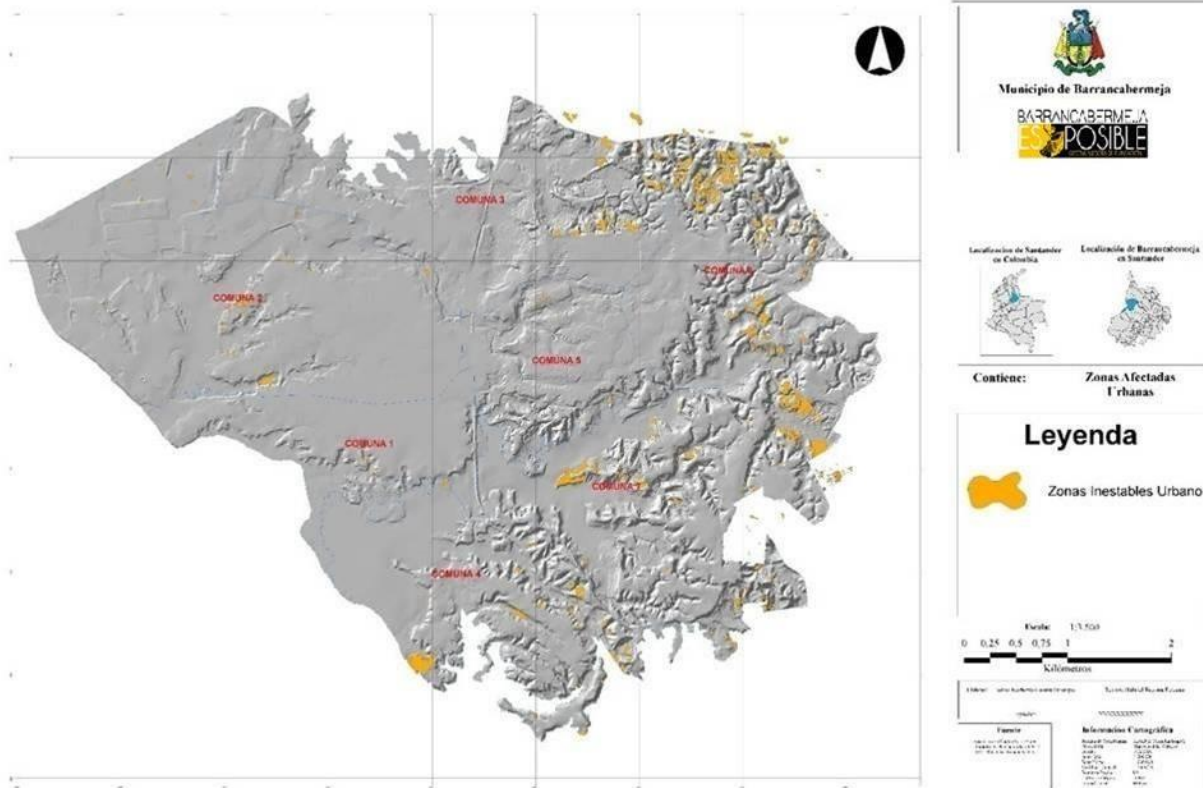


Figura 5-11: Mapa de Zonas Inestables en la zona urbana.

5.4 FACTORES CONDICIONANTES EN LA ZONA URBANA

5.4.1 Geología

La estratigrafía de la zona urbana está estrechamente ligada a la evolución del valle Medio del Magdalena, en el área específica de interés que abarca la zona de expansión y la zona urbana, están asociadas a rocas sedimentarias miocenas en el basamento, y rocas pliocenas y cuaternarias como unidades más superficiales, la principales unidades que afloran en la zona de interés son el Grupo Real y la Formación Mesa, además de depósitos fluviales asociados al Río Magdalena, generando amplios depósitos lacustres.

A continuación, se describen unidades:

5.4.1.1 Terciario

En la zona de estudio comprende unidades con edades entre los 15 Ma y los 3 Ma. A continuación, se describen las principales unidades representativas.

- *Grupo Real inferior (Tmr1)*

Aflora a nivel regional y fue definida por Wheeler en 1953, el nombre procede de una quebrada cercana al Río Opón, a unos 2 km al oeste denominada Quebrada Real. Consiste en rocas siliciclásticas principalmente conformada por areniscas y conglomerados de composición variada, la edad de esta unidad ha sido datada por medio de palinomorfos como perteneciente al mioceno medio aproximadamente 15 Ma.

Se observan algunos afloramientos en la zona Este de la zona Urbana y en la zona de expansión Sur.

- *Formación Mesa-Gravas(Qal3)*

Unidad definida por Hettner en 1892 en la zona de Honda-La Dorada, en el norte del valle Medio del Magdalena hace referencia a un carácter morfológico formando terrazas aluviales ya sean disectadas o no disectadas, también asociadas a la formación de cerros remanentes o relictos en áreas de alta erosión.

Conformada por gravas con tamaños de guilleros variables, muchas veces acompañadas por una matriz limo arenosa de color naranja, las áreas con capas de guijarros más gruesos generan una protección de las unidades subyacentes contra la erosión.

- *Formación Mesa-Lodos (Qal2)*

Unidad de gran importancia en la zona Urbana y de expansión Sur, también forma terrazas, consiste en depósitos aluviales, se caracteriza por presentar un carácter más fino granular y representa el techo de la Formación Mesa, algunas de estas unidades pueden haber sido generadas por influencia del Río Magdalena.

Forma zonas con alta erosión, con colinas muy disectadas y deprimidos con una ocurrencia importante de procesos morfodinámicos, conformada por limos y arcillas con intercalaciones subordinadas de arenas y gravas.

5.4.1.2 Cuaternario

Comprende rocas y depósitos que se formaron entre los 2,5 Ma y la actualidad.

- *Depósitos de Terraza: (Qal1)*

Representa depósitos recientes de terrazas actuales, de los ríos y quebradas dejando diferentes niveles menores, Estos niveles de terraza representan además las llanuras de inundación y antiguas zonas de influencia fluvial, se encuentra especialmente en la zona central y Noroeste del área urbana.

- *Depósitos aluviales recientes (Qalq)*

Consisten en depósitos recientes generados por quebradas internas, generando depositación fluvial en sistemas confinados, son unidades recientes y se encuentran aflorando en la parte Sur del área urbana.

- *Depósitos del río Magdalena (Qalm)*

Son depósitos asociados exclusivamente a la actividad actual del río Magdalena, son generados en el cauce actual y generan barras, islas, complejos de orillares, entre otros, presentan un carácter grueso granular que va desde bloques, gravas hasta arenas. Se ubican principalmente al occidente de la zona urbana.

- *Depósitos lacustres (Qall)*

Esta unidad se caracteriza por encontrarse en zonas planas, inundables y zonas donde se dan empozamientos como humedales, lagos, lagunas, ciénagas, entre otros, se caracteriza por generar depósitos ricos en materia orgánica, se encuentran principalmente en la zona de expansión Norte y en la zona Sur del área urbana.

- *Llenos Antrópicos (Qala)*

Se generan por acción del hombre, normalmente buscando zonas para depositar escombros o simplemente para generar áreas para la construcción de viviendas, normalmente se encuentran estrangulando los humedales de la zona urbana, en algunas zonas se observa un gran contenido de arenas como el caso del barrio el Arenal, en otros casos los escombros o residuos de construcción de infraestructura, en otros casos estos llenos están generando zonas de contacto entre barrios debido a la existencia de áreas lacustres de gran tamaño en la zona urbana.

5.4.2 Geomorfología

La geomorfología de la zona urbana, al igual que la rural se encuentra condicionada por la interacción de la geología y la dinámica del río Magdalena en el pasado, además de su comportamiento actual y los drenajes que modelan el terreno.

También hay otros factores que influyen en el modelamiento del terreno, como la disposición estructural de las rocas sedimentarias que componen el municipio y las intervenciones recientes al terreno realizadas por el ser humano.

En general, la clasificación de unidades geomorfológicas se realiza con base al trabajo propuesto y ampliamente aceptado de Carvajal (2012), que es utilizado por entes oficiales como el Servicio Geológico Colombiano y sus cartillas de metodología para la elaboración de diversos mapas de zonificación. Esta clasificación clasifica las geoformas dependiendo de su ambiente genético, que para el caso específico de la zona rural de Barrancabermeja son:

- *Denudacional (D)*
- *Fluvial (F)*
- *Estructural (S)*
- *Antrópico (A)*

5.4.2.1 Ambiente morfogenético denudacional

▪ *Cerro remanente o relicto (Dcrem)*

Los cerros remanentes que se encuentran en la zona urbana están ubicados en la zona norte del municipio (Comuna 6), donde genera geoformas suaves con pendientes bajas y parte superior amplia, en este sector están generalmente limitados por humedales en la parte baja (Figura 5-). Esta unidad se genera por la erosión diferencial de las terrazas de la zona urbana, y presentan susceptibilidad baja.



Figura 5-12: Cerros remanentes o relicto de baja altura en la parte norte de la zona urbana.

▪ *Escarpe de erosión menor (Deeme)*

Los escarpes de erosión menor se encuentran en los bordes de terraza Subreciente, donde las terrazas cambian de altura sobre el nivel del mar. En la zona urbana esta geoforma se encuentra en las cercanías al sector conocido como "El Comercio" (Comuna 1), donde el nivel de terrazas Subrecientes cambia a llenos antrópicos de la zona de Arenal, esta geoforma se caracteriza por presentar cambios de pendiente abruptos llegando hasta 45°.

Esta zona se encuentra cubierta por construcciones antrópicas que se acoplan a estos cambios de pendientes y que, debido a este cambio de altura y los llenos antrópicos del arenal, hay algunos problemas de inundación en las cercanías a esta geoforma.



Figura 5-13: Cambio de pendiente en la comuna 1.

5.4.2.2 Ambiente Morfogenético Fluvial

- *Planicie Aluvial Confinada*

Esta geoforma se encuentra entre las colinas estructurales y cerros remanentes o relictos, por estar confinadas y ser la parte inferior de las geoformas anteriores, es común que sean zonas inundables, por lo que generalmente se encuentran cubiertos por cuerpos de agua de variado espesor. Está presente en la Comuna 6 con una cantidad importante de población.

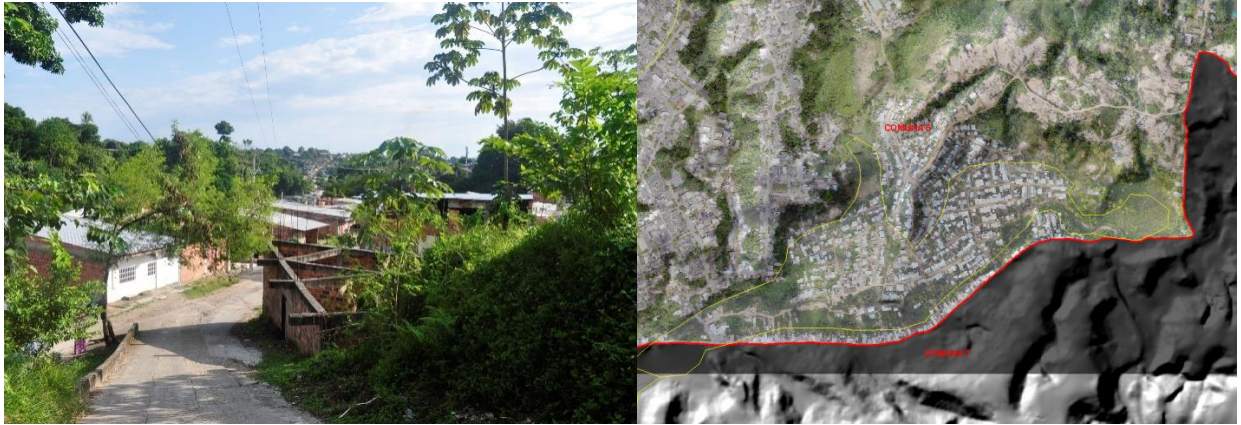


Figura 5-14: Planicie Aluvial Confinada en la comuna 6.

- *Plano o Llanura de Inundación*

Estas zonas se caracterizan por estar al costado izquierdo del Rio Magdalena, donde la dinámica fluvial actual las hace susceptibles de sufrir inundaciones pero que con la importancia económica que tienen han sido protegidas con diversas obras de contención.

Se encuentran en la zona norte del municipio y con tamaño variable al lado del rio magdalena se caracterizan por estar casi al nivel del Rio con muros de contención que limitan el cuerpo de agua con el territorio municipal.



Figura 5-15: Muro de contención sobre la unidad de Plano o Llanura de Inundación.

- *Unidades de Terrazas*

Las unidades de terrazas presentes en Barrancabermeja, de forma similar a como ocurre en la zona rural, se encuentran diferenciadas por la altura sobre el nivel del mar, ya que morfométricamente tienen las mismas características, ya que son unidades planas que son socavadas levemente por humedales y por algunas quebradas en sitios puntuales, en el caso rural, no se tienen las Terrazas Antiguas, ya que las alturas en las que se encuentran cada una de estas son de alrededor de 70-85 msnm para las Terrazas de Acumulación y 85 a 100 msnm.

Las terrazas de acumulación se encuentran principalmente en la Comuna 2 y parte de la Comuna 2. Mientras que las Terrazas Subrecientes se encuentra en las comunas 5, y parte de la 3.

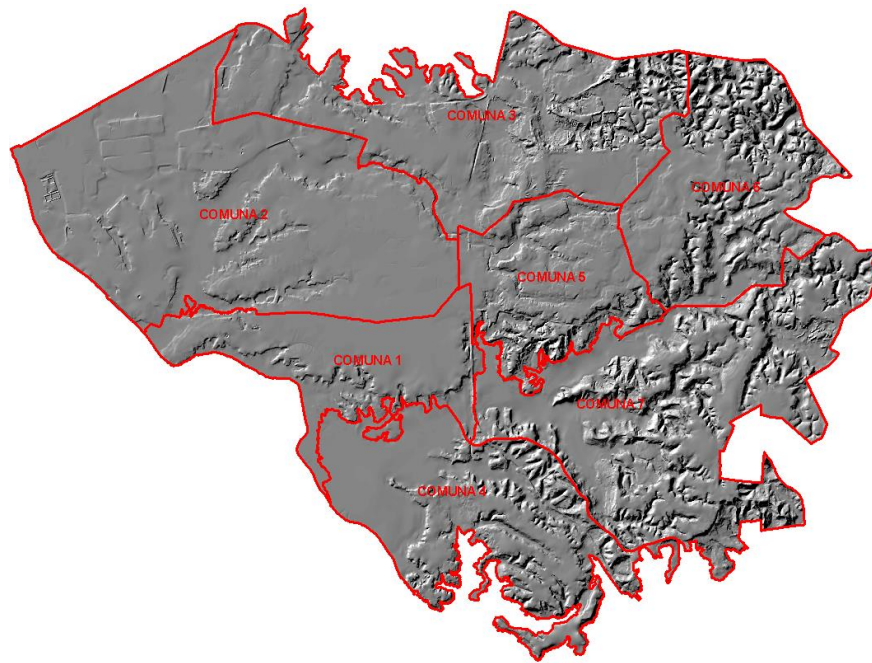


Figura 5-16: Relieve generalizado del área urbana de Barrancabermeja.

5.4.2.3 Ambiente Morfogenético estructural

- *Colina estructural (Sces)*

Las colinas estructurales se encuentran ubicadas en la comuna 4, 7 y 6, y a pesar de que tienen una morfometría similar a los cerros remanente, se diferencian por presentar mayor altura y pendientes mayores, al igual de que se encuentran orientadas con 2 sentidos preferenciales: 1. N55W y 2. Aproximadamente N-S.

El origen de esta orientación se debe a que los planos de estratificación permiten esta disposición preferencial, ya que son planos de debilidad por el que se concentra la erosión y terminan generando una orientación preferencial de las colinas y tributarios (Ver Figura 5-)

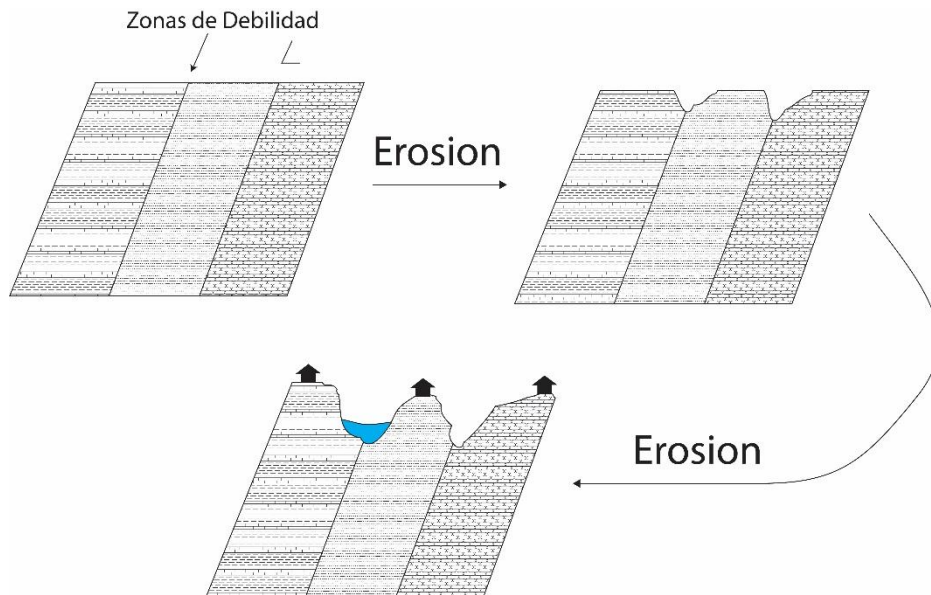


Figura 5-17: Mecanismo de orientación preferencial de las Colinas Estructurales ubicadas en las comunas 4, 6 y 7.



Figura 5-18: Taludes típicos de las colinas estructurales y morfometría de la comuna 7.

5.4.2.4 Ambiente morfogenético antrópico

- *Procesos constructivos (Apc)*

Los procesos constructivos que generan geofomas en la zona urbana están influenciados principalmente por 2 factores. La expansión de terreno sobre humedales de manera indiscriminada en las periferias de los humedales El Castillo y Miramar, y las ladrilleras ubicadas dentro del casco urbano. Estos procesos se clasifican diferente a los mostrados en la zona rural, ya que la escala de trabajo permite registrar la generación de nuevos terrenos sobre humedales.

5.4.2.5 Caso particular de El Arenal

Este centro poblado está ubicado al sur del área urbana del Municipio de Barrancabermeja



Figura 5-19. Ubicación de la zona de El Arenal respecto al área urbana de Barrancabermeja.

El centro de la zona de El Arenal se encuentra a una elevación de 72 a 74 m. snmm, en coordenadas $7^{\circ} 02' 59,78''$ Norte y $73^{\circ} 02' 42,45''$ Este.



Figura 5-20. Fotografía de la zona central de El Arenal, área urbana de Barrancabermeja.

Su ubicación geográfica es más baja en cota que el área central y su altura sobre el nivel medio del río y de los cuerpos de agua que la rodean no sube más de dos metros, Figura 5-.

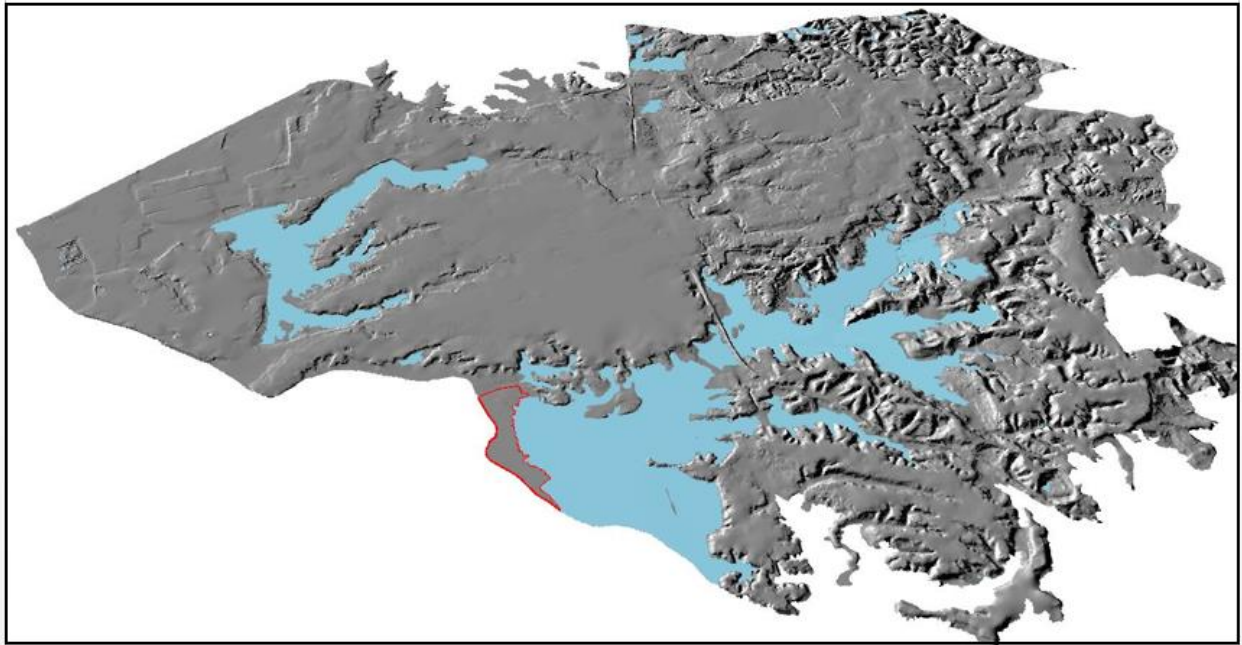


Figura 5-21. Presentación de la zona de El Arenal (Rojo) en relación con alturas relativas.

En el sector del Arenal es donde se encuentra este proceso de manera más clara, esto puede desencadenar procesos morfodinámicos y ambientales en los otros sectores del mismo humedal. Los Procesos constructivos con rellenos no consolidados y materiales no seleccionados técnicamente, están en el mismo inicio de los humedales, Figura 5- .





Figura 5-22. Presentación de la zona de avance de El Arenal en la zona de humedales.

Los procesos constructivos en esta zona implican una serie de problemas como mala compactación, drenajes inadecuados, en una zona humedal, Figura 5-



Figura 5-23. Procesos constructivos en el avance sobre el humedal.

En la zona se realizó un Sondeo Eléctrico Vertical SEV, de los 4 realizados en el trabajo el que se identificó como SEV 2.

La Figura 5-muestra como el suelo está saturado desde la capa 1.

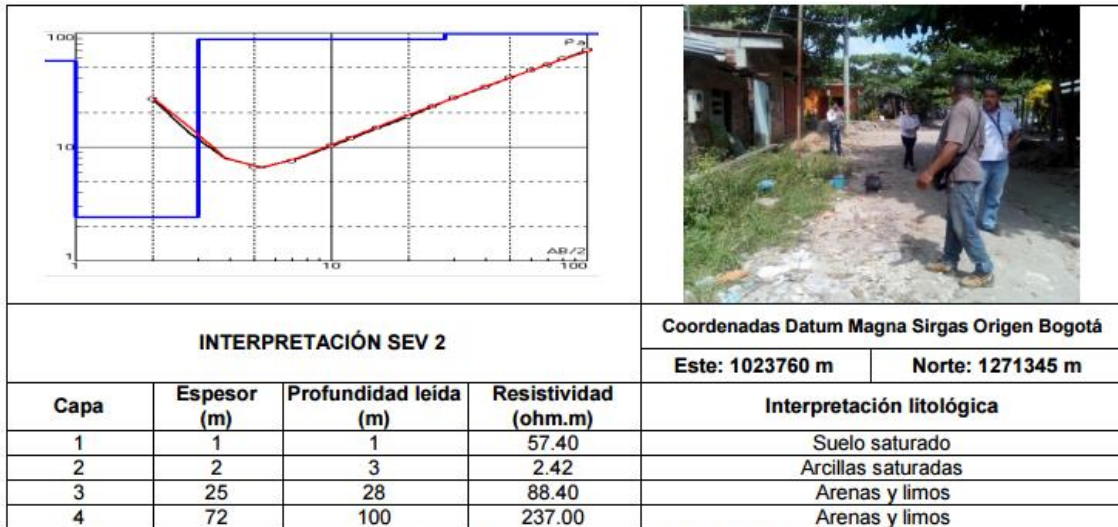


Figura 5-24. Características y resultados generales del sondeo Geoeléctrico SEV 2.

Por las condiciones particulares de la zona se podría hacer efectivo el fenómeno de licuefacción de suelos, fenómeno en el cual los terrenos, a causa de saturación de agua y particularmente en sedimentos recientes como arena o grava, pierden su firmeza y fluyen como resultado de los esfuerzos provocados en ellos por sismos.

5.5 FACTORES DETONANTES

Se consideran los mismos detonantes regionales del área rural, en lo referido a lluvias y sismos, utilizando para ambos una clasificación de Intermedia. Capítulo 5.

6 ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA PROCESOS RURALES

6.1 ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA DESLIZAMIENTOS

Para obtener la susceptibilidad a movimientos en masa tipo deslizamiento se propuso utilizar el método estadístico bivariado Wofe, el cual usa una validación de hipótesis planteadas sobre los factores condicionantes que se construyen a partir de un inventario de procesos y el análisis de expertos, el cual determina la validación del método que depende de la coherencia de los resultados; en este caso la metodología no es aplicable al 100%, ya que su aplicación ideal se da en áreas con alta ocurrencia de procesos morfodinámicos, que permitan un registro areal adecuado, los datos obtenidos del análisis de evidencia solo fue usado para obtener un valor menos subjetivo dando mayor importancia al criterio de los expertos.

Los mapas utilizados a escala rural presentan un tamaño de celda de 12,5*12,5 m. La susceptibilidad por movimiento en masa tipo deslizamiento incluye los siguientes pasos a escala rural:

6.1.1 Geomorfología susceptible a movimientos en masa tipo deslizamiento.

En primer lugar, se separaron zonas geomorfológicas con más posibilidades de ocurrencia de movimientos en masa tipo deslizamiento, las zonas restantes son tomadas automáticamente como zonas de susceptibilidad baja y se proporciona un peso subjetivo inmediato a cada geoforma con un valor de 1.

6.1.1.1. Corte geomorfológico con zonas susceptible (rural)

A partir de un análisis de expertos se discriminaron la zona a escala rural con geomorfologías que presentan mayor susceptibilidad a movimientos en masa tipo deslizamiento (Ver figuras), teniendo en cuenta su origen y naturaleza, generando así una primera clasificación de áreas, que facilitan el estudio general. En la zona rural se presentan 5 geoformas susceptibles a movimientos en masa tipo deslizamiento, la cual representa el 53.07% del área total (Ver tabla), por otra parte, se separaron 8 geoformas no susceptible a movimientos en masa tipo deslizamiento que representan 46.92% del área total.

Tabla 6-1. Geoformas susceptibles movimiento en masa tipo deslizamiento (Rural).

Geomorfología Susceptible	Peso subjetivo
CERRO REMANENTE O RELICTO	3
COLINA ESTRUCTURAL	3
ESCARPE DE EROSION MENOR	3
ESCARPE DE TERRAZAS DE EROSION	2
PROCESOS CONSTRUCTIVOS	2
% área total	53,07

Tabla 6-2. Geformas no susceptibles a movimiento en masa tipo deslizamiento (Rural).

Geomorfología Susceptible	Peso subjetivo
COMPLEJO DE ORILLARES	1
ISLAS ALUVIALES ACTUALES	1
PLANICIE ALUVIAL CONFINADA	1
PLANO O LLANURA DE INUNDACION	1
PLAYAS	1
TERRAZAS DE ACUMULACION	1
TERRAZAS DE ACUMULACION ANTIGUA	1
TERRAZAS DE ACUMULACION SUBRECIENTE	1
% área total	46,92

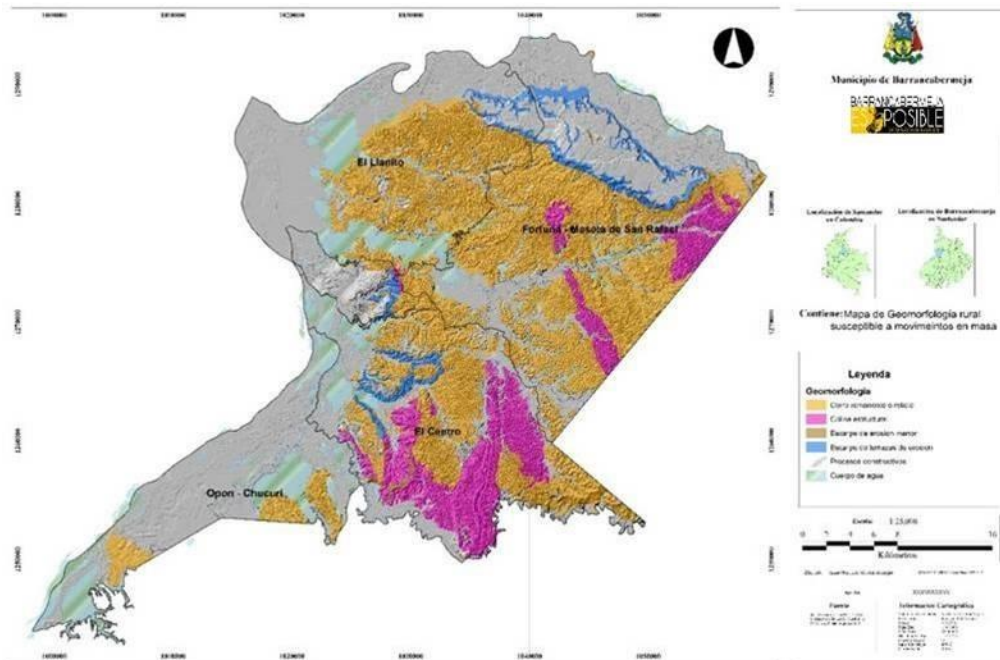


Figura 6-1. Mapa de geomorfología rural susceptible a movimientos en masa.

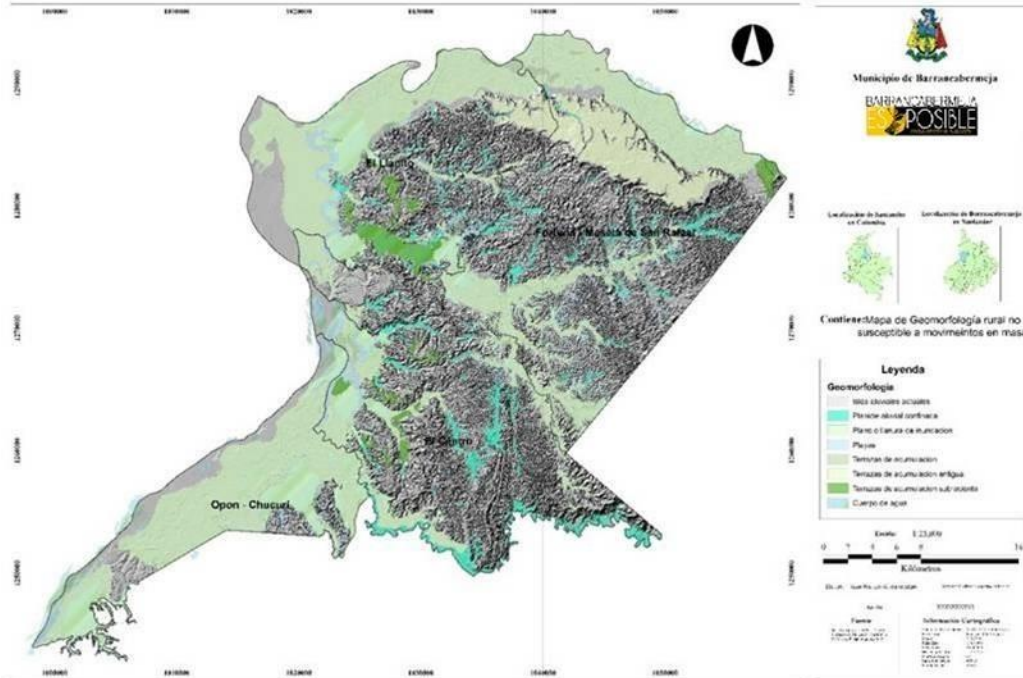


Figura 6-2. Mapa de geomorfología rural no susceptible a movimientos en masa.

6.2 FACTORES CONDICIONANTES.

A partir de las áreas que representan las zonas con geomorfología de mayor susceptibilidad a movimiento en masa, se realizan mapas con los factores condicionantes (pendiente, curvatura de plano, unidades geológicas superficiales, geomorfología y usos del suelo). Los factores condicionantes fueron elegidos siguiendo los lineamientos de la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 de 2017.

Para cada factor condicionante se recomienda realizar un análisis areal basado en las evidencias proporcionadas por el mapa de inventario de procesos. Este análisis usa un procesamiento de datos mediante estadística bayesiana (Bonham, 1994) que tienen en cuenta probabilidades incondicionales (a partir evidencias) y condicionales (tiene en cuenta los factores condicionantes según la evidencia previa). Sin embargo, este método solo fue utilizado para obtener una visión global del comportamiento de cada condicionante y los pesos por clases de cada factor condicionante fue dado subjetivamente según el criterio del consultor.

6.2.1 Pendientes

En la tabla se describen las pendientes utilizadas para obtener la susceptibilidad de movimientos en masa tipo deslizamiento, se usaron 3 rangos de pendientes de 0 a 8°, 8 a 16° y mayores a 16°. Se asignaron pesos subjetivos de 1 para el rango entre 0 y 8°, 2 para el rango de las pendientes entre 8 y 16°, y 3 para el rango de pendientes mayores a 16°.

Tabla 6-3. Estadísticas de Pendientes (Rural).

CATEGORÍA PENDIENTE (3 CLASES)	MOV (Px)	CLASE (Px)	% total respecto a la Clase	Peso subjetivo
0-8	22677	2938755	0.7716533	1
8--16	8347	966728	0.86342798	2
>16	577	89766	0.64278235	3
Total	31601	3995249		

6.2.2 Curvatura de plano

La curvatura de plano se clasificó en 3 valores principales para planos de vertiente de forma convexo, plano y cóncavo, con valores de 3, 2 y 1 respectivamente. Las categorías obtenidas son de -17 para zonas cóncavas, -1 para planos de curvatura plana y 24 para curvaturas convexas.

Tabla 6-4. Estadísticas de curvatura de plano (Rural).

CATEGORÍA	MOV (Px)	CLASE (Px)	% total respecto a la Clase	Peso subjetivo
Cóncavo	6473	1412192	0.45836543	1
Plano	26711	5847708	0.45677725	2
Convexo	6691	1406329	0.47577772	3
Total	39875	8666229		

6.2.3 Unidades geológicas superficiales.

Las unidades geológicas superficiales fueron clasificadas según su grado de competencia en tres categorías, poco competente con un valor subjetivo de 3, medianamente competentes con un valor subjetivo de 2 y muy competentes con un valor de 1.

Tabla 6-5- Estadísticas de unidades geológicas superficiales (Rural).

Geología	MOV (Px)	CLASE (Px)	% total respecto a la Clase	Peso subjetivo
Poco Competentes	4181	4199136	0.0995681	3
Medianamente competentes	35674	4462083	0.79949208	2

6.3 MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTO EN MASA TIPO DESLIZAMIENTO A ESCALA RURAL.

El cruce de mapas se realiza mediante una multiplicación de mapas, cuyos valores resultantes son una intercepción de pesos subjetivos, este resultado sigue una función de intersección de píxeles, cuyos rangos de valores se ajusta dependiendo del número de mapas cruzados, estos rangos tienen como característica unos cambios moderados en los rangos de susceptibilidad baja y media, mientras que los cambios en los rangos de susceptibilidad alta son mucho más importantes. De esta forma se genera un método determinístico-estadístico para la evaluación de la susceptibilidad rural por movimiento en masa tipo deslizamiento.

Las áreas de susceptibilidad baja, media y alta se obtienen a partir de la operación de los mapas anteriormente descritos, mientras las áreas con susceptibilidad muy alta son obtenidas a partir del mapa de procesos, y representan zonas con ocurrencia de movimientos en masa tipo deslizamiento.

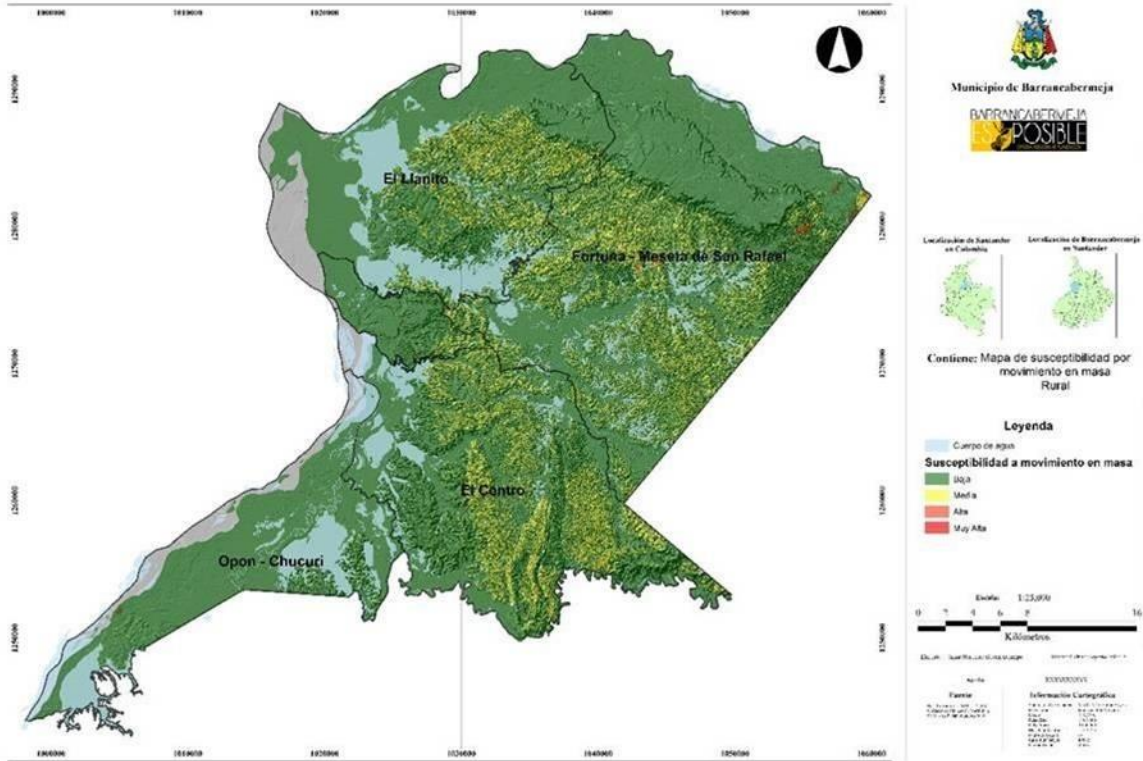


Figura 6-3. Mapa de susceptibilidad por movimiento en masa rural tipo deslizamiento.

La distribución de la susceptibilidad alta y media dentro del municipio de Barrancabermeja se concentran principalmente en el Sur del corregimiento El Centro, la Fortuna, la Meseta de San Rafael y el Llanito.

Susceptibilidad Baja: corresponde a un 87,52 % del área total del municipio de Barrancabermeja, asociada principalmente a geformas planas de bajas pendientes que corresponden a procesos erosivos y aluviales como lo son los planos o Llanuras de inundación, las planicies aluviales confinadas y los distintos niveles de terrazas de acumulación.

Susceptibilidad media: Representa el 11.84 % del área total del municipio de Barrancabermeja, las geformas asociadas a susceptibilidad media son de origen denudaciones como los cerros remanentes o relictos y colinas estructurales.

Susceptibilidad Alta: Corresponde al 0,14% del área total del municipio de Barrancabermeja, asociada principalmente a geformas denudaciones como los cerros remanentes, los escarpes de terraza de erosión y principalmente en las colinas estructurales.

Susceptibilidad muy alta: con un 0.48% del área total del municipio, estas zonas son representadas por áreas que presentan procesos relacionadas con movimientos en masa, teniendo en cuenta evidencias actuales y evidencias reportadas por el inventario de procesos recopilado en este estudio.

6.4 ANALISIS DE SUCEPTIBILIDAD PARA CAIDAS

Aunque la caída de rocas no es un proceso que se de en la zona de estudio debido a las características del área, se realiza un análisis de susceptibilidad a nivel rural, con el fin de obtener algunos datos que puedan ser discutidos en estudios más detallados.

La superposición de factores definidos en la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 de 201, está relacionada a 3 elementos:

- Pendiente > 45°
- UGS – Macizos rocosos de mala y muy mala calidad
- Subunidades geomorfológicas indicativas

6.4.1 Pendientes mayores a 45 grados

En la zona no se presentan pendientes mayores a 45 grados, según los resultados obtenidos en esta discretización o no son observables a escala rural debido a la escala.

6.4.2 Macizos rocosos

Los macizos rocosos dentro de la metodología se clasifican de acuerdo con la calidad geomecánica.

Como mayor susceptibilidad clasificamos las siguientes unidades

- *Terrazas altas*
- *Formación Esmeraldas*
- *Grupo real*
- *Formación Colorados*

Se cruzará con la variable estructural la cual estar indicada por un buffer paralelo a la línea de fallas con la siguiente clasificación:

- *Alta a muy alta: 50 metros*
- *Media: 50 a 150 metros*
- *Baja a muy baja: 150 a 250 metros*

Ligados a un factor determinante.

6.4.3 Subunidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas que presentan posible proceso de movimiento en masa tipo caída de roca.

- *Cerro remanente o relicto*
- *Colina estructural*
- *Escarpes de erosión*
- *Escarpes de terrazas de erosión.*

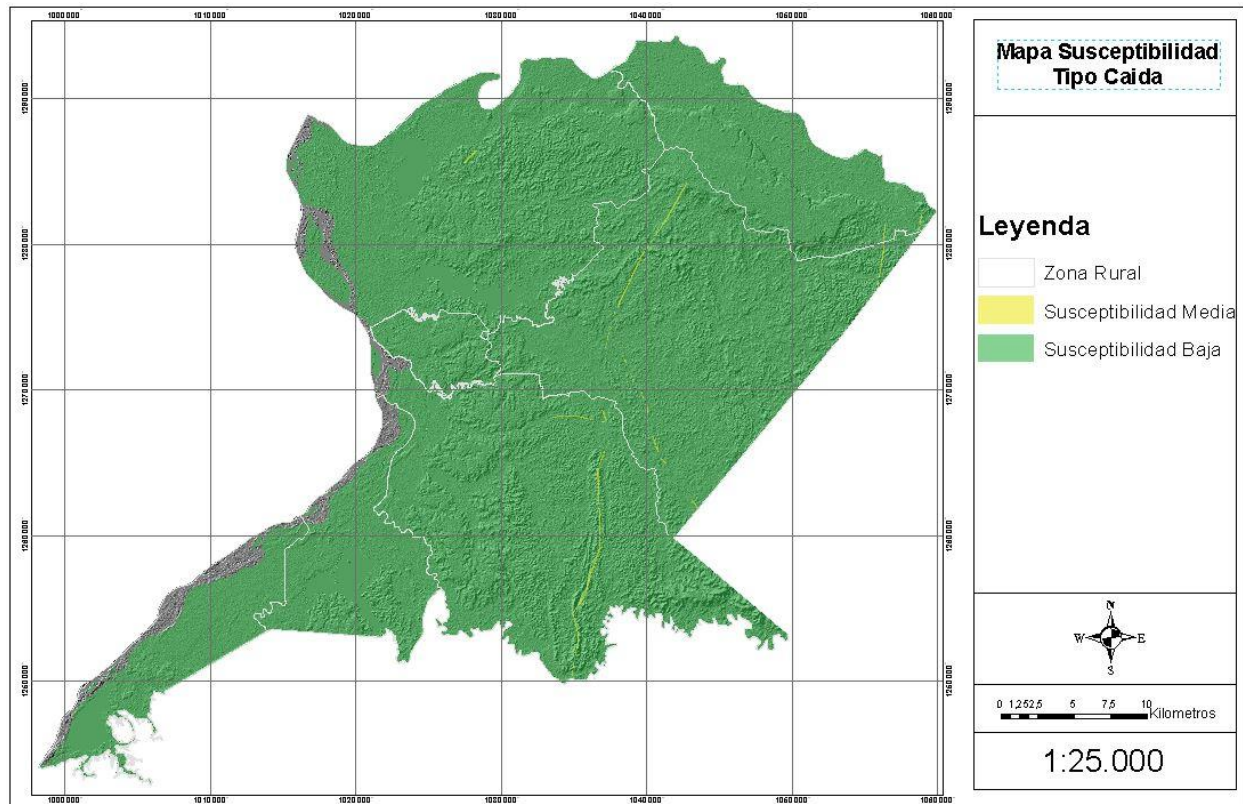


Figura 6-4. Mapa de susceptibilidad por movimiento en masa tipo caída

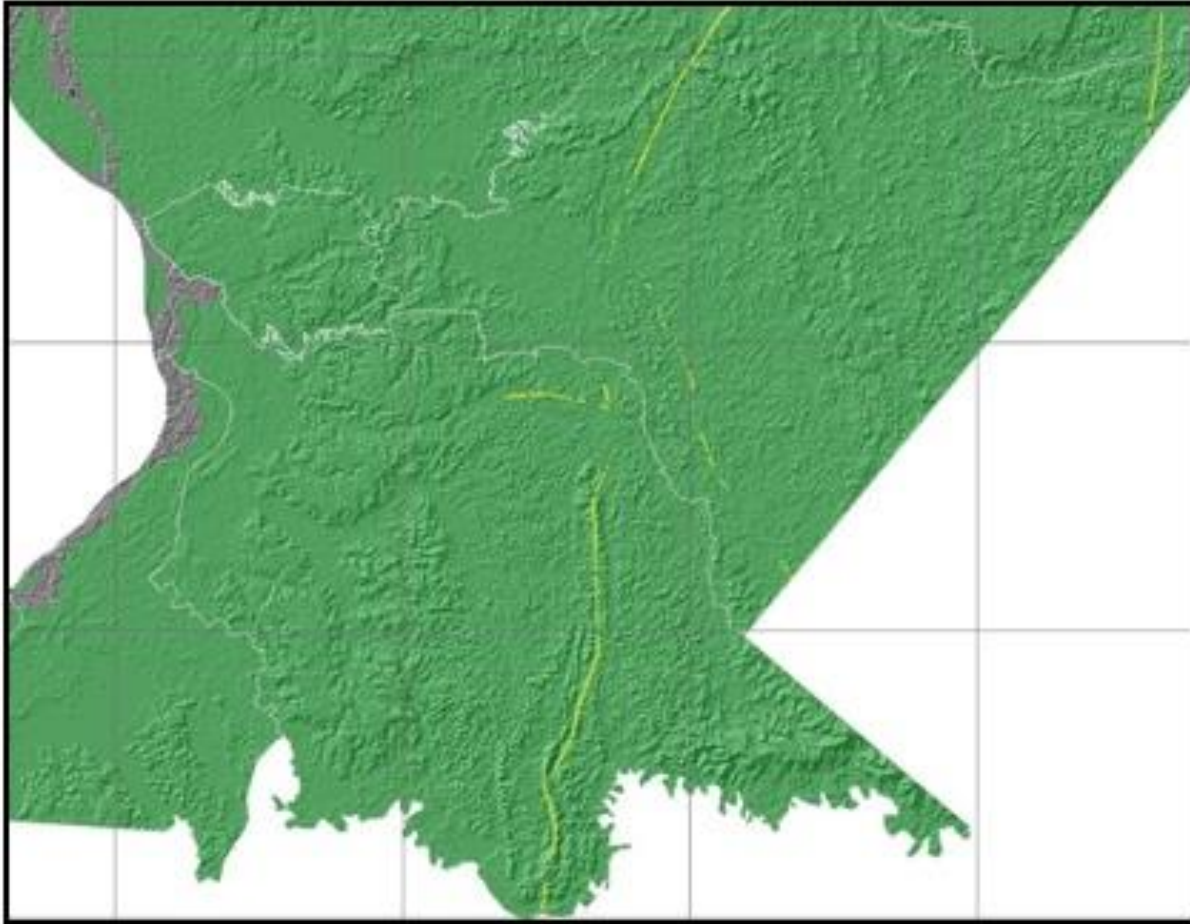


Figura 6-5. Detalle de la zona de mayor susceptibilidad a movimientos en masa tipo caída.

7 ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA PROCESOS URBANOS Y ZONA DE EXPANSIÓN.

7.1 ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD PARA DESLIZAMIENTOS

Para realizar el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa tipo deslizamiento en el área urbana, se utilizó la metodología propuesta para la escala rural, donde se asignaron unos valores subjetivos según el criterio experto para cada clase dentro de los factores condicionantes, estos análisis son complementados mediante la observación por evidencias del comportamiento de cada clase dentro de los factores condicionantes. Los mapas utilizados a escala urbana presentan un tamaño de celda de 2*2 m. La susceptibilidad por movimiento en masa tipo deslizamiento incluye los siguientes pasos a escala rural:

7.1.1 Geomorfología susceptible a movimientos en masa tipo deslizamiento en zona urbana y zona de expansión.

Para obtener las áreas más susceptibles a presentar deslizamientos se separaron zonas geomorfológicas que se cruzaron con los movimientos en masa tipo deslizamiento y procesos asociados, las zonas restantes son tomadas automáticamente como zonas de susceptibilidad baja y se proporciona un peso subjetivo inmediato a cada geoforma de 1.

7.1.1.1 Corte geomorfológico con zonas susceptible (rural-expansión)

A partir de un corte con geomorfologías susceptibles a deslizamiento, se genera una primera clasificación de áreas, lo cual facilitan el estudio de áreas de interés. En la zona rural se presentan 5 geoformas susceptibles a movimientos en masa tipo deslizamiento (Ver tabla), y se presentan 5 geoformas no susceptible.

Tabla 7-1. Geoformas susceptibles a movimiento en masa tipo deslizamiento Urbano.

Geomorfología susceptible	Peso subjetivo
CERRO REMANENTE O RELICTO	3
COLINA ESTRUCTURAL	3
ESCARPE DE EROSION MENOR	3
% área total	4.913.711.525

Tabla 7-2. Geformas no susceptibles a movimiento en masa tipo deslizamiento Urbano.

Geomorfología susceptible	Peso subjetivo
PLANICIE ALUVIAL CONFINADA	1
PLANO O LLANURA DE INUNDACION	1
TERRAZAS DE ACUMULACION	1
TERRAZAS DE ACUMULACION SUBRECIENTE	1
PROCESOS CONSTRUCTIVOS	1
% área total	508.628.847

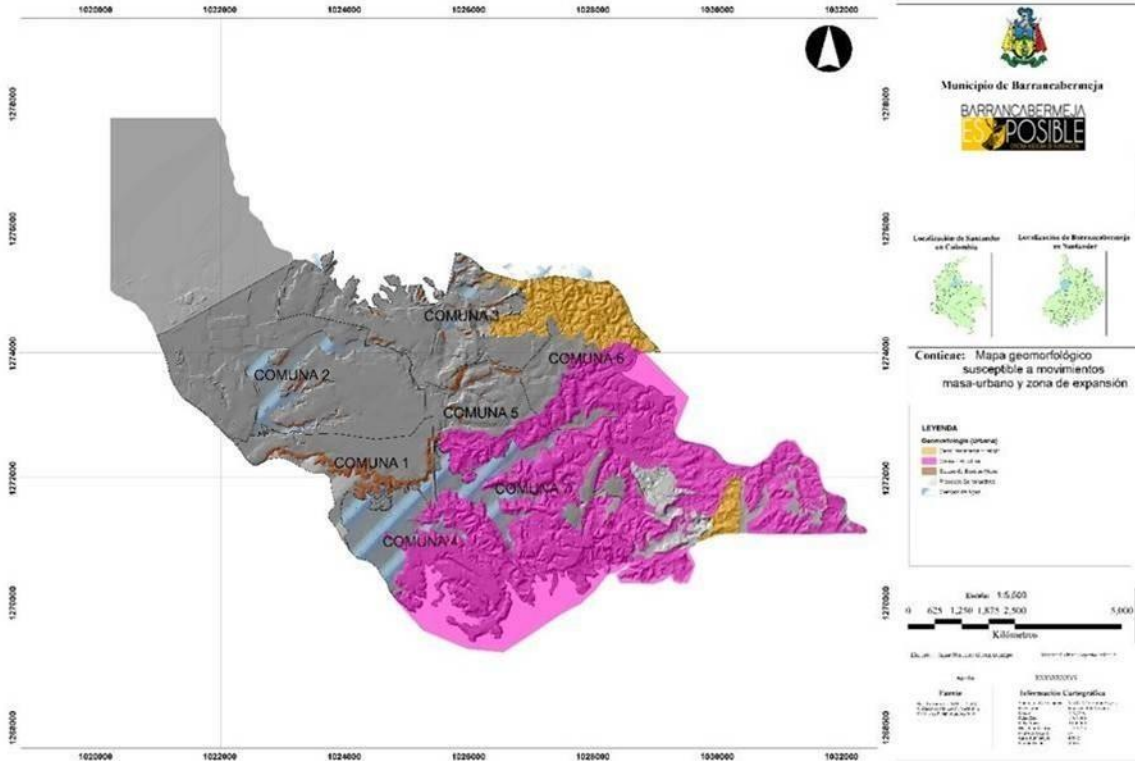


Figura 7-1. Mapa geomorfológico susceptible a movimientos en masa urbano y zona de expansión.

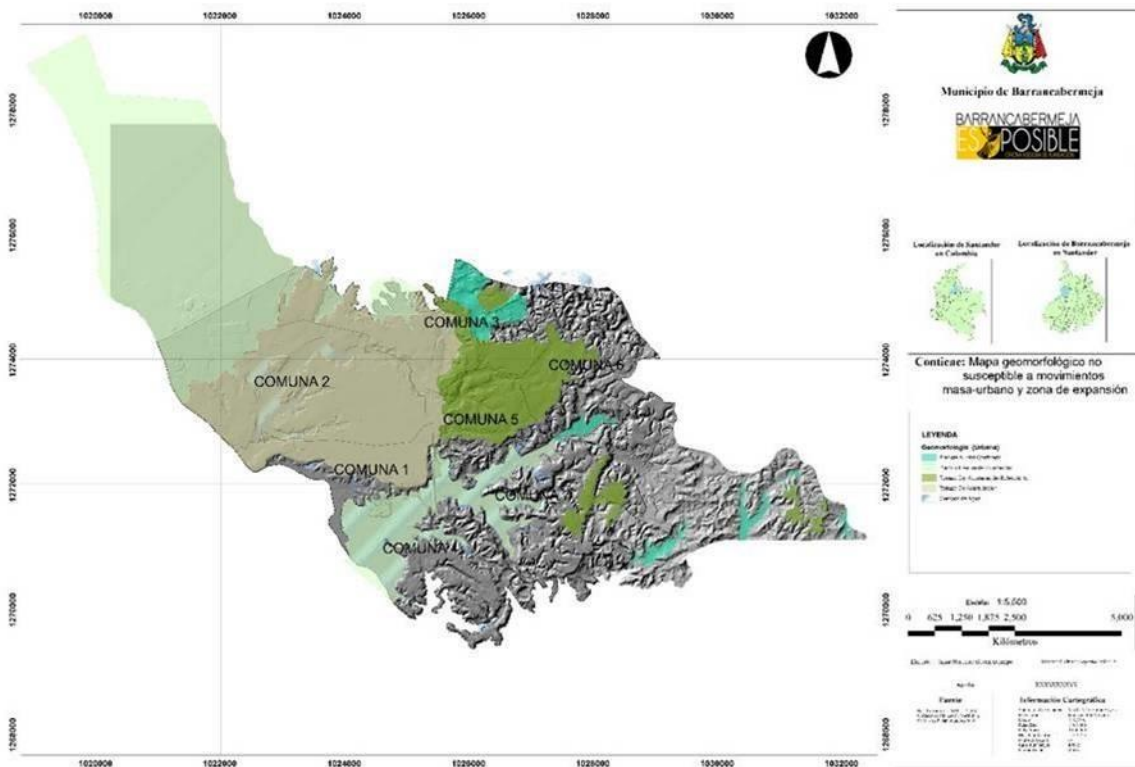


Figura 7-2. Mapa geomorfológico susceptible a movimientos en masa urbano y zona de expansión.

7.2 FACTORES CONDICIONANTES

En las zonas de geomorfología con mayor susceptibilidad a movimiento en masa se realizan mapas con los factores condicionantes (pendiente, curvatura de plano, unidades geológicas superficiales, geomorfología). Los factores condicionantes fueron elegidos siguiendo los lineamientos de la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 de 2017.

El factor condicionante de usos del suelo no se tuvo en cuenta en la zona urbana ya que se toma como un mismo proceso constructivo en la totalidad del área.

7.2.1 Pendientes

El mapa de pendientes utilizado para obtener la susceptibilidad de movimientos en masa tipo deslizamiento en la zona urbana fue dividido 3 rangos de pendientes de 0 a 8°, 8 a 16° y mayores a 16°. Se asignaron pesos subjetivos de 1 para el rango entre 0 y 8°, 2 para el rango de las pendientes entre 8 y 16°, y 3 para el rango de pendientes mayores a 16°.

Tabla 7-3. Estadísticas de Pendientes Urbana

CATEGORÍA PENDIENTE (3 CLASES)	MOV (Px)	CLASE (Px)	% total respecto a la Clase	Peso subjetivo
0-8	80	21722	0.368290213	1
8--16	82	7022	1.167.758.473	2
>16	358	10693	3.347.984.663	3
Total	520	39437		

7.2.2 Curvatura de plano

La curvatura de plano se clasificó en 3 valores principales para planos de formas convexo, plano y cóncavo, con valores de 3, 2 y 1 respectivamente. Las categorías obtenidas son de -17 para zonas cóncavas, -1 para planos de curvatura plana y 24 para curvaturas convexas.

Tabla 7-4. Estadísticas de Curvatura de Plano (Urbano).

CATEGORÍA	MOV (Px)	CLASE (Px)	% total respecto a la Clase	Peso subjetivo
Cóncavo	109	4308	2.530.176.416	1
Plano	281	23855	1.177.950.115	2
Convexo	136	4499	3.022.893.976	3
Total	526	32662		

7.2.3 Unidades geológicas superficiales

Las unidades geológicas superficiales fueron clasificadas según su grado de competencia en tres categorías, poco competente con un valor subjetivo de 3, medianamente competentes con un valor subjetivo de 2 y muy competentes con un valor de 1.

Tabla 7-5. Estadísticas de Unidades Geológicas Superficiales (Urbano).

Geología	MOV (Px)	CLASE (Px)	% total respecto a la Clase	Peso subjetivo
Poco Competentes	91	7903	115.146.147	3
Medianamente competentes	1	386	0.259067358	2
Muy competentes	430	31078	1.383.615.419	1
Total	522	39367		

7.3 MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTO EN MASA TIPO DESLIZAMIENTO.

Para obtener el mapa de susceptibilidad por movimientos en masa tipo deslizamiento se realizó una multiplicación de mapas, cuyos valores resultantes son una intercepción de pesos subjetivos mediante una función de intersección de píxeles, además del análisis de intersección con procesos asociados a movimiento en masa tipo deslizamientos obtenidos a partir del mapa de procesos urbano, por lo cual se utilizó un método determinístico-estadístico para la evaluación de la susceptibilidad urbana.

Las áreas de susceptibilidad baja, media y alta se obtienen a partir de la operación de los mapas anteriormente descritos, mientras las áreas con susceptibilidad muy alta son puntos con evidencias de procesos asociados a deslizamientos.

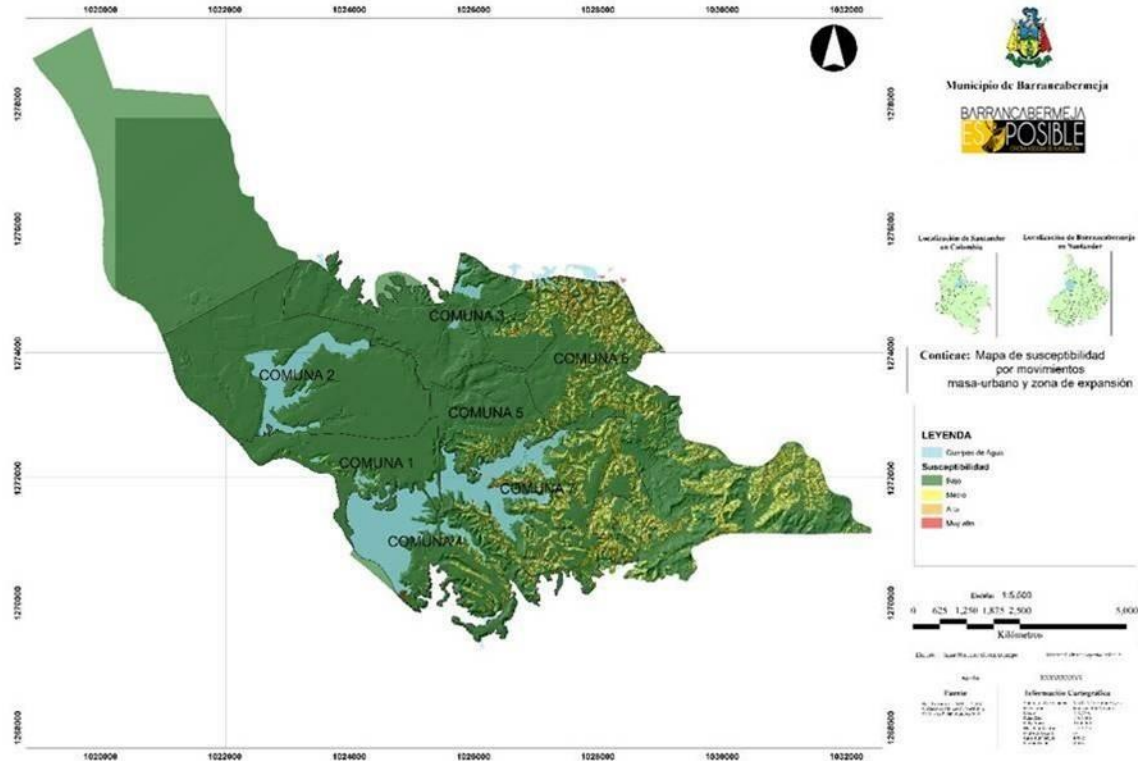


Figura 7-3. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa urbano y zona de expansión.

La susceptibilidad media, alta y muy alta se concentra en las comunas 4,5,6 y 7, especialmente en la zona donde las pendientes son más prominentes, además de algunas franjas en el Este y el sur de la zona de expansión Sur, por otra parte, en las comunas 1,2 y 3, además de la zona de expansión Norte, presentan baja susceptibilidad a movimientos en masa tipo deslizamientos, debido a que son áreas de pendientes suaves.

Susceptibilidad Baja: corresponde a un 91.35% del área total de la zona urbana del municipio de Barrancabermeja, las geformas principales asociadas a la baja susceptibilidad son las Llanuras de inundación, las planicies aluviales confinadas y los distintos niveles de terrazas de acumulación, reciente, subrecientes y antiguas.

Susceptibilidad media: Representa el 5.35% del área urbana del municipio de Barrancabermeja, las geformas asociadas a susceptibilidad media los cerros remanentes o relictos y colinas estructurales.

Susceptibilidad Alta: Corresponde al 2.82% del área urbana del municipio de Barrancabermeja, asociada principalmente a geformas a las colinas estructurales ubicadas en el Este del casco urbano, en las comunas 4,6 y 7.

Susceptibilidad muy alta: con un 0,46% del área total del casco urbano del municipio, estas zonas representan áreas donde se encontraron procesos morfodinámicos relacionadas con movimientos en masa, teniendo en cuenta evidencias actuales y evidencias reportadas por el inventario de procesos.

8 CARACTERIZACION DE LA AMENAZA RURAL.

Para calcular la amenaza se tuvo en cuenta que dos factores detonantes, las lluvias y los sismos, ambos factores detonantes fueron tomados con un peso subjetivo de 2, ya que tanto la pluviosidad de aproximadamente 2,900 mm al año, lo cual la categorizada como zona húmeda y no presenta variaciones significativas tanto a escala urbana como rural, mientras que la zona sísmica presenta una amenaza media en toda la extensión del municipio.

Posteriormente, se hace un cruce de mapas de la susceptibilidad a movimientos en masa con el resultado total de cruza la amenaza sísmica con las lluvias, generando una zonificación de la susceptibilidad a escala rural.

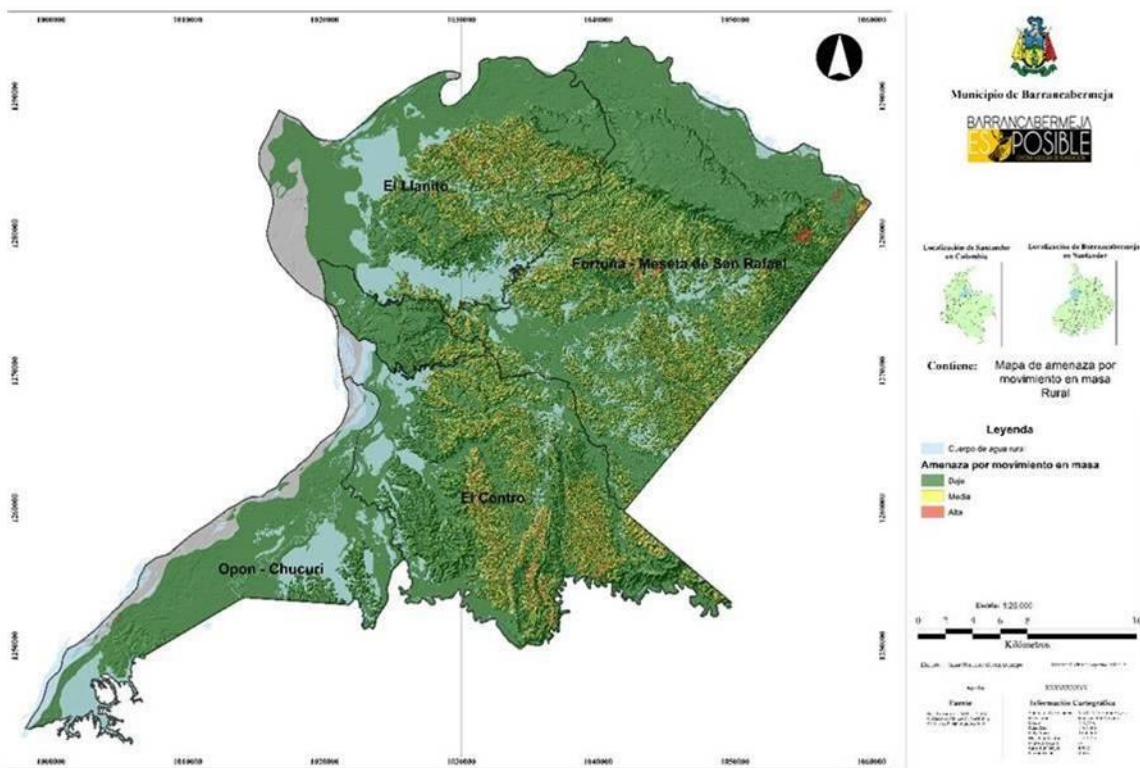


Figura 8-1. Mapa de amenaza por movimiento en masa rural.

Los resultados arrojan zonas de amenaza media y alta concentrada en la zona sur corregimiento del Centro, en el borde sur de la Meseta de San Rafael, en la zona central del corregimiento de la Fortuna, además de una concentración de puntos de alta amenaza en el Este del corregimiento del Llanito.

Amenaza baja: corresponde a un 87.55 % del área total del municipio de Barrancabermeja, las geformas principales asociadas a esta categoría de amenaza son los planos o Llanuras de inundación, las planicies aluviales confinadas y los distintos niveles de terrazas de acumulación.



Amenaza media: Representa el 10.11% del área total del municipio de Barrancabermeja, las geoformas asociadas a amenaza media son de origen denudaciones como los cerros remanentes o relictos, las colinas estructurales, escarpes de erosión menor, además de observarse una relación estrecha a la generación de procesos constructivos.

Amenaza Alta: Corresponde al 2,32% del área total de la cuenca del municipio de Barrancabermeja, las geoformas que presentaron mayor amenaza a movimiento en masa son las colinas estructurales seguidas de los cerros remanente o relicto, seguidos por los escarpes de terraza de erosión.

9 CARACTERIZACION DE LA AMENAZA URBANA

Para calcular la amenaza se tuvo en cuenta que dos factores detonantes, como lo es las lluvias y los sismos, ambos factores detonantes fueron tomados con un peso subjetivo de 2, ya que tanto la pluviosidad de aproximadamente 2900 mm al año, lo cual la categorizada como zona húmeda y no presenta variaciones significativas tanto a escala urbana como rural, mientras que la zona sísmica presenta una amenaza media en la extensión del municipio.

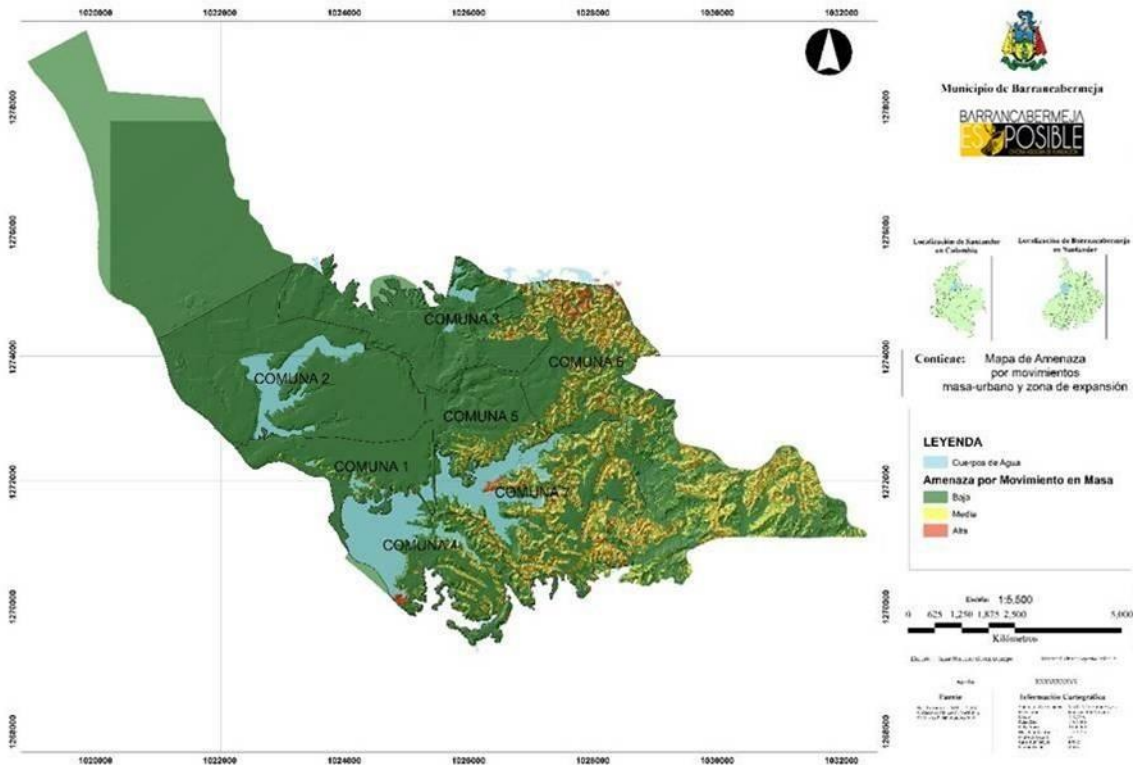


Figura 9-1. Mapa de amenaza por movimientos en masa urbano y zona de expansión.

Los resultados arrojan zonas de amenaza media y alta concentrada en las comunas 4,5,6 y 7, y algunas áreas de la zona de expansión Sur, especialmente en la zona donde las pendiente son más prominentes con procesos antrópicos, las comunas 1,2 y 3 y la zona de expansión Norte presentan baja amenaza por remoción en masa.

Amenaza baja: corresponde a un 86.18% del área urbana de Barrancabermeja, las geofomas principales asociadas a la amenaza baja son los planos o Llanuras de inundación, las planicies aluviales confinadas y los niveles antiguos, recientes y subrecientes de terrazas aluviales.

Amenaza media: Representa el 10.52% del área urbana, las geofomas asociadas a la amenaza media son de origen denudaciones como los cerros remanentes o relictos y las colinas estructurales.



Amenaza Alta: Corresponde al 3.29% del área total de la cuenca del municipio de Barrancabermeja, la geofoma que presentó mayor amenaza a movimiento en masa son las colinas estructurales seguidas de los cerros remanente o relicto.

10 CONCLUSIONES

- Los movimientos en masa evaluados para la zona rural, al igual que los demás procesos morfodinámicos, son identificables cuando tienen extensión mayor a 10.000 m² según la metodología propuesta por el SGC, 2017, esta escala de trabajo reduce significativamente el nivel de detalle del cual se pueden identificar los movimientos en masa activos, inactivos y latentes.
- La erosión superficial es un proceso que se encuentra distribuido por todos los corregimientos del municipio y de varias escala, desde algunos metros hasta centenas de metros (200-300 metros) la ocurrencia de este proceso se debe a varios factores independientes que en ocasiones se combinan, tales factores pueden ser: Deforestación, Pluviosidad, tipo de uso del suelo tradicional y algunas veces el pastoreo de animales puede detonar este proceso, que es progresivo y aumenta su área de influencia de manera paulatina, según los análisis la mayor parte de las causas de este proceso son de origen natural y no presenta influencia directa de las actividades antrópicas, además se encuentra asociado a todas las unidades geológicas.
- Las Cárcavas se encuentra en varios puntos de la zona rural del municipio, en los corregimientos de El Centro, El Llanito y principalmente en La Fortuna, donde el tipo de roca (Formación Colorados) es bastante susceptible a que ocurra, debido a la baja compactación, y se puede evidenciar desde un proceso incipiente hasta niveles avanzados de erosión por carcavamiento.
- La erosión antrópica, en el sector rural se presenta puntualmente en los corregimientos de El Llanito, El Centro y en cercanías a la zona de Expansión Sureste es común encontrar sitios de extracción de material como se ve en la Figura 5. Algunos sitios más fueron encontrados en campo, pero no es posible ser vistos en la cartografía realizada, por el área y la escala de trabajo.
- La erosión lateral de orillas ocurre exclusivamente en zonas aledañas a cuerpos de agua lénticos y lóticos que generan erosión en sus laterales, esto se puede observar a lo largo del río Magdalena, Sogamoso y Opón, al igual que en algunos de los humedales y lagunas que se encuentran en la zona rural de Barrancabermeja. En algunos sitios esta erosión lateral de orillas es ayudada por intervención humana de una forma indirecta, donde la instalación de pilotes sobre el río Sogamoso, probablemente para controlar la erosión en ese costado, desencadena en el costado izquierdo, erosión lateral de orillas que terminó colapsando un sistema de tablestacas instalado como muro de contención.
- En general en el área rural los procesos predominantes son Erosión superficial (68,9%) y Erosión antrópica (9,2%), la erosión superficial se muestra como el fenómeno predominante porque por su propio mecanismo, este proceso se extiende rápidamente de manera lateral removiendo la vegetación del terreno, lo que la hace más propensa a fenómenos de remoción. Este proceso es principalmente activo en el corregimiento de El Centro y La Fortuna.

- Las Zonas afectadas en la parte rural de Barrancabermeja se encuentran ubicadas principalmente en el corregimiento de El Centro, donde las erosiones superficiales se encuentran asociados directamente a los campos de extracción de hidrocarburo; en la zona de La Fortuna, en cercanías al sector conocido como El Perol, la erosión superficial es determinada principalmente por el tipo de roca que allí se encuentra, ya que la Formación Colorados es poco compacta y susceptible a esto y en la zona de la meseta es bastante estable en su parte superior, pero en donde la meseta finaliza se encuentran escarpes que pueden ocasionar movimientos en masa, tal como se evidenció durante las visitas de campo.
- Los factores detonantes se agrupan en lluvias y sismos, con altas promedios de precipitación anual, con medias oscilando los 2600 mm anuales, y con una fluctuación local entre 2,400 y 3,100 mm anuales.
- El otro factor detonante estaría dado por los sismos, que para la zona en estudio se parte de una amenaza Intermedia con valores de aceleración de 0,1 a 0,15.
- En el área urbana Los movimientos en masa están ubicados en la Comuna 7, específicamente en los barrios Yarima II, Las Palmas, Las Flórez y en la Ciudadela Educativa. Generalmente son zonas inestables alargadas paralelas a la ladera que presentan 15 a 20 metros de amplitud perpendicular a su sentido elongado. Este proceso morfodinámico es generado y acelerado por la intervención antrópica, que en la zona urbana es un factor importante en la generación de este tipo de movimientos, ya que las construcciones se realizan en su mayoría sin tener en cuenta los efectos de modificar el terreno.
- La erosión superficial es un proceso recurrente, es el proceso más recurrente en la zona urbana, que es detonado en la misma proporción por efectos antrópicos y naturales, ya que es abundante sitios de acopios de material, parqueaderos, obras en construcción e inclusive zonas de explotación de suelos. Este proceso puede tener hasta 200 metros de longitud y puede llegar a convertirse en un proceso crítico para la ocurrencia de movimientos en masa.
- Las cárcavas en la zona urbana se encuentran en las zonas despobladas, clasificadas como zonas de protección ambiental o zona de expansión y con nivel bajo de vegetación y en ocasiones ayudados por procesos antrópicos, en las ortofotos se pueden identificar muy claramente este tipo de proceso.
- La erosión en la zona urbana se encuentra ubicada en los sitios clasificados geomorfológicamente como Colina Estructural, Cerro Remanente o Relicto y como Escarpe de Erosión menor, y se encuentran ubicados en la parte superior de estas geoformas en cercanías al cambio de pendiente, y se caracterizan por tener zonas moderadamente sin vegetación. Se encuentran en las comunas 3, 4, 6 y 7.

- La erosión lateral de orillas en el municipio de Barrancabermeja se encuentra asociada a el río Magdalena, los humedales Miramar, El Castillo, Juan Esteban y las quebradas dentro de la zona urbana, en general este proceso no es muy influyente para la inestabilidad, ya que las quebradas y los humedales no se tiene mucho golpe de ola que es el movimiento que causa la erosión, pero para el caso del Río Magdalena es un agente erosivo poderoso que se ha controlado con muros de contención de tablestacas, pilotes y demás, Las zonas afectadas por este proceso son pocas, pero generan zonas de alta pendiente, como se observa en los sitios cercanos al humedal Miramar.
- La erosión antrópica es un proceso que se encuentra en muchas partes del municipio, asociada a todas las unidades geomorfológicas, debido a que las construcciones de viviendas se encuentran en todo el territorio urbano, pero las zonas afectadas más notables son las que presentan procesos extractivos, como la extracción de material fino granular para la elaboración de ladrillos y otros materiales de construcción. Estos procesos se encuentran ubicados principalmente en la Comuna 6 y 3.
- Procesos de reptación en algunas de las laderas ubicadas principalmente en la parte norte de la zona urbana (Comuna 6) y es generado por la humedad natural del suelo sin intervención, y ayudado por pastoreo de ganado, en los estados avanzados de este proceso puede llegar a generar movimientos en masa por colapso de la ladera.
- Los procesos dominantes en la zona urbana, son en su orden erosión superficial con un 33,8% de área total de procesos cartografiados, el segundo proceso es la reptación con un 24,4%, ocurrente principalmente en la zona norte, y la erosión antrópica con 12,3%.
- El Arenal es un centro poblado está ubicado al sur del área urbana del Municipio de Barrancabermeja, su ubicación geográfica es más baja en cota que el área central y su altura sobre el nivel medio del río y de los cuerpos de agua que la rodean no sube más de dos metros, los procesos constructivos con rellenos no consolidados y materiales no seleccionados técnicamente, están en el mismo inicio de los humedales, y generan una serie de problemas como mala compactación, drenajes inadecuados, en una zona humedal. Por las condiciones particulares de la zona se podría hacer efectivo el fenómeno de licuefacción de suelos, fenómeno en el cual los terrenos, a causa de saturación de agua y particularmente en sedimentos recientes como arena o grava, pierden su firmeza y fluyen como resultado de los esfuerzos provocados en ellos por sismos.
- La distribución de la susceptibilidad en el área rural es alta y media dentro del municipio de Barrancabermeja se concentran principalmente en el Sur del corregimiento El Centro, la Fortuna, la Meseta de San Rafael y el Llanito.

Susceptibilidad Baja: corresponde a un 87,52 % del área total del municipio de Barrancabermeja, asociada principalmente a geoformas planas de bajas pendientes que corresponden a procesos erosivos y aluviales como lo son los planos o Llanuras de inundación, las planicies aluviales confinadas y los distintos niveles de terrazas de acumulación.

Susceptibilidad media: Representa el 11.84 % del área total del municipio de Barrancabermeja, las geoformas asociadas a susceptibilidad media son de origen denudaciones como los cerros remanentes o relictos y colinas estructurales.

Susceptibilidad Alta: Corresponde al 0,14% del área total del municipio de Barrancabermeja, asociada principalmente a geoformas denudaciones como los cerros remanentes, los escarpes de terraza de erosión y principalmente en las colinas estructurales.

Susceptibilidad muy alta: con un 0.48% del área total del municipio, estas zonas son representadas por áreas que presentan procesos relacionadas con movimientos en masa, teniendo en cuenta evidencias actuales y evidencias reportadas por el inventario de procesos recopilado en este estudio.

- La susceptibilidad dentro del área urbana y la zona de expansión es media, alta y muy alta se concentra en las comunas 4,5,6 y 7, especialmente en la zona donde las pendientes son más prominentes, además de algunas franjas en el Este y el sur de la zona de expansión Sur, por otra parte, en las comunas 1,2 y 3, además de la zona de expansión Norte, presentan baja susceptibilidad a movimientos en masa tipo deslizamientos, debido a que son áreas de pendientes suaves.

Susceptibilidad Baja: corresponde a un 91.35% del área total de la zona urbana del municipio de Barrancabermeja, las geoformas principales asociadas a la baja susceptibilidad son las Llanuras de inundación, las planicies aluviales confinadas y los distintos niveles de terrazas de acumulación, reciente, Subrecientes y antiguas.

Susceptibilidad media: Representa el 5.35% del área urbana del municipio de Barrancabermeja, las geoformas asociadas a susceptibilidad media los cerros remanentes o relictos y colinas estructurales.

Susceptibilidad Alta: Corresponde al 2.82% del área urbana del municipio de Barrancabermeja, asociada principalmente a geoformas a las colinas estructurales ubicadas en el Este del casco urbano, en las comunas 4,6 y 7.

Susceptibilidad muy alta: con un 0,46% del área total del casco urbano del municipio, estas zonas representan áreas donde se encontraron procesos morfodinámicos relacionadas con movimientos en masa, teniendo en cuenta evidencias actuales y evidencias reportadas por el inventario de procesos.

- Los resultados de Amenaza por Remoción en Masa para el área rural arrojan zonas de amenaza media y alta concentrada en la zona sur corregimiento del Centro, en el borde sur de la Meseta de San Rafael, en la zona central del corregimiento de la Fortuna, además de una concentración de puntos de alta amenaza en el Este del corregimiento del Llanito.

Amenaza baja: corresponde a un 87.55 % del área total del municipio de Barrancabermeja, las geoformas principales asociadas a esta categoría de amenaza son los planos o Llanuras de inundación, las planicies aluviales confinadas y los distintos niveles de terrazas de acumulación.

Amenaza media: Representa el 10.11% del área total del municipio de Barrancabermeja, las geoformas asociadas a amenaza media son de origen denudaciones como los cerros remanentes o relictos, las colinas estructurales, escarpes de erosión menor, además de observarse una relación estrecha a la generación de procesos constructivos.

Amenaza Alta: Corresponde al 2,32% del área total de la cuenca del municipio de Barrancabermeja, las geoformas que presentaron mayor amenaza a movimiento en masa son las colinas estructurales seguidas de los cerros remanente o relicto, seguidos por los escarpes de terraza de erosión.

- Los resultados para amenaza en la zona urbana y zona de expansión arrojan zonas de amenaza media y alta concentrada en las comunas 4, 5,6 y 7, y algunas áreas de la zona de expansión Sur, especialmente en la zona donde las pendiente son más prominentes con procesos antrópicos, las comunas 1,2 y 3 y la zona de expansión Norte presentan baja amenaza por remoción en masa.

Amenaza baja: corresponde a un 86.18% del área urbana de Barrancabermeja, las geoformas principales asociadas a la amenaza baja son los planos o Llanuras de inundación, las planicies aluviales confinadas y los niveles antiguos, recientes y subrecientes de terrazas aluviales.

Amenaza media: Representa el 10.52% del área urbana, las geoformas asociadas a la amenaza media son de origen denudaciones como los cerros remanentes o relictos y las colinas estructurales.

Amenaza Alta: Corresponde al 3.29% del área total de la cuenca del municipio de Barrancabermeja, la geoforma que presentó mayor amenaza a movimiento en masa son las colinas estructurales seguidas de los cerros remanente o relicto.

11 BIBLIOGRAFÍA

“GUIA METODOLOGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA”, Servicio Geológico colombiano, diciembre de 2017.

- **Registro Histórico de eventos (DESINVENTAR).**
- **ALOS PALSAR Global Radar (Imágenes satelitales).**
- **Fase de diagnóstico VOL. III Caracterización de las condiciones del riesgo. Rio Sogamoso. Y Fase de diagnóstico VOL. III Caracterización de las condiciones del riesgo. Rio Opón.**
- **Guía técnica para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCAS).**
- **Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia.**
- **Microzonificación sísmica preliminar de Barrancabermeja.**
- **Planchas geológicas oficiales de INGEOMINAS (119-108).**
- **Metodología y proceso de incorporación de la gestión del riesgo en la revisión excepcional de POT, según lineamientos del Decreto 1807 de 2014, con base en estudios básicos de amenaza por inundación y movimientos en masa en la zona urbana y de expansión de la ciudad de Barrancabermeja.**
- **Unidad de Planeación Rural, Diagnóstico y Cartografía de los Corregimientos de Barrancabermeja.**
- **Decreto 1077 de 2015.**
- **Zonificación Geotécnica Preliminar del Casco Urbano del Municipio de Barrancabermeja, Santander.**
- **Geología Urbana de Barrancabermeja: Base para ingenierías, ordenamiento territorial ambiental y gestión del riesgo.**



**A. ANEXO: ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA: ESTUDIO GEOELÉCTRICO
MUNICIPIO BARRANCABERMEJA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**



BARRANCABERMEJA
ES POSIBLE

**B. ANEXO: ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA: CARACTERIZACIÓN
GEOTÉCNICA PRELIMINAR DE SUELOS MUNICIPIO DE
BARRANCABERMEJA.**