

**CONSULTORÍA PARA ELABORAR ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO
POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, AVENIDA TORRENCIAL E INCENDIOS
FORESTALES EN LOS MUNICIPIOS PRIORIZADOS EN LA JURISDICCIÓN DE LA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA – CAR**

CONTRATO 1185 DE 2013

**REMOCIÓN EN MASA MUNICIPIO ZIPAQUIRÁ
ESTUDIOS BÁSICOS 1:2.000**

CONTRATANTE:



CONSULTOR:



BOGOTÁ, ABRIL DE 2015

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	6
2	GENERALIDADES	7
2.1	Objetivo	7
2.1.1	Objetivos Específicos	7
2.2	Alcance.....	7
2.2.1	Especificaciones, escalas de trabajo y unidades de observación	7
2.3	Descripción de las actividades realizadas	8
2.4	Localización de los trabajos.....	9
3	características físicas del área de estudio.....	12
3.1	Hidrología y clima.....	12
3.2	Sismicidad regional	12
3.3	Cobertura y usos del suelo	15
4	geología, geomorfología y unidades geológicas superficiales	17
4.1	Generalidades y criterios para la exploración	17
4.1.1	Toma de datos por medio de una vista panorámica.....	17
4.1.2	Reconocimiento y recorrido de campo	17
4.1.3	Orientación de las fotografías de campo	17
4.1.4	Amarre de datos estructurales a puntos GPS.....	17
4.1.5	Actividades en el trabajo de campo.....	17
4.2	Geología regional.....	18
4.3	Geología local	18
4.4	Unidades geológicas superficiales	20
4.4.1	Unidades de roca (R)	22
4.4.2	Unidades de suelo (S).....	23
4.5	Geomorfología	26
4.5.1	Geoformas de origen denudacional	28
4.5.2	Geoformas de origen fluvial (F).....	30
4.5.3	Geoformas de origen antrópogenico.	32
5	EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA	33
5.1	CRITERIOS APLICADOS.....	33
5.1.1	Sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad SES	33
5.1.2	Métodos heurísticos	34
5.1.3	Método de inventario de movimientos en masa	34
5.2	Método de trabajo	34
5.2.1	Materiales - M (Puntaje Máximo: 70).....	35
5.2.2	Factor antrópico (A) – puntaje máximo: 45	39
5.2.3	Relieve (R) – puntaje máximo: 36	41
5.2.4	Drenaje (D) – puntaje máximo: 35.....	43
5.2.5	Uso del suelo y cobertura (U) – puntaje máximo: 25	45

5.2.6	Clima (C) – puntaje máximo: 32	47
5.2.7	Erosión (E) – puntaje máximo: 12	49
5.2.8	Sismicidad (S) – Puntaje Máximo: 13	51
5.3	Calificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa.....	54
5.4	Inventario de movimientos en masa	56
5.5	Zonificación de amenaza por remoción en masa	65
6	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	68
6.1	Factores para determinar la vulnerabilidad	68
6.2	Análisis de la vulnerabilidad.....	68
6.2.1	Susceptibilidad de los elementos económicos	68
6.2.2	Susceptibilidad de las personas.....	72
6.2.3	Intensidad	72
6.3	Resultados de la vulnerabilidad	72
7	EVALUACIÓN DE RIESGO	75
7.1	Resultados de la evaluación del riesgo	75
8	CONCLUSIONES	79
9	RECOMENDACIONES	82
10	FUENTES DE CONSULTA	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Resumen de las características básicas de los estudios.....	8
Tabla 3.1. Clasificación de los sismos de acuerdo a su magnitud (USGS)	15
Tabla 4.1. Caracterización de la UGS de carácter rocoso.....	22
Tabla 4.2 Caracterización de las UGS relacionadas con suelos.....	24
Tabla 4.3 Principales geoformas presentes en la zona de estudio.	26
Tabla 5.1 Definiciones originales – SES.....	33
Tabla 5.2 Niveles de calificación de estabilidad para las diferentes variables para la unidad de roca	36
Tabla 5.3 Calificación de estabilidad para las diferentes variables para la unidad de roca en el Municipio Zipaquirá	36
Tabla 5.4 Niveles de calificación de estabilidad para las diferentes variables para la unidad de suelos y depósitos.....	37
Tabla 5.5 Calificación de estabilidad para las unidades de suelos y depósitos presentes en el Municipio Zipaquirá	37
Tabla 5.6 Niveles de calificación de estabilidad para variables referidas al factor antrópico	39
Tabla 5.7 Niveles de estabilidad para factor antrópico en el Municipio Zipaquirá	39
Tabla 5.8 Niveles de estabilidad para factor relieve en el Municipio Zipaquirá.....	41
Tabla 5.9 Valores de calificación de estabilidad para drenaje.....	43
Tabla 5.10 Puntajes de estabilidad parámetro uso del suelo y cobertura (U)	45
Tabla 5.11 Calificación de estabilidad para el parámetro clima (precipitación).....	47
Tabla 5.12 Asignación puntaje de estabilidad al material.....	49
Tabla 5.13 Asignación puntaje de estabilidad para sismicidad.....	51
Tabla 5.14 Rangos de categorización de amenaza.....	54
Tabla 5.15 Tipos de erosión	57
Tabla 5.16 Categorización de la amenaza por movimientos en Masa	67
Tabla 6.1. Valores propuestos para el factor de susceptibilidad asociada con el tipo de estructura.	69
Tabla 6.2. Valores propuestos para el factor de susceptibilidad por el estado de la edificación.	70
Tabla 6.3. Tipos de material para los muros.....	70
Tabla 6.4. Tipos de material para los techos.	70
Tabla 6.5. Cuadro de convenciones.....	71
Tabla 6.6. Agrupaciones de tipo de viviendas.	71
Tabla 6.7. Valores de susceptibilidad para cada clase de vivienda	71
Tabla 6.8 Niveles de vulnerabilidad propuestos	72
Tabla 6.9 Descripción de los niveles de vulnerabilidad propuestos	73
Tabla 7.1. Matriz de riesgos.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Localización Municipio Zipaquirá.....	9
Figura 2.2 Sector Urbano Municipio Zipaquirá.....	11
Figura 3.1. Mapa nacional de amenaza sísmica periodo de retorno 475 años.	13
Figura 3.2. Sismicidad en los alrededores del municipio de Zipaquirá.	14
Figura 3.3. Distribución de eventos en los diferentes municipios de Cundinamarca ocurridos desde 1993 hasta 2014. ...	15
Figura 3.4. Mapa de uso de suelo Municipio del Peñón.	16
Figura 4.1. Mapa geológico del Municipio Zipaquirá	19
Figura 4.2 Mapa de UGS del Municipio Zipaquirá	21
Figura 4.3 Mapa geomorfológico del área urbana y de expansión urbana de Zipaquirá	27
Figura 5.1 Esquema metodológico general utilizado para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa.	35
Figura 5.2. Mapa de unidades geológicas superficiales del municipio de Zipaquirá	38
Figura 5.3. Mapa de calificación del factor antrópico del municipio de Zipaquirá.....	40
Figura 5.4. Mapa de pendientes del municipio de Zipaquirá	42
Figura 5.5. Mapa de densidad de drenaje del municipio de Zipaquirá	44
Figura 5.6. Mapa de uso de suelos y cobertura del municipio de Zipaquirá	46
Figura 5.7. Mapa de clasificación del clima para el municipio de Zipaquirá.....	48
Figura 5.8. Mapa de calificación de la erosión del municipio de Zipaquirá	50
Figura 5.9 Detonante sismo para Colombia	52
Figura 5.10. Mapa de estabilidad para sismicidad de la cabecera municipal de Zipaquirá.....	53
Figura 5.11 Metodología aplicada para la calificación de la estabilidad.	54
Figura 5.12. Mapa de calificación de estabilidad SES en el municipio Zipaquirá	55
Figura 5.13. Clasificación de movimientos en masa Cruden y Varnes 1978.	56
Figura 5.14. Mapa de movimientos en masa y erosión del municipio de Zipaquirá	64
Figura 5.15 Metodología aplicada para la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa.	65
Figura 5.16. Mapa final de amenaza por movimientos en masa para el Municipio Zipaquirá.....	66
Figura 5.17 Distribución amenaza por movimientos en masa para el Municipio Zipaquirá.....	67
Figura 6.1 Mapa de vulnerabilidad Municipio Zipaquirá	74
Figura 7.1. Mapa de riesgos del Municipio Zipaquirá.....	77
Figura 7.2 Distribución riesgo por movimientos en masa Municipio Zipaquirá.....	78

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 4.1. Afloramiento base para la clasificación de roca de la Formación Bogotá.....	22
Fotografía 4.2 Afloramiento base para la clasificación de la roca de la formación Cacho, evidenciado en las coordenadas N 1047088 y E 1007411.....	23
Fotografía 4.3 Perfil de suelo residual donde se están construyendo actualmente viviendas.	24
Fotografía 4.4 Suelos de aluvial resiente sobre las márgenes de uno de los afluentes del Río Negro.	25
Fotografía 4.5. Morfología de laderas suavemente inclinadas.....	29
Fotografía 4.6. Morfología de ladera moderada evidenciada en las coordenadas N 1047709 y E 1007420.	29
Fotografía 4.7. Movimiento en masa activo evidenciada en las coordenadas N 1047709 y E 1007420.	30
Fotografía 4.8 Cauce actual evidenciado en las coordenadas N 1047627 y E 1007465.....	31
Fotografía 4.9 Excavaciones antrópicas.....	32
Fotografía 5.1 Detalle de corona contra las instalaciones de la escuela en el Barrio Primero de Mayo.	57
Fotografía 5.2 Laderas afectadas por erosión.	58
Fotografía 5.3 Detalle de desprendimiento de material parte alta del Barrio Bosques de Silena.	58
Fotografía 5.4 Movimiento en masa activo en el barrio la artesa en las coordenadas N 1047753 y E 1007254	59
Fotografía 5.5 Movimiento en masa activo observado en las coordenadas N 1047709 y E 1007420.....	59
Fotografía 5.6. Movimiento en masa ubicado en las coordenadas N 1047648 y E 1007415.....	60
Fotografía 5.7. Movimiento en masa antiguo, localizado en las coordenadas N 1047584 y E 1007383	60
Fotografía 5.8 Panorámica del Barrio Bolívar 83 en coordenadas N 1048430 y E 1007406.	61
Fotografía 5.9 Socavación del Río Negro sobre suelos y áreas cercanas a Postobón.	61
Fotografía 5.10 Procesos de socavación de Zipaquirá.....	62
Fotografía 5.11 Quebrada El Tejar	62
Fotografía 5.12 Inicio de la canalización de la Quebrada El Tejar	63

1 INTRODUCCIÓN

La Región Andina de Colombia y en particular la parte central de la Cordillera Oriental de Colombia, ha sido objeto de una colonización intensa que terminó haciendo desaparecer casi en su totalidad la cobertera natural de bosques andinos, que hasta la llegada de los conquistadores se había mantenido casi intacta, debido al equilibrio alcanzado en este sentido por las civilizaciones indígenas Americanas.

Posteriormente, debido al acelerado incremento demográfico a nivel mundial, que desde principios del siglo XX adquirió características exponenciales, se dio inicio a la construcción de numerosas vías de penetración con el fin de adecuar nuevas zonas para uso agropecuario, en detrimento de la cobertera natural de bosques. Fue así como de tener en general asentamientos poblacionales pequeños durante el siglo anterior, por efectos del crecimiento descontrolado de la población, que exigía satisfacer una alta demanda de alimentos y otros bienes, estos pueblos se fueron convirtiendo en ciudades mucho más grandes, interconectadas con vías pavimentadas y con mejores diseños ingenieriles.

Sin embargo, este tipo de desarrollo socio económico, en muchas ocasiones no ha resultado del todo amistoso con el medio ambiente y junto con los cambios climáticos globales que últimamente afectan a la humanidad, ha terminado por generar de manera directa o por lo menos, por potencializar de manera indirecta, los factores naturales que originan fenómenos que potencialmente pueden afectar al ser humano y en particular a los centros urbanos, tales como inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa, entre otros, siendo la mayor parte del territorio cundinamarqués susceptible de afrontar este tipo de amenazas.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto y con el fin de garantizar las mejores condiciones ambientales para mejorar la calidad de vida de los usuarios de las zonas urbanas, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, en convenio con veinticuatro municipios de su jurisdicción, contrató con la Unión Temporal AVR-CAR, los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo generados por los fenómenos naturales (remoción en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales) con el objetivo primordial de que éstos sean incorporados en la toma de decisiones de enfocadas en la planificación territorial de dichos municipios, principalmente para la actualización de los planes o esquemas de ordenamiento territorial.

Debe entenderse que por el nivel de detalle de los estudios no se deben considerar adecuados para el diseño de obras de prevención o mitigación del riesgo y los diseños de ingeniería requieren análisis detallados locales. En este informe se presenta el estudio particular de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por remoción en masa en el área urbana del Municipio Zipaquirá; para el logro de los objetivos se han seguido los lineamientos dados por los términos de referencia de la licitación y la propuesta metodológica presentada por el consultor.

El informe está conformado por diez (10) capítulos, de las cuales el **primero** corresponde a la introducción, el **segundo** registra aspectos básicos y generales del trabajo, incluyendo la metodología aplicada, el **tercero** contiene las características físicas del área de estudio, el **cuarto** hace referencia a los aspectos teóricos relacionados con la geología, geomorfología y unidades geológicas superficiales y los fenómenos de remoción en masa, el **quinto** hace alusión a la evaluación específica de amenaza por MM, el **sexto** trata el tema del análisis de la vulnerabilidad, el **séptimo** se relaciona con la evaluación del riesgo y sus resultados, el **octavo** plantea las conclusiones, el **noveno** las recomendaciones, y el **décimo** referencia las fuentes de información consultadas.

2 GENERALIDADES

El presente estudio hace parte de un proyecto de mayor alcance que define el contrato suscrito entre la CAR y la UT AVR-CAR, cuyo objeto incluye la ejecución de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales en 24 municipios.

Con el fin de enmarcar la información contenida en el presente informe, se incluye a continuación una breve reseña de algunos aspectos generales que definen la ejecución del estudio.

2.1 OBJETIVO

Realizar el estudio básico de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Remoción en Masa en las áreas de suelo urbano y de expansión urbana del Municipio Zipaquirá a escala 1:2.000 con el objeto de incorporarlo en los procesos de ordenamiento territorial.

2.1.1 Objetivos Específicos

- a) Identificar la estratigrafía de las unidades geológicas presentes en las áreas de suelo urbano y de expansión urbana del municipio y la geología estructural, localizando puntos de interés.
- b) Elaborar los mapas que se requieren como insumo (materiales, factor antrópico, relieve, drenaje, uso del suelo y cobertura, clima, erosión, sismicidad y procesos morfodinámicos) para determinar la amenaza por fenómenos de remoción en masa del sector urbano y área de expansión del municipio.
- c) Determinar el mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa, por medio de la metodología SES.
- d) Evaluar la susceptibilidad de los elementos que se encuentran dentro del área en estudio ante fenómenos de remoción en masa.
- e) Definir la vulnerabilidad del sector urbano y área de expansión del municipio por medio de la correlación de los mapas de susceptibilidad y amenaza.
- f) Obtener el riesgo al que se encuentra expuesta el área en estudio ante un evento, por medio de la multiplicación de la amenaza y vulnerabilidad a fenómenos de remoción en masa.
- g) Analizar los resultados obtenidos y concluir en base a estos que áreas del municipio son aptas o no para la expansión urbana.

2.2 ALCANCE

El presente estudio contempla todas las actividades necesarias para la evaluación y zonificación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, para las áreas del sector urbano y de expansión urbana del Municipio Zipaquirá, Departamento de Cundinamarca.

2.2.1 Especificaciones, escalas de trabajo y unidades de observación

Las especificaciones de trabajo están contenidas en el Anexo Técnico de la CAR, que define, entre otros aspectos, los estudios a realizar y las escalas de trabajo, denominándolos “Básicos” y “Detallados”. En particular, el Numeral 5.1.8 de dicho documento define los requisitos a los que debe darse cumplimiento en los estudios.

El Anexo Técnico establece que los estudios **básicos** para soportar la revisión de los planes de ordenamiento se efectuarán “para los suelos urbanos, de expansión urbana y rural y tendrán por objeto la identificación de las áreas de amenaza y la determinación de las áreas con condiciones de riesgo en las que se exigirá, para su intervención o desarrollo posterior, la realización de estudios de detalle, ya sea porque dada su ocupación es necesario determinar el nivel de riesgo de los elementos expuestos o porque el municipio o distrito, en función del modelo de ocupación territorial

las destine para el desarrollo de actuaciones de parcelación, urbanización o construcción en las diferentes zonas comprendidas dentro del perímetro urbano, de expansión urbana, rural suburbano, centros poblados rurales o áreas de vivienda campestre.” De igual forma registra que estos estudios permitirán adelantar:

- a) La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza por fenómenos de inundación y movimientos en masa.
- b) La identificación y priorización de las áreas con condición de riesgo por fenómenos de inundación y movimientos en masa, en las que se requiere adelantar los estudios de detalle.
- c) La determinación de las medidas de mitigación no estructurales, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la reglamentación de usos del suelo.”

En la Tabla 2.1 se resumen las características básicas del presente estudio.

Tabla 2.1 Resumen de las características básicas de los estudios.

Tipo de estudio	Fenómeno que da origen a la amenaza	Clase de suelo (ley 388/97)	Escala	Unidad de análisis	Referencia del anexo técnico
Básico	Remoción en masa	Urbano y de expansión urbana	1:2.000	Barrio o equivalente – Microcuenca o subcuenca	5.1.8.1

Fuente: Elaboración propia con base en el Anexo Técnico de la CAR.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Para la elaboración del estudio se dividió en dos actividades principales las cuales se describen a continuación:

1. Recopilación de información disponible

Esta actividad hace referencia a consultar la información disponible tal como cartografía, mapas geológicos del Servicio Geológico Nacional, mapas de usos del suelo de los Planes de Ordenamiento Territorial, localización de infraestructura existente, fotografías aéreas, bases de datos de registros históricos de eventos y emergencias (Desinventar y UNGRD) y registros climáticos del IDEAM.

La información consultada más relevante es la siguiente:

- Planchas geológicas, Plancha 209, “Zipaquirá” de Ingeominas.
- Plan de Ordenamiento Territorial Municipio Zipaquirá

Se realizó el análisis con el grupo de asesores de la información disponible, con el objeto de tener claridad completa sobre las características geológicas, geotécnicas e hidrológicas del área de estudio.

2. Visita de inspección y reconocimiento del sitio estudiado

En esta actividad se realizó una visita a las áreas en estudio, en donde se identificaron todos los aspectos que inciden directa e indirectamente en el análisis de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa.

Las principales actividades que se desarrollaron en campo fueron:

- Descripción del terreno.
- Observación e Identificación de las estructuras existentes.

- Identificación de drenajes.
- Caracterización geológica y geomorfológica del sector urbano y área de expansión
- Inventario de los procesos morfodinámicos
- Reconocimiento de las amenazas naturales propias de la zona.

Una vez realizadas las anteriores actividades se efectuó un análisis y discusiones entre los especialistas, con el objeto de identificar los elementos más importantes que se requerían para el objeto del estudio.

3. Trabajo de oficina

En esta actividad se realiza la recopilación y verificación de la información secundaria con la información de campo y se procede a la elaboración de los mapas temáticos los cuales se realizan por medio de la herramienta SIG, con base en el modelo de datos de la CAR; la cartografía se maneja en el sistema de coordenadas Magnas Sirgas con origen Bogotá., una vez definidos estos, se realiza la evaluación de la amenaza por remoción en masa, atendiendo los criterios descritos en las bases metodológicas presentadas, con base en información secundaria, recorrido de campo y empleando la herramienta SIG.

De conformidad con el Anexo Técnico de la CAR, el análisis de vulnerabilidad se aplica a las zonas de amenaza alta y media, derivadas del análisis anterior, según procedimiento detallado en el numeral respectivo, con base en información primaria, secundaria, y uso de la herramienta SIG.

El riesgo se determina siguiendo el procedimiento metodológico respectivo, con base en información primaria, secundaria y uso de la herramienta SIG. Realizado los análisis y teniendo definida la zonificación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se definen las áreas que puede ser utilizadas para la ocupación y expansión urbana del municipio.

2.4 LOCALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

El Municipio Zipaquirá está situado en el centro de la República de Colombia, en el Departamento de Cundinamarca; limita por el norte con el Municipio Cogua, por el sur con los municipios de Tabio, Cajicá y Tocancipá, por el occidente con los municipios de Subachoque y Pacho y por el oriente con los municipios de Tocancipá, Nemocón y Cogua (Ver Figura 2.1).

Figura 2.1 Localización Municipio Zipaquirá.



Fuente: UT AVR – CAR.

Zipaquirá posee una extensión aproximada de 197 kilómetros cuadrados así: 8 kilómetros cuadrados de la zona urbana y 189 kilómetros cuadrados de la zona rural. La altitud del casco urbano del Municipio Zipaquirá sobre el nivel del mar es de 2.650 metros. Topográficamente esta sección territorial está dividida en dos regiones bien definidas: Región plana situada al oriente, rica en pastos aprovechados para la ganadería y Región montañosa situada al occidente, (rica en minerales) entre la que se destacan entre otras las siguientes alturas: a.- El cerro del Zipa bajo el cual se encuentra la mina y su monumental templo subterráneo de sal, el Páramo de Guerrero rico en yacimientos de carbón, la serranía de Ventalarga con Pantano Redondo y b.- El cerro del Calzón.

El Río Bogotá bordea al Municipio Zipaquirá en su costado suroriental, en longitud cercana a los 15 km. De esta manera, el Municipio Zipaquirá queda inscrito como parte la cuenca del río, el cual constituye el eje ambiental fundamental y espina dorsal del sistema hídrico de la sabana. A lo largo de su recorrido por la sabana, el Río Bogotá recibe el caudal de una multiplicidad de ríos y quebradas que conforman un complejo sistema de sub-cuencas y microcuencas. El río alimenta a su vez una serie de embalses y represas que surten los acueductos de la sabana (Chingaza, Neusa, Sisga y Tominé). Zipaquirá posee un importante recurso en este aspecto, representado en el Páramo de Guerrero, el cual comparte con municipios vecinos (Pacho, Cogua, Tausa) y da origen al río Frío y a una serie de microcuencas que constituyen parte esencial del recurso hídrico territorial de estos municipios y de la sabana.

Con excepción de muy pocos riachuelos que nacen al suroeste, provienen principalmente de las hoyas de las montañas situadas al norte, asiento del Páramo de Guerrero, Páramo Alto y Pantano Redondo. La ramificación de la cordillera occidental, da nacimiento a importantes quebradas de apacible caudal. Al este, es poco rica la hidrografía por ser esta la parte plana del municipio y la más seca. Principales Ríos de Zipaquirá: Al norte: El Río Neusa, el cual nace en el Páramo de Guerrero y atraviesa la Vereda de Riofrío con dirección nordeste. Al sur: El Río Frío Al oriente: El río Tibitó Al occidente: El Juratena La parte plana del municipio la riegan los ríos Neusa y Tibitó (que después se llama Funza o Bogotá). Entre las quebradas, merecen especial mención: Al norte: Alizal, Versailles, Quiroga, Pescadero, La Calera, Los Coclíes y el Tejar. Al oriente: Quebrada Honda, Del Mortiño, Los Laureles, (La Fuente), Chitagá, La Amarilla, La Toma y Susagua. Al Occidente: Pantano largo, El Carrizal, Rodamontal, la Arteza, El Rionegro o Tosagua, llamado en su nacimiento La Tibia y El Tejar o Urcia. Al sur: El Hornillo, El Gavilán o Chitagua, Aguaclara, Guabal, la Colorada y el Salitre.

Zipaquirá está unida a los municipios vecinos por medio de carreteras y ferrocarril. Por carretera se comunica con Bogotá, Chía, Cajicá, Nemocón, Pacho, Tabio, Tenjo, Gachancipá, Tocancipá, Sopó, Cogua, Tausa y Subachoque. Por ferrocarril se comunica con Nemocón, Cajicá, Chía y Bogotá. Las Veredas poseen carreteras pavimentadas en su gran mayoría y vías destapadas. (POT Zipaquirá).

La zona urbana del Municipio Zipaquirá objeto de este estudio se registra en la Figura 2.2.

Figura 2.2 Sector Urbano Municipio Zipaquirá.



Fuente: Elaboración propia basada en Cartografía Base.

3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

De acuerdo con el “Marco Metodológico para la Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa a Escala Local”, se hace necesario, en forma previa a los análisis específicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, hacer un análisis del contexto regional y local, con lo cual se logra una primera aproximación a las condiciones de riesgo con el fin de establecer en forma más adecuada las posteriores condiciones de los análisis a realizar. Enseguida se presenta los análisis a nivel local del clima y la hidrología, la geología y geomorfología, la sismicidad, datos de cobertura y uso entre otros que posteriormente serán usados en los análisis de amenazas y vulnerabilidad.

3.1 HIDROLOGÍA Y CLIMA

La posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial, la sitúa bajo la influencia de la circulación de corrientes de aire húmedo originadas en los océanos y en la región amazónica. Estas corrientes (Vientos alisios) convergen en el territorio nacional (Zona de Confluencia Intertropical, ZCIT) y producen la mayor parte de la precipitación anual. La combinación del sistema general de circulación atmosférica con el relieve, juega un papel determinante en los rasgos climáticos regionales. Sin embargo, y como se puede observar a partir de los desarrollos realizados en este trabajo, los resultados de los análisis requeridos en este tema se ven afectados por la cantidad y calidad de información que en la mayor parte de los casos para el territorio colombiano son escasos y en este caso en particular requieren de generalizaciones que pueden generar incertidumbres en los resultados obtenidos.

En este aparte se presenta el tratamiento de los datos correspondientes a la hidrología y clima que posteriormente serán usados para la evaluación de la amenaza. Enseguida se detalla los trabajos realizados para el logro de los objetivos.

Para el desarrollo metodológico planteado dentro de los alcances técnicos entregados por la CAR, se efectuó un análisis estadístico realizado a los registros de precipitación total diaria necesario para evaluar el comportamiento temporal y espacial de ésta, dentro del área de estudio, para lo cual, de las 51 estaciones de precipitación de la CAR de las cuales se obtuvieron registros diarios, se seleccionaron las siguientes estaciones que se describen adelante, las cuales son aportantes al municipio; así pues, dicha información se utilizará para los análisis de amenaza por torrencialidad y movimientos en masa para el Municipio Zipaquirá.

3.2 SISMICIDAD REGIONAL

La sismicidad es el resultado del movimiento resultante en la corteza terrestre al liberarse la energía acumulada en las áreas de choque y tensión entre las diferentes placas tectónicas que la conforman.

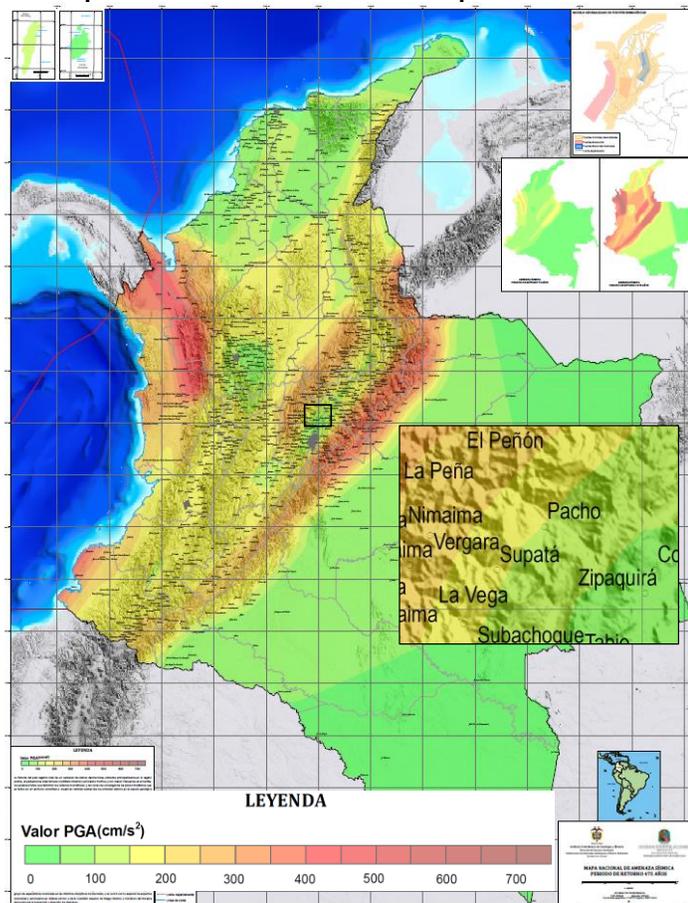
El territorio colombiano está conformado por la confluencia de tres de las placas tectónicas que comprenden la superficie del planeta a nivel geológico:

- Placa del Caribe
- Placa de Nazca
- Placa Suramericana

Estas placas se encuentran en constante dinamismo y movimiento, de forma tal que las del Caribe y de Nazca se encuentran enfrentadas y chocan directamente, en tanto que la de Suramérica se desplaza hacia el Oeste y sus bordes se desplazan por sobre la del Pacífico o de Nazca, lo que ha originado la Cordillera de los Andes.

De acuerdo a la información disponible en la página web del Servicio Geológico Colombiano y su Red Sismológica (RSNC), el municipio del Zipaquirá se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia con un valor de PGA entre 100 y 150 cm/s^2 . Ver Figura 3.1.

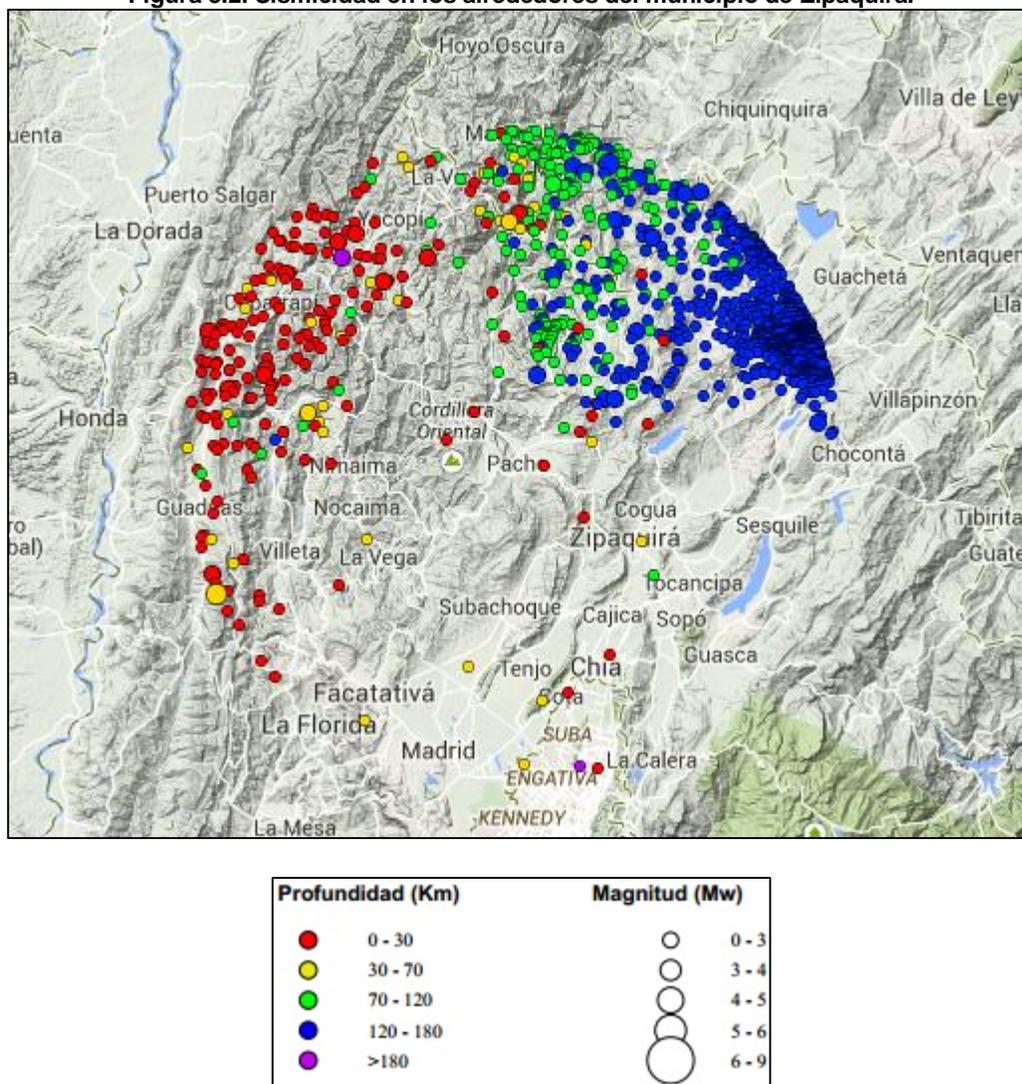
Figura 3.1. Mapa nacional de amenaza sísmica periodo de retorno 475 años.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

Se incluye un mapa sísmico de la zona estudiada en los alrededores del municipio de Zipaquirá donde se localizan los puntos en superficie de los sismos registrados en la red nacional desde el año 1993. Teniendo en cuenta la información obtenida por la Red Sismológica Nacional de Colombia sobre la ocurrencia de estos sismos. Ver **Figura 3.27**.

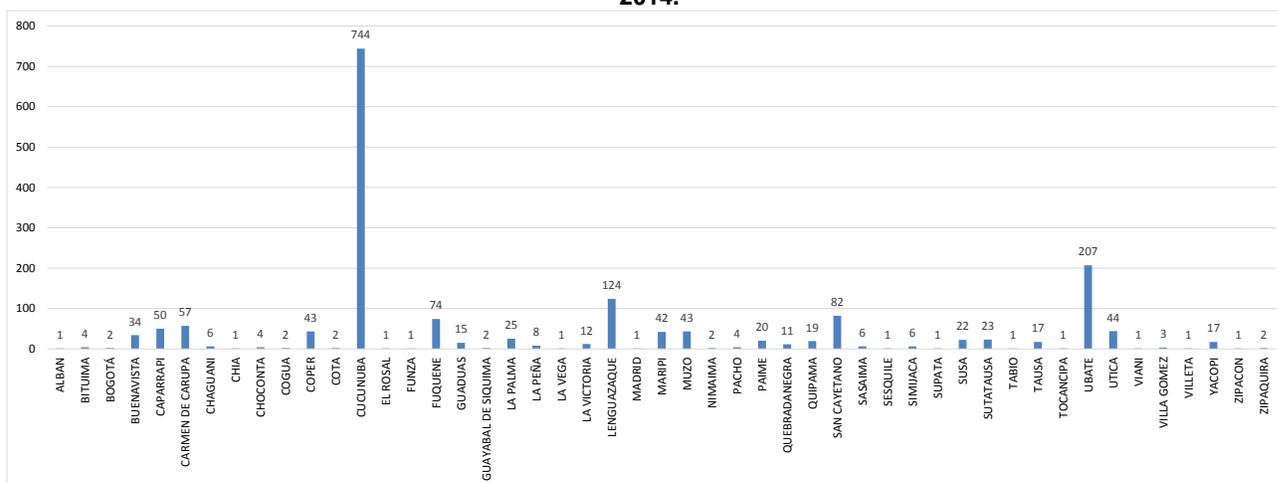
Figura 3.2. Sismicidad en los alrededores del municipio de Zipaquirá.



Fuente: Mapa de Sismicidad. Red Sismológica Nacional de Colombia. 2014.

Los sismos registrados por la RSN a partir del año 1993 en el cual entro en funcionamiento la Red en las zonas aledañas al municipio del Zipaquirá, se relacionan varios eventos que presentan una magnitud ML desde 0.8 hasta 4.3. Sin embargo en la zona de estudio solo se han presentado dos sismos con una magnitud máxima de 3 ML y en total se tienen 1804 sismos registrados para Cundinamarca, ver **Figura 3.38**.

Figura 3.3. Distribución de eventos en los diferentes municipios de Cundinamarca ocurridos desde 1993 hasta 2014.



Fuente: Red Sismológica Nacional de Colombia (RSCN).

Para determinar qué tan significativos pueden ser los sismos que se han presentado en la zona de estudio, se puede correlacionar las magnitudes con la clasificación del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Como en el municipio de Zipaquirá los dos sismos registrados no ha superado una magnitud mayor a 3, se puede clasificar como sismos de micro magnitud que no han sido perceptibles, ver Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Clasificación de los sismos de acuerdo a su magnitud (USGS)

Magnitud	Descripción	Observaciones
2.0-3.0	Micro Magnitud	No son perceptibles.
3.0-3.9	Menor Magnitud	Perceptibles con poco Movimiento y sin daño.
4.0-4.9	Ligera Magnitud	Perceptibles con movimiento de objetos y rara vez produce daño.
5.0-5.9	Moderada (o Mediana) Magnitud	Puede causar daños mayores en construcciones débiles o mal construidas.
6.0-6.9	Fuerte Magnitud	Pueden ser destructivos.
7.0-7.9	Mayor Magnitud	Pueden ser destructivos en zonas extensas.
8.0-8.9	Gran Magnitud	Catastróficos, provocando destrucción total en zonas cercanas al epicentro.
10 o más	Magnitud Épica	Jamás registrado, puede generar una extinción local.

Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

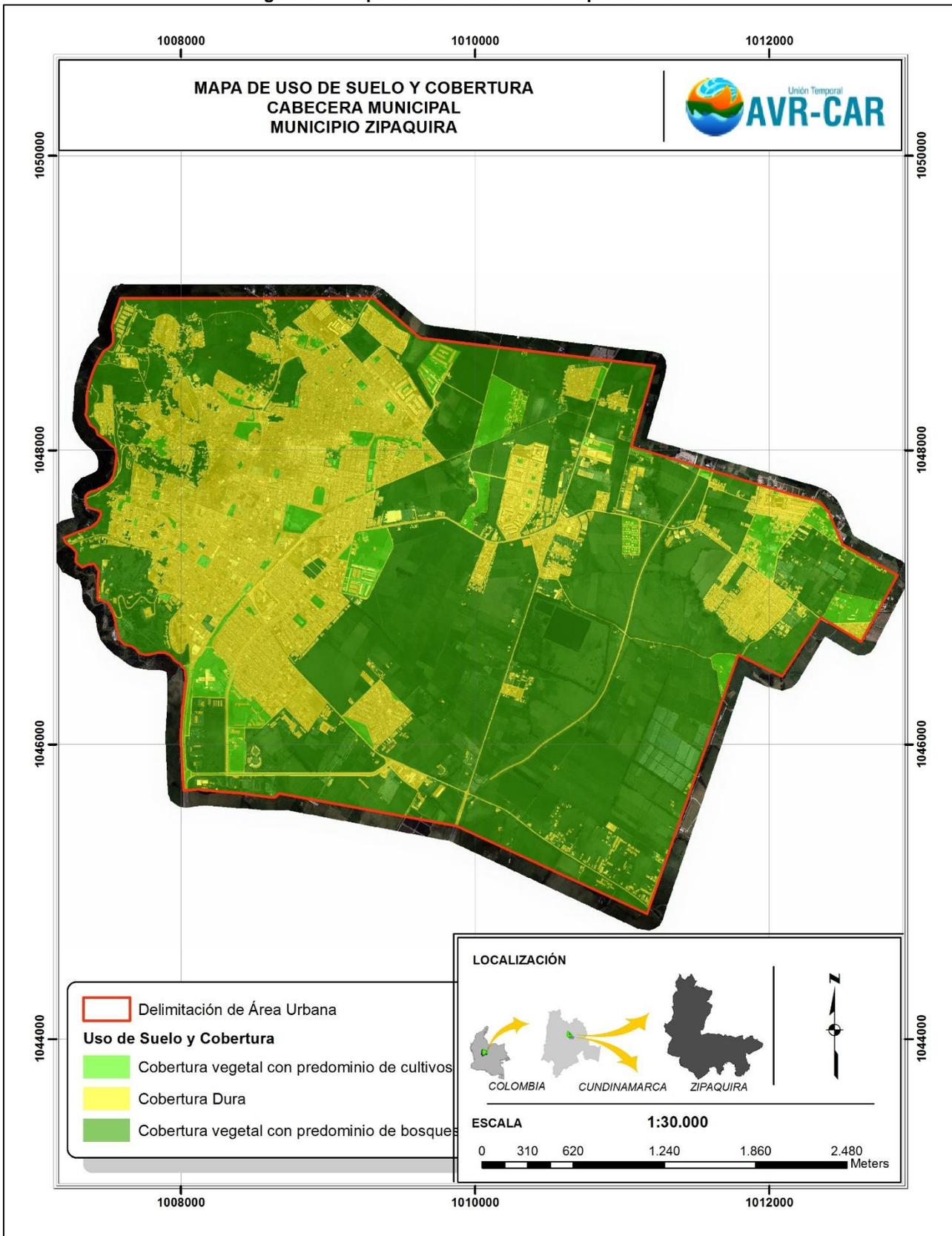
3.3 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

Hace referencia al aspecto morfológico y tangible del suelo, comprende todos los aspectos que hacen parte del recubrimiento de la superficie terrestre, de origen natural o cultural, que sean observados y permitan ser medidos con fotografías aéreas, imágenes de satélite u otros sensores remotos.

El uso de suelos hace referencia a las funciones que se desarrollan sobre aquellas cubiertas, es la calificación de todas las actividades realizadas por el hombre sobre la cobertura del suelo, de forma parcial o permanente, con la intención de cambiarla o preservarla, para obtener productos y beneficios. Para la identificación de las unidades que abarcan la cobertura del suelo se tuvo en cuenta características de interpretación fotogeológica como son: el tono, la textura y la forma.

Las coberturas observadas se describen en el **capítulo 5.2.5** de vulnerabilidad y se pueden observar en la Figura 3.4.

Figura 3.4. Mapa de uso de suelo Municipio del Peñón.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

4 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA Y UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES.

4.1 GENERALIDADES Y CRITERIOS PARA LA EXPLORACIÓN

La exploración consiste en observar a cierta distancia o recorrer la zona de estudio, con el fin de analizar elementos representativos de la zona, a partir de las cuales se realizará un reconocimiento geológico, geomorfológico, uso de suelo e infraestructura. La exploración se hace primero con una observación general desde cierta proyección, donde pueda ser analizada en su totalidad; luego con un análisis detallado en campo, se enriquecen los datos obtenidos en la identificación general.

La exploración de campo (observación a distancia y recorrido) es el proceso necesario para la recolección de datos estructurales, descripciones geológicas, geomorfológicas de suelos, datos de GPS, toma de fotos a detalle y panorámicas. Estos datos se ven reflejados en los productos entregados de cartografía de Unidades Geológicas Superficiales y Geomorfológicas descritos en el presente informe, acompañado de la libreta de campo y registro fotográfico. Se enuncian las principales actividades para realizar los estudios geológicos y geomorfológicos a continuación:

4.1.1 Toma de datos por medio de una vista panorámica

Como primer paso de una exploración se debe hacer un reconocimiento general de la zona por medio de una vista general, todo esto para establecer los puntos principales de estudio, zonas de mayor interés y establecer las posibles rutas a seguir.

4.1.2 Reconocimiento y recorrido de campo

En esta etapa se recorre la zona de estudio, se van localizando puntos de interés: geológicos, geomorfológicos, usos de suelo e infraestructuras; se hace una descripción del sector y se toman varias fotografías, donde se muestren aspectos generales y puntuales de la zona, que ayuden a demostrar lo descrito en el sector.

4.1.3 Orientación de las fotografías de campo

Las fotografías deben de estar orientadas y amarradas a un punto GPS, para una ubicación sencilla en el mapa, y así poder tener una ubicación dimensional de la zona y ser punto de apoyo para construir el modelo geológico.

4.1.4 Amarre de datos estructurales a puntos GPS

En caso de ser posible una toma de datos estructurales, éstos deben ir amarrados a un punto GPS para ser ubicados con mayor facilidad tanto en el mapa geológico como en el mapa geomorfológico, permitiendo un mejor modelamiento del terreno y más preciso.

4.1.5 Actividades en el trabajo de campo

- Estudio bibliográfico primario de la zona.
- Al establecer la zona de estudio se hace un reconocimiento panorámico.
- Inicialmente se hace un recorrido completo de la zona, en el cual se referencian los sectores de interés mediante GPS y fotografías las cuales son debidamente orientadas.
- Posteriormente se hace un recorrido y una descripción detallada (toma de fotografías orientadas, localización geográfica y puntos de GPS, descripción geológica y geomorfológica), demarcando y diferenciando los diferentes sectores desde un punto de vista geológico, geomorfológico, y por uso del suelo en la zona de interés.

4.2 GEOLOGÍA REGIONAL

La cartografía geológica oficial que corresponde al Municipio Zipaquirá, fue publicada por INGEOMINAS (2003), a escala 1:100.000, bajo el nombre de Plancha 209. Zipaquirá está localizado en la Cordillera Oriental y está conformado por rocas sedimentarias de origen marino y continental de edades que van desde el Cretácico al Holoceno. La secuencia sedimentaria cretácica de 3.200 metros de espesor, se depositó en una cuenca con un mar somero; a partir del Albiano cesa la fase extensiva, comienza una inversión tectónica y se inicia una regresión con oscilaciones que terminan a comienzos del Paleógeno y da lugar a un ambiente continental en el cual se depositaron aproximadamente 2.400 m. En el Neógeno se dio un ambiente tectónico compresivo que deformó la pila sedimentaria que constituye la actual Cordillera Oriental

4.3 GEOLOGÍA LOCAL

- **Estratigrafía**

A continuación únicamente se describen las unidades geológicas que se encuentran dentro del límite urbano del Municipio Zipaquirá (**Figura 4.1**)

- ✓ **Formación Cacho (E1c)**

Definida por Hubach (1931), está constituida por areniscas granulosas tiernas, de colores amarillos hasta ocre o rosado, con algunos bancos de arcillas abigarradas, tiene un espesor de 120m. Es infrayacida por la formación Guaduas y suprayacida por la formación Bogotá en contacto neto y concordante.¹ Su edad es *Paleoceno Superior*.

- ✓ **Formación Bogotá (E1b)**

Nombrada por Hubach (1931), tiene un espesor de 575m. Constituida por tres conjuntos, el inferior arenoso y arcilloso, el conjunto medio conformado por arcillolitas abigarradas intercaladas con algunos bancos gruesos de areniscas y areniscas arcillosas y el superior formado por bancos de areniscas gruesas y blandas que alternan con arcillas abigarradas. Suprayace en contacto transicional y concordante la formación Cacho e infrayace discordantemente los depósitos cuaternarios.² Su edad es Paleoceno superior – Eoceno inferior.

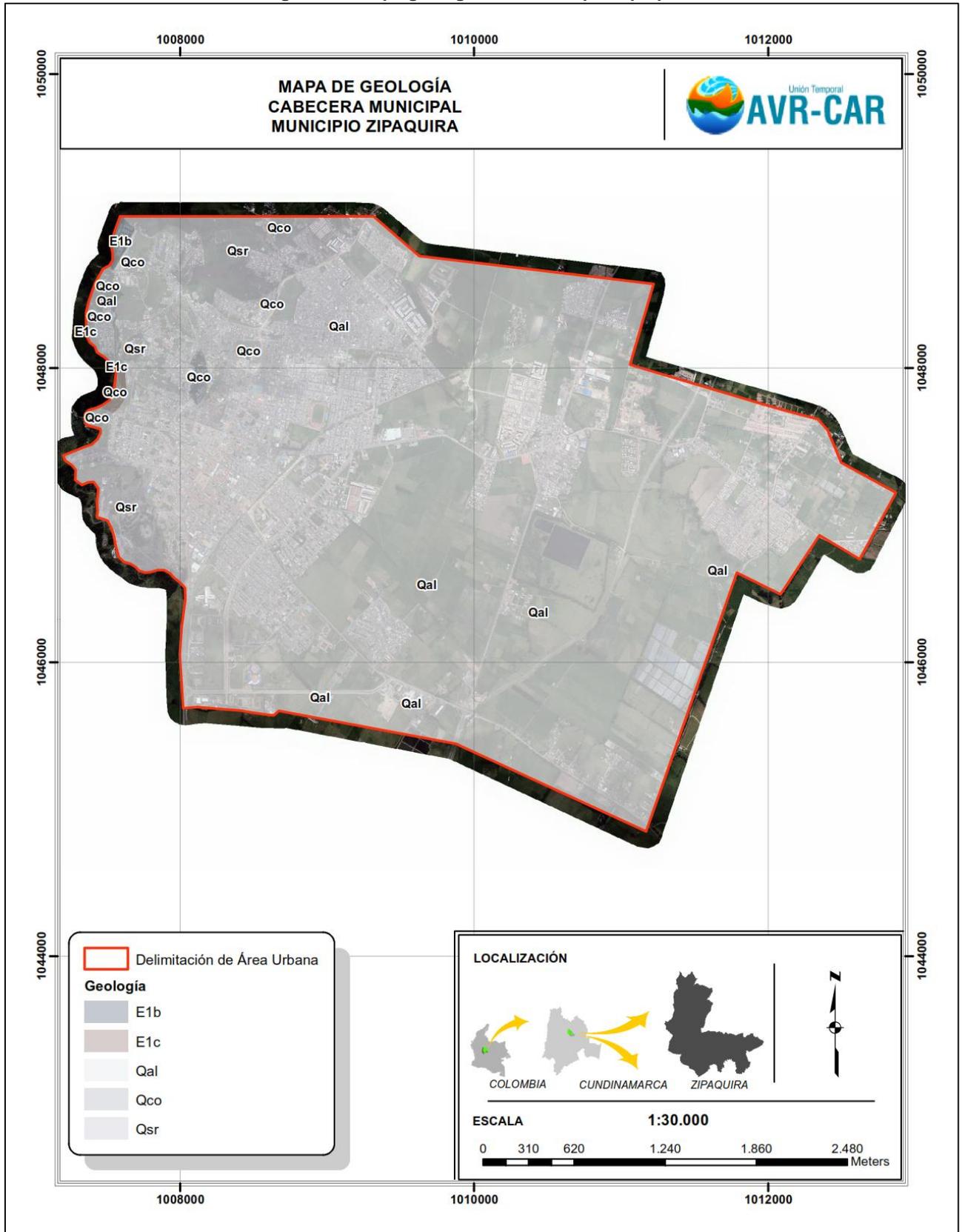
Los afloramientos presentes dentro del casco urbano son descritos en el capítulo de unidades geológicas superficiales; unidad de roca.

¹ Hubach (1931). Memoria explicativa 209 Zipaquirá. INGEOMINAS 2003.p.95.

² Ibid., p.100.



Figura 4.1. Mapa geológico del Municipio Zipaquirá



Fuente: UT UVR CAR, 2014

Las otras unidades geológicas que se observaron en las zonas urbanas y de expansión en Zipaquirá de edad Cuaternaria, se describen a continuación:

✓ **Cuaternario aluvial reciente (Qalr).**

Corresponde a depósitos aluviales en los cuales se observan cantos subredondeados de limolitas, arcillolitas y areniscas de grano fino, englobados en una matriz arcillo-arenosa fina. La génesis de esta unidad se relaciona con acumulaciones marginales al cauce, de los productos de arrastre que acarrearán las pequeñas quebradas que drenan el sector urbano.

✓ **Depósitos fluviolacustres (Qfl).**

Presentan una morfología de plana a ligeramente inclinada y en sectores ligeramente aterrizados. Corresponden a los materiales acumulados en los bordes de las laderas de las partes media, y baja del río Subachoque. Están constituidos por una secuencia interestratificada de arcillas, limos, arenas, gravas, y ocasionalmente capas lenticulares de turba y ceniza volcánica. Se presentan en general poco consolidados.

Los depósitos fluviolacustres, desde el punto de vista económico son una fuente importante como materiales de construcción, en la producción de gravas, gravillas y arenas.

✓ **Depósitos fluviotorrenciales (Qft).**

Presentan una morfología de plana a moderadamente inclinada y en sectores ondulada, lo cual constituyen la zona de transición entre el sector plano y la parte montañosa, conformando principalmente las denominadas geoformas de conos de deyección y abanicos aluviales. Presentan una granulometría media a fina; constituidos principalmente por gravas con esporádicos bloques, hasta de 1m, de diámetro; con una matriz de arenas, limos y arcillas. En general presentan baja consolidación y selección pobre. Corresponden a depósitos cuaternarios indiferenciados. Su importancia económica radica en la utilización como material de construcción.

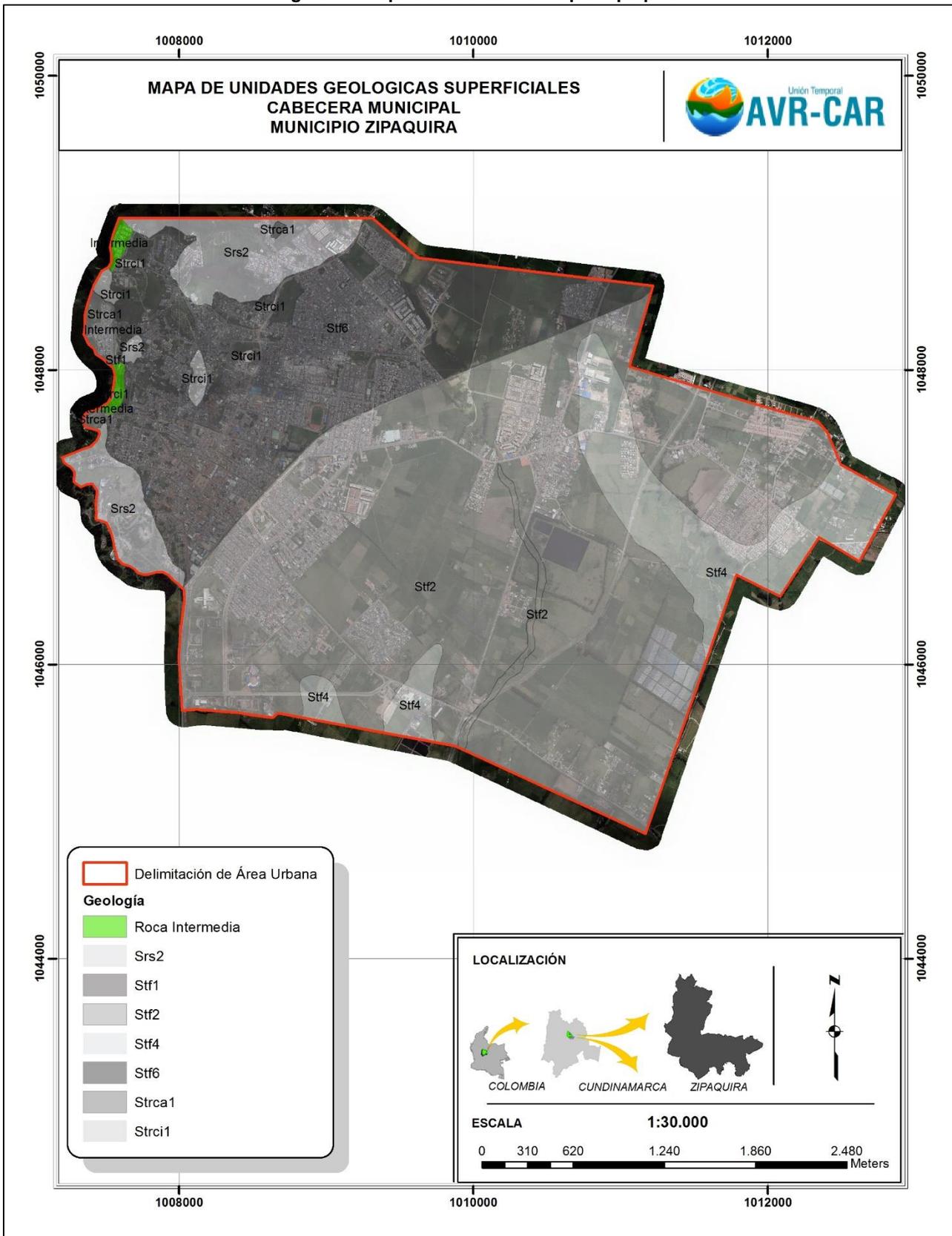
4.4 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES

Hermelín (1987), denomina Formación Superficial al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Estas formaciones Superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados.

Las unidades geológicas superficiales se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre y son unidades cartografiables. En el mapa de Unidades Geológicas Superficiales se clasifican los materiales geológicos como Roca (R) y el subíndice Rd, Ri y Rb para rocas duras, intermedias y blandas respectivamente; Suelo Residual (Sr), Transportado (St), Material de rellenos o suelos antrópicos (Ae). En éste trabajo se utilizó como unidad cartografiable, un valor alrededor de mínimo 2 metros de espesor, teniendo en cuenta la escala de trabajo (1:2.000).

Las Unidades Geológicas Superficiales cartografiadas se basaron en las clasificaciones realizadas en estudios anteriores hechos por INGEOMINAS para la Sabana de Bogotá (2004), donde se realizaron estudios generales de estas regiones. En la **Figura 4.2** se presenta el mapa de UGS para el Municipio Zipaquirá.

Figura 4.2 Mapa de UGS del Municipio Zipaquirá



Fuente: UT UVR CAR, 2014

4.4.1 Unidades de roca (R)

En la **Tabla 4.1** se muestran los parámetros que se tuvieron en cuenta para la clasificación y caracterización de suelos y depósitos.

Tabla 4.1. Caracterización de la UGS de carácter rocoso

UGS	Descripción	Origen	Textura	GSI	Jv	Grado de Meteorización	Clasificación de la unidad
Rib	Formación Bogotá	Sedimentario	Clástica	45	23 fr/m ³	IV	Intermedia
Ric	Formación Capote	Sedimentario	Clástica	37	28 fr/m ³	III	Intermedia

Fuente: UT UVR CAR, 2014

4.4.1.1 Rocas intermedias (Ri)

La morfología presente en esta unidad se caracteriza por presentar pendientes abruptas, litológicamente está constituida por arenisca de grano fino a medio, de color amarillo presencia de óxidos de hierro, con capas de hasta 50 cm, (Fotografía 4.1) con estratificación plano paralela, con grado de meteorización alto y fracturamiento alto, el afloramiento se observa en la margen izquierda de la carrera 30 en el Barrio Bolívar 23, presenta una dirección de R N20°E/ B48°NW.

Se caracterizó rocas fracturadas (espaciamiento entre 20 y 60 cm), con un índice de fracturamiento Medio (JV entre 3 y 30 fr/m³), y un índice de resistencia geológica Intermedia (GSI entre 35 y 55).

Fotografía 4.1. Afloramiento base para la clasificación de roca de la Formación Bogotá



A la prueba del martillo se determinó una dureza moderada, textura clástica consolidada y meteorización (Dearman, 1976) de IV.

Fotografía 4.2 Afloramiento base para la clasificación de la roca de la formación Cacho, evidenciado en las coordenadas N 1047088 y E 1007411.



Afloramiento de más de dos metros de altura en el que se evidencia una capa orgánica de color gris de 30 cm de espesor; seguido de lodolitas estratificadas en láminas de color gris claro de espesor de 1,5 mts con presencia de óxidos de hierro, seguido de areniscas de grano fino a medio de color amarillo (**Fotografía 4.2**).

Esta unidad se caracteriza por presentar morfología de pendientes suaves, con estratificación plano paralela y un grado de meteorización moderada, con un índice de resistencia geológica intermedia (G.S.I entre 45 y 65) y un grado de meteorización (Dearman, 1976) de III.

4.4.2 Unidades de suelo (S)

En la cartografía geológica para ingeniería, se consideran como suelos los materiales granulares cementados o no cementados (arena, limo, grava y bloques) y arcillas plásticas cohesivas y la combinación de estos dos tipos. Los principales factores geológicos que se analizan y sirven para caracterizar y evaluar los materiales tipo suelo son: Composición litológica y mineralógica, color, tamaño y forma de los granos (textura), dureza de los granos, consistencia, densidad relativa y estructuras.

Para el presente trabajo los suelos se agruparon de acuerdo con su origen en residuales y transportados. Los suelos residuales son aquellos que se originan *in situ* por efecto de meteorización de las rocas, los suelos transportados son depósitos que se originan por la acumulación de material arrastrado por la acción del viento, agua, hielo, erupciones volcánicas o por efecto de la gravedad.

En la **Tabla 4.2** se muestran los parámetros que se tuvieron en cuenta para la clasificación y caracterización de suelos y depósitos.

Tabla 4.2 Caracterización de las UGS relacionadas con suelos

COD	Descripción	Origen	Estructura	Consistencia	Densidad granular	Humedad	Espesor
Srs2	Suelo Residual	Residual	Matriz soportada	Media		Baja	> 3.0 mts
Strca1	Suelo trasportado	Transportado	Matriz soportada	Blanda		Baja	1-3m
Strci1	Suelo trasportado	Transportado	Matriz soportada	Blanda		Baja	1-3m
Stf1	Suelo trasportado	Fluvial	Matriz soportada	Blanda		Alta	1-3m
Stf2	Suelo trasportado	Fluvial	Matriz soportada	Blanda		Baja	1-3m
Stf4	Suelo trasportado	Fluvial	Clasto soportado		Baja	Baja	1-3m
Stf6	Suelo trasportado	Fluvial	Clasto soportado		Blanda	Baja	1-3m

Fuente: UT UVR CAR, 2014

4.4.2.1 Suelo residual (Sr)

En ingeniería suelo residual se entiende como la roca meteorizada en la cual ya no aparecen sus características físicas, su comportamiento depende de las propiedades de la roca origen y de la descomposición que ésta tenga.

Los suelos residuales se caracterizan también porque en las etapas iniciales de la meteorización, se producen fragmentos de gran tamaño y en el proceso final se producen arcillas, entre estos dos extremos se puede encontrar una composición de mezclas de diferentes tamaños de grano. Los suelos residuales se encuentran ampliamente distribuidos en el área donde alcanzan espesores desde pocos centímetros hasta más de tres metros. En el presente trabajo solo se cartografiaron aquellas unidades con espesor superior a 2 metros.

✓ Suelo residual Srs2

En coordenada N 1048232 y E 1007741, altura 2.737 se observa perfil de suelo residual de aproximadamente 2 metros de espesor, localiza en el casco urbano del municipio cerca al Jardín Infantil Segundo Sector Altamari, se presenta una morfología suave a moderada, se observa una capa vegetal de 20 cm, seguido de un espesor de 60 cm de color café, composición arcilloso, seguido de una capa de 1,10 de espesor de color amarillo de consistencia media, humedad baja, matriz soportada (Ver **Fotografía 4.3**).

Fotografía 4.3 Perfil de suelo residual donde se están construyendo actualmente viviendas.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

Estos suelos residuales se encuentran distribuidos en la parte NE y E se evidencian espesores superiores a 2 metros aproximadamente.

4.4.2.2 Suelos transportados (St)

Son materiales que han sufrido algún tipo de transporte, ya sea por medios naturales de tipo fluvial o aluvial, eólico, glacial, gravedad o por medios relacionados con las actividades del hombre (antrópicos). Están conformados por materiales heterogéneos, cuya composición depende de la fuente de origen, no están consolidados, son susceptibles a generar movimientos en masa y se distribuyen desde las zonas semiplanas hasta las zonas de alta pendiente. En el Municipio Zipaquirá se presentan suelos de origen aluvial y de gravedad los cuales son descritos a continuación.

✓ Suelos transportados de origen aluvial

- **Suelos Fluviales recientes (aluviones y planicies de inundación) (Stf1, Stf2).**

Corresponden a los sedimentos fluviales de cauces actuales y llanuras de inundación de los drenajes principales que atraviesan el Municipio Zipaquirá, como son el Río Negro y sus afluentes, los cuales presentan una morfología plana a ligeramente inclinada.

Son depósitos de granulometría fina a gruesa, constituidos por intercalaciones de arcillas de colores claros, oscuros y amarillo. En general son de consistencia blanda, humedad media a alta y están cubriendo en algunos sectores la terraza aluvial baja. En las coordenadas 1011490 X, 1049640 Y se puede observar suelos de aluviales recientes **Fotografía 4.4**

Fotografía 4.4 Suelos de aluvial reciente sobre las márgenes de uno de los afluentes del Río Negro.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

- **Suelos de abanico aluvial (Sft4)**

Su origen está asociado con acumulación de material aluvial en una zona plana o un valle amplio, a la salida de un valle tributario. Se constituyen de 50 - 80 m de gravas y arenas con interestratificaciones de arcillas y limos en su parte distal.

- **Suelos fluvio torrenciales (Stf6).**

Su origen está asociado a la acumulación de material que fue arrastrado por los cauces de los ríos de forma rápida, están constituidos por fragmentos de roca de variados tamaños embebidos en una matriz areno-arcillosa.

4.5 GEOMORFOLOGÍA

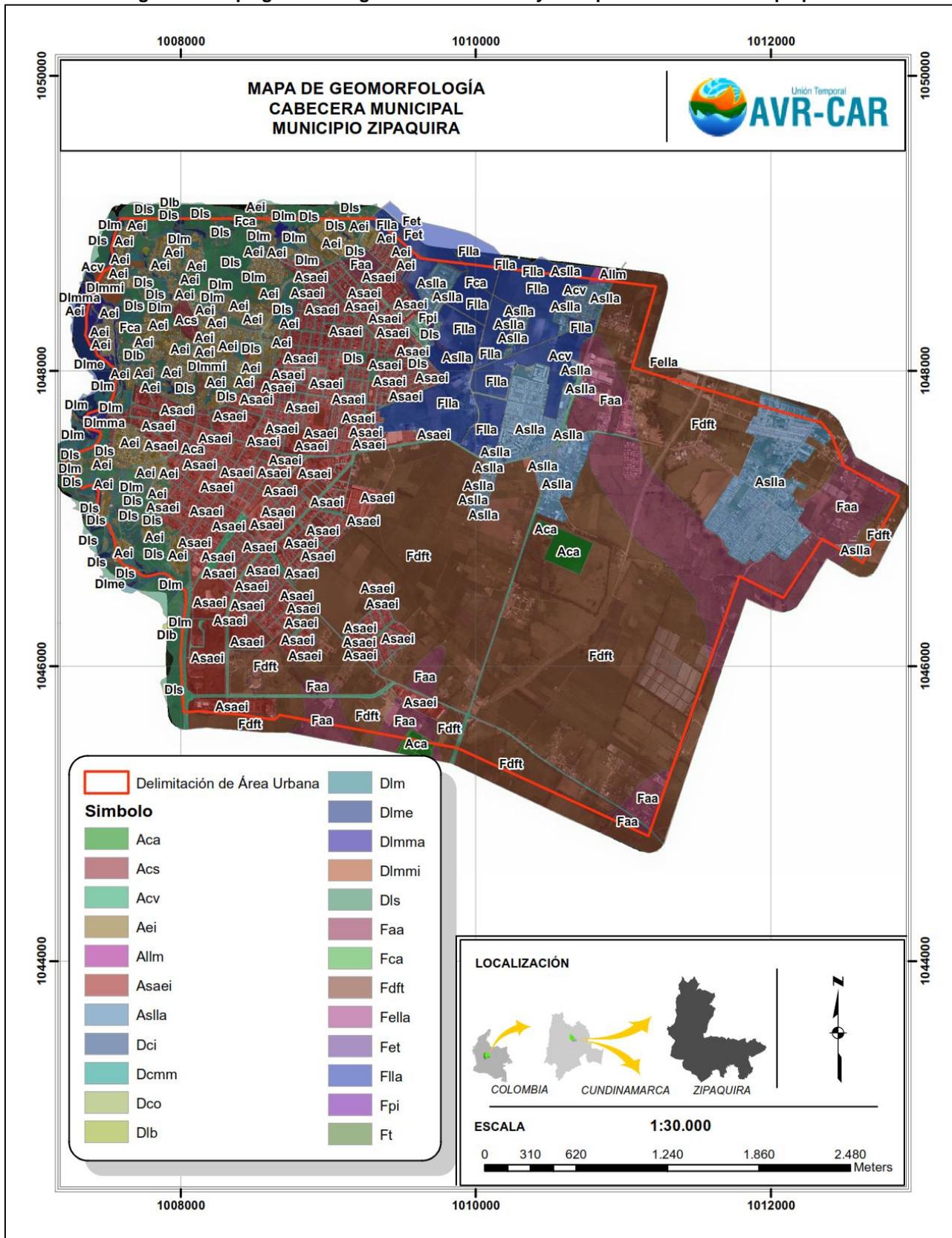
En este capítulo se presenta la información morfológica y morfodinámica obtenida a escala 1:2000, mediante la interpretación de la imagen de satélite, el fotomosaico, el DTM, los mapas de sombras y un control rápido de campo para calibrar la interpretación obtenida. Las principales geoformas encontradas en la zona de estudio se relacionan en la **Tabla 4.3** y en la **Figura 4.3** se muestra el mapa geomorfológico del área en estudio.

Tabla 4.3 Principales geoformas presentes en la zona de estudio.

Ambiente		Símbolo	Componente
Nombre	Descripción		
Denudacional Meteorización, desgaste de masa y erosión lineal.	Geoformas relacionados por procesos denudacionales en clima tropical caracterizados por erosión (Hidrogravitatorios), remanentes de erosión (Tors) y procesos fluvioerosionales.	Dci	Crestas inclinadas
		Dcmm	Corona movimiento en masa
		Dco	Coluvial
		Dlb	Loma baja
		Dlm	Ladera moderada
		Dlme	Ladera moderada a empinada
		Dlmma	Ladera movimiento en masa activo
		Dlmmi	Ladera movimiento en masa inactivo
Fluvial Erosión fluvial y sedimentación	Geoformas de erosiones-sedimentación generadas por el eje principal (Río Magdalena) y los apartes laterales de las corrientes de las dos cordilleras	Faa	Abanico aluvial
		Fca	Cauce actual
		Fdft	Deposito fluvio-torrencial
		Fella	Escarpe de llanura aluvial
		Fet	Escarpe de terraza
		Flla	Llanura aluvial
		Fpi	Planicie de inundación
		Ft	Terraza
Antropogénico Acción del hombre	Geoformas del relieve que son el producto de modificaciones causadas por la intervención del hombre.	Aca	Canalización
		Acs	Campo santo
		Acv	Corte vía
		Aei	Explanación indiferencial
		Allm	Lleno mecánico
		Asaei	Superficie de abanico con explanación indiferencial
		Aslla	Superficie de llanura aluvial

Fuente: UT UVR CAR, 2014

Figura 4.3 Mapa geomorfológico del área urbana y de expansión urbana de Zipaquirá



Fuente: UT UVR CAR, 2014

Las principales geoformas encontradas en la zona de estudio se presentan en la **Figura 4.2** se muestra el mapa geomorfológico del área en estudio. Estas geoformas están relacionadas con procesos morfogenéticos de tipo denudativo, fluvial y antropogénico.

4.5.1 Geoformas de origen denudacional

Se incluyen las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas morfoestructurales preexistentes y además crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos.

- **Crestas inclinadas (Dci):**

Esta geoforma al igual que las crestas subhorizontales se presentan como franjas alargadas asociadas a divisorias de aguas de las microcuencas, de morfología alomada y alargadas, con pendientes medias a inclinadas y que presentan terminaciones de cimas agudas, semiredondeadas a convexa, con anchos que varían entre 50 y 100 m, limitadas por vertientes cuya inclinación puede ser moderada a escarpada.

- **Corona de movimiento en masa (Dcmm):**

Geoforma correspondiente a laderas que en la parte superior se observa la superficie de rotura o corona de un movimiento en masa, constituyendo un resalte geomorfológico labrados sobre rocas frescas, meteorizadas o depósitos de suelos. La altura de estas laderas puede alcanzar decenas de metros.

- **Depósito coluvial (Dco):**

Corresponde a acumulaciones de material (suelo residual y/o fragmentos de roca) desprendidos de zonas topográficamente más altas que se depositan en zonas puntualizadas irregulares con pendientes ligeramente inclinadas o en los extremos de valles de ríos y quebradas.

- **Lomas bajas (Dlb):**

Elevaciones del terreno menores de 50 m con cimas angostas a moderadamente amplias y de formas subredondeadas a agudas, con laderas de forma convexas, cuyas pendientes presentan pendientes levemente inclinadas a medias, de longitud corta a moderadamente corta.

- **Laderas moderadamente inclinadas (Dlm)**

Laderas alargadas definidas por una inclinación moderada (15° y 35°), de formas onduladas, festoneadas a irregulares, de longitudes largas y ocasionalmente amplias (Fotografía 4.5).

Fotografía 4.5. Morfología de laderas suavemente inclinadas.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

- **Laderas moderadas a empinadas (Dlme):**

Laderas alargadas definidas por una inclinación de moderada a empinada, de formas onduladas, festoneadas a irregulares, de longitudes largas y ocasionalmente amplias (Fotografía 4.6).

Fotografía 4.6. Morfología de ladera moderada evidenciada en las coordenadas N 1047709 y E 1007420.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

- **Ladera movimiento en masa activo (Dlmma):**

Lóbulos de tierra o roca de morfología baja que en el momento de su reconocimiento evidencian actividad. Sus principales características morfológicas son pendientes cóncavas y convexas, pendientes escalonados, bloques inclinados, relieve irregular, formación de grietas y cambio súbito de pendiente. Generados por procesos de Movimientos en masa ladera abajo, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante (Fotografía 4.7).

Fotografía 4.7. Movimiento en masa activo evidenciada en las coordenadas N 1047709 y E 1007420.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

- **Ladera movimiento en masa inactivo (Dimmi):**

Son geoformas con características similar a la subunidad Dimma pero que en el momento de su reconocimiento no se evidencia actividad de procesos de movimientos en masa ladera abajo.

- **Laderas suavemente inclinadas (DIs):**

Corresponden a laderas planas a suavemente inclinadas (6° a 15°). En este tipo de elemento, generalmente no se presentan movimientos en masa, pero se concentra la humedad, desarrollándose suelos residuales de gran espesor. Esta geoforma en la zona de estudio se evidencia en poca proporción al sur y este del municipio.

4.5.2 Geoformas de origen fluvial (F)

Estas geoformas se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y acumulación o sedimentación de materiales en las zonas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera es posible encontrar geoformas aledañas a ríos y quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando estas pierden su capacidad de arrastre.

- **Abanico aluvial (Faa):**

Superficie en forma de cono, de laderas cóncavo convexas, de morfología plana, aterrazada, formado donde una corriente desemboca en una zona plana. Su origen está asociado a la acumulación torrencial y fluvial en forma radial. Su tamaño puede alcanzar varios kilómetros de largo y ancho.

- **Cauce actual (Fca):**

Canal de forma irregular excavado por corrientes perennes o estacionales, dentro de sedimentos aluviales y que dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. En este tipo de cauce el mayor socavamiento se da en las partes superiores de su curso, donde es mayor el gradiente y la carga de sedimentos es más gruesa (**Fotografía 4.8**).

Fotografía 4.8 Cauce actual evidenciado en las coordenadas N 1047627 y E 1007465.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

- **Depósito fluviotorrencial (Fdft):**

Depósitos constituidos por bloques rocosos angulares a subredondeados de tamaño métricos flotantes en matriz arenosa con gravas y arcillas. Su origen se asocia a avalanchas torrenciales inducidas posiblemente por eventos sísmicos o cambios climáticos asociados a lluvias torrenciales.

- **Escarpe de llanura aluvial (Fella):**

Talud vertical a subvertical o escalonado, excavado sobre sedimentos aluviales, que bordea las llanuras aluviales.

- **Escarpe de terraza (Fet):**

Talud vertical a subvertical o escalonado, excavado sobre sedimentos aluviales, que bordean terrazas aluviales de acumulación, cuyo origen está relacionado con la incisión y profundización del cauce. La altura de los escarpes puede alcanzar decenas de metros.

- **Llanura aluvial (Flla):**

Geoforma con morfología baja y ondulada con pendientes levemente inclinadas a medias eventualmente inundables.

- **Planicie de inundación (Fpi):**

Geoforma con morfología baja y ondulada con pendientes levemente inclinadas a medias eventualmente inundables. Estas geoformas incluyen los cauces de las corrientes. En regiones montañosas donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas que presentan una red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad y localmente pueden presentar control estructural. La composición granulométrica y mineralógica así como las características estructurales y texturales varían ampliamente en función del régimen de los ríos, de las propiedades de las rocas, de la cuenca hidrológica y de las condiciones morfodinámicas generales. En las corrientes de alta gradiente se presentan materiales heterogéneos con predominio de guijarros de composición mineralógica variada, mientras que las de bajo gradiente se caracterizan por una mejor distribución y disminución del tamaño y redondeamiento de los materiales.

- **Terraza (Ft):**

Geoforma caracterizada por un plano aterrazado de morfología plana a suavemente ondulada y modelada sobre sedimentos aluviales, limitado por escarpes de diferente altura. Su origen está relacionado con procesos de erosión y acumulación aluvial.

4.5.3 Geoformas de origen antrópogenico.

Estas geoformas han sido generadas por la acción del hombre, sobre el relieve inicial, a favor o en contra de los procesos erosivos.

- **Canalización (Aca):**

Corresponde a las quebradas que se encuentran canalizadas

- **Campo santo (Acs):**

Adecuaciones morfológicas de excavaciones y rellenos donde se depositan los restos mortales o cadáveres de los difuntos, adecuados para cementerios (campo santo).

- **Corte de la vía (Acv):**

Cortes de laderas y adecuaciones de taludes para el desarrollo de las vías de infraestructura y desarrollo.

- **Excavaciones (Aei):**

Geoforma generada a partir de excavaciones realizadas para construcciones de tipo residencial, comercial e industrial.

Fotografía 4.9 Excavaciones antrópicas.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

- **Lleno mecánico (Allm):**

Esta geoforma se genera a partir de la acumulación de material con el fin de nivelar el terreno e implementar el sistema de terrazo en la parte del Río Subachoque.

5 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA

La amenaza por movimientos en masa de una ladera, entendida como un evento natural, humano o combinado, potencialmente destructivo de vidas, bienes, economía y/o cultura de una comunidad (INGEOMINAS, 2006), involucra en su evaluación, el conocimiento claro del tipo de movimiento en masa amenazante activo o potencial, así como estimativos de su magnitud, recurrencia y localización geográficas. Sin embargo la alta complejidad dada por el sinnúmero de factores que intervienen en su desarrollo, requiere una gran cantidad de información de aspectos como: topografía, cobertura y usos del suelo, geología (geología para ingeniería, estratigrafía, geología estructural) geomorfología, clima, hidrología, hidráulica, hidrogeología (niveles piezométricos y su variación en el tiempo), parámetros geomecánicos de materiales e intensidad y probabilidad de ocurrencia de factores detonantes tales como lluvias y sismos, todos y cada uno de acuerdo a la metodología de evaluación planteada.

Este capítulo describe aspectos metodológicos para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, y los productos cartográficos resultantes desarrollados para la zona urbana y de expansión urbana para el Municipio Zipaquirá a Escala 1:2.000.

5.1 CRITERIOS APLICADOS

La zonificación de amenazas es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, y consiste en la división del terreno en áreas homogéneas y la calificación de cada una de estas áreas, de acuerdo al grado real o potencial de amenaza.

Para la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa se implementaron los siguientes criterios:

5.1.1 Sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad SES

El sistema de evaluación de estabilidad comprende fundamentalmente la evaluación de ocho parámetros (8), donde cada uno de ellos es el resultado de diversos factores asociados según su naturaleza. Para cada factor se fijan intervalos de variabilidad de acuerdo con su influencia en la estabilidad de las laderas. La combinación de los diferentes factores en cada parámetro y la suma de los puntos asignados a cada uno de ellos, resulta en una “calificación de estabilidad” (CE) a partir de la cual se pueden definir diferentes niveles de amenaza. De esta forma a cada parámetro le corresponde un determinado puntaje de estabilidad, resultado de la suma ponderada de índices de cada factor asociado a este

Tabla 5.1 Definiciones originales – SES.

Parámetro	Símbolo	Puntaje	
		Máximo	Mínimo
MATERIAL	M	70	1
FACTOR ANTRÓPICO	A	50	2
RELIEVE	R	36	7
DRENAJE	D	35	6
USO DEL SUELO	U	25	3
CLIMA	C	40	3
EROSIÓN	E	12	2
SISMO	S	22	0
Calificación de estabilidad		290	23

Fuente: Anexo Técnico de la CAR.

5.1.2 Métodos heurísticos

Los métodos heurísticos se basan en el estudio conceptual de los procesos de ocurrencia de los deslizamientos y requiere del análisis por parte de profesionales con conocimientos y experiencia tanto de la región estudiada como de los procesos. En el análisis heurístico, el mapa de amenazas es hecho utilizando el conocimiento del profesional especializado sobre un sitio específico, a través de fotointerpretación o trabajo de campo. Este mapa puede hacerse directamente en el campo o recodificando un mapa geomorfológico. El procedimiento es la asignación subjetiva de pesos o valores a los factores relevantes y a las subclases para obtener una suma de susceptibilidad a amenaza relativa.

5.1.3 Método de inventario de movimientos en masa

Un mapa de inventario de deslizamientos se prepara compilando mapeos previos y complementándolos con observaciones de campo, análisis de fotografías aéreas e interpretación geomorfológica, así como mapas topográficos actuales y antiguos. Los mapas de inventario requieren la preparación de mapas de ocurrencia de movimientos en masa, los cuales deben hacerse por separado para cada tipo de movimiento (caída de rocas, deslizamientos, flujos de detritos, etc.). Los mapas de inventario de movimientos en masa se emplean con frecuencia como mapas de amenazas, ya que muestran la distribución y magnitud de eventos recientes. Sin embargo, debe aclararse que su uso es limitado, pues la información contenida corresponde solo a un determinado periodo de tiempo, y no dice nada sobre las áreas que no presentaron eventos durante dicho periodo. Este método permite hacer análisis de distribución, actividad (eventos ocurridos en cierto periodo) y densidad (porcentaje por área total o número de deslizamientos por área total).

5.2 MÉTODO DE TRABAJO

En la evaluación de amenazas por fenómenos de remoción en masa se aplicaron los anteriores criterios con algunas modificaciones teniendo en cuenta que el factor de la pendiente no se incluyó en los criterios de calificación de amenaza de estabilidad actual y de acuerdo a los análisis la influencia de la pendiente del terreno sobre los fenómenos de remoción en masa es muy importante, debido a que es un factor condicionante que favorece o desfavorece en la estabilidad de las laderas.

En el análisis inicial se plantearon nueve (9) mapas temáticos (Material (mapa de unidades geológicas superficiales), mapa factor antrópico, mapa del relieve (geomorfología y curvatura), mapa de drenaje, mapa de cobertura y uso del suelo, mapa de clima, mapa de erosión, mapa de sismicidad y mapa de pendientes), que de acuerdo a la experiencia y a lo observado en las visitas de inspección en campo son los que más influyen en la estabilidad de las laderas. El resultado de este análisis es el mapa de calificación de estabilidad, el cual es calibrado mediante el análisis de las áreas afectadas en el inventario de procesos morfodinámicos que se obtiene de la inspección de campo.

Para la evaluación inicial del desarrollo del mapa de amenaza se realiza una serie de pasos que permiten hacer la elaboración de este.

En la **Figura 5.1** se muestra el esquema metodológico general seguido para la obtención de la zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa. Esta metodología es de tipo semicuantitativo e incluye tantos factores condicionantes como detonantes, más la calibración del mapa de calificación de estabilidad por medio del mapa de inventario de movimientos y el criterio de los especialistas.

Figura 5.1 Esquema metodológico general utilizado para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa.



Fuente: UT AVR CAR, 2014

El primer paso que se realiza es la asignación y ponderación de cada parámetro que contiene cada mapa de acuerdo a la metodología SES.

El paso a seguir es la asignación de pesos por mapa, cada uno de los nueve (9) mapas que interactúan entre si y se evalúan por medio de parámetros propios.

A continuación se resume cada una de las variables, explicando los parámetros sobre los cuales se realizó la calificación y presentando los mapas que se tienen para el análisis de amenaza a fenómenos de remoción en masa:

5.2.1 Materiales - M (Puntaje Máximo: 70)

El sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad dentro de los parámetros de evaluación considera al material como el de mayor incidencia en la estabilidad de una zona o región. Su valoración en términos cualitativos se hace en función de la litología: Roca, material intermedio y suelo; para esta evaluación y de acuerdo a la información capturada en campo, se establecen dos tipos de materiales:

- ✓ Rocas
- ✓ Suelos y depósitos

Para cualquier tipo de material la calificación máxima de estabilidad es 70 la cual indica un material de excelentes condiciones y alto grado de estabilidad, por el contrario un material que califica como 1 presenta un comportamiento asociado a procesos de inestabilidad y de condiciones geotécnicas poco favorables a la estabilidad.

En rocas una calificación de 70 indica una alta resistencia como macizo rocoso, dada por su litología, bajo grado de meteorización, masivo (poco fracturado) y con una matriz de alta resistencia. Por el contrario, una calificación de 1 indica un material de resistencia baja, alto grado de meteorización y muy fracturado cuyo comportamiento está cercano a un detrito o un material no consolidado.

En suelos y depósito una calificación de 70 indica un material de buenas condiciones geomecánicas y que presenta un bajo grado de inestabilidad asociado a su estructura, composición, grado de compactación y humedad.

Enseguida se efectúa una descripción general de las calificaciones dadas a cada uno de los parámetros obtenidos en los materiales geológicos cuyo soporte y método de obtención se presenta en el capítulo de geología.

5.2.1.1 Roca

El material tipo roca se valora de acuerdo con su origen y textura (litología), resistencia del material rocoso la cual se establece a partir de su composición básica, así como su condición de fracturamiento de y grado de meteorización, que define finalmente el comportamiento del macizo. Los anteriores parámetros están estrechamente relacionados con la dureza la cual permite conocer la resistencia que opone una roca a la acción puntual; en ocasiones se define como la resistencia que ella ofrece a ser penetrada por un objeto duro. Los datos obtenidos del trabajo de campo y la metodología se presentan en el capítulo de geología.

Las variables mínimas que se tuvieron en cuenta para la caracterización y posterior calificación de las unidades de roca fueron:

- Origen
- Textura
- GSI
- Jv
- Grado de meteorización
- Clasificación

En la **Tabla 5.2** se presentan los valores de calificación de cada uno de los parámetros usados y la clasificación de la roca asociada a los mismos, para el caso de Zipaquirá solo se tienen dos unidades de roca intermedia cartografiada que arroja los resultados que se presentan en la **Tabla 5.3**.

Tabla 5.2 Niveles de calificación de estabilidad para las diferentes variables para la unidad de roca

Textura	Calificación estabilidad	GSI	Calificación estabilidad	Jv	Calificación estabilidad	Grado de meteorización	Calificación estabilidad	Clasificación de la unidad
Cristalítica clástico	10	55 - 80	40	<3 fr/m ³	10	I - II	10	Dura
Cristalina	5	35 - 55	20	3-30 fr/m ³	5	III - IV	5	Intermedia
		10 - 35	12	>30 fr/m ³	0	V	0	Blanda

Fuente: UT AVR CAR, 2014

Tabla 5.3 Calificación de estabilidad para las diferentes variables para la unidad de roca en el Municipio Zipaquirá

UGS	Origen	Textura	Cal	GSI	Cal	Jv	Cal	Grado de meteorización	Cal	Clasificación de la unidad	Grado de fractura.	CAL TOTAL
Rib	Sedimentario	Clástica	10	45	20	23 fr/m ³	5	IV	5	Intermedia	Fracturada	40
Ric	Sedimentario	Clástica	10	52	20	28 fr/m ³	5	III	5	Intermedia	Fracturada	40

Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.2.1.2 Suelos y material intermedio

Para los suelos y el material intermedio se valora el origen del material, su estructura, la consistencia o densidad respectiva al material predominante en la matriz, la humedad y el espesor promedio del mismo. Es importante entender que estos parámetros son cualitativos y referidos al control de campo efectuado, ya que no se han efectuado trabajos de exploración directa e indirecta que permitan caracterizar las condiciones geomecánicas. Se consideran dentro de esta categoría los suelos residuales y los depósitos transportados y traslocados. La **Tabla 5.4** presenta las variables mínimas para efectuar la calificación de estabilidad en suelos y depósitos y los niveles de calificación de la misma y la **Tabla 5.5** presentan las calificaciones obtenidas para el Municipio Zipaquirá. Los datos básicos o caracterización geomecánica cualitativa para cada unidad presente en el municipio se muestran en el capítulo de geología.

Dentro de este grupo de materiales por su comportamiento geomecánico se consideran como suelos residuales, depósitos lacustres, llenos antrópicos y los depósitos transportados y traslocados de diferente tipo.

Tabla 5.4 Niveles de calificación de estabilidad para las diferentes variables para la unidad de suelos y depósitos

Origen	Cal	Estructura	Cal	Consistencia (finos)	Cal	Densidad (granular)	Cal	Humedad	Cal	Espesor (mts)	Cal
Residual	6-20	Clasto Soportado	5	Dura	32	Alta	35	Alta	0	0 - 1.0	5
Transportado	2-20	Matriz Soportado	2	Media	20	Media	22	Media	3	1.0-3.0	3
				Blanda	8	Baja	11	Baja	5	> 3.0	2

Fuente: UT AVR CAR, 2014

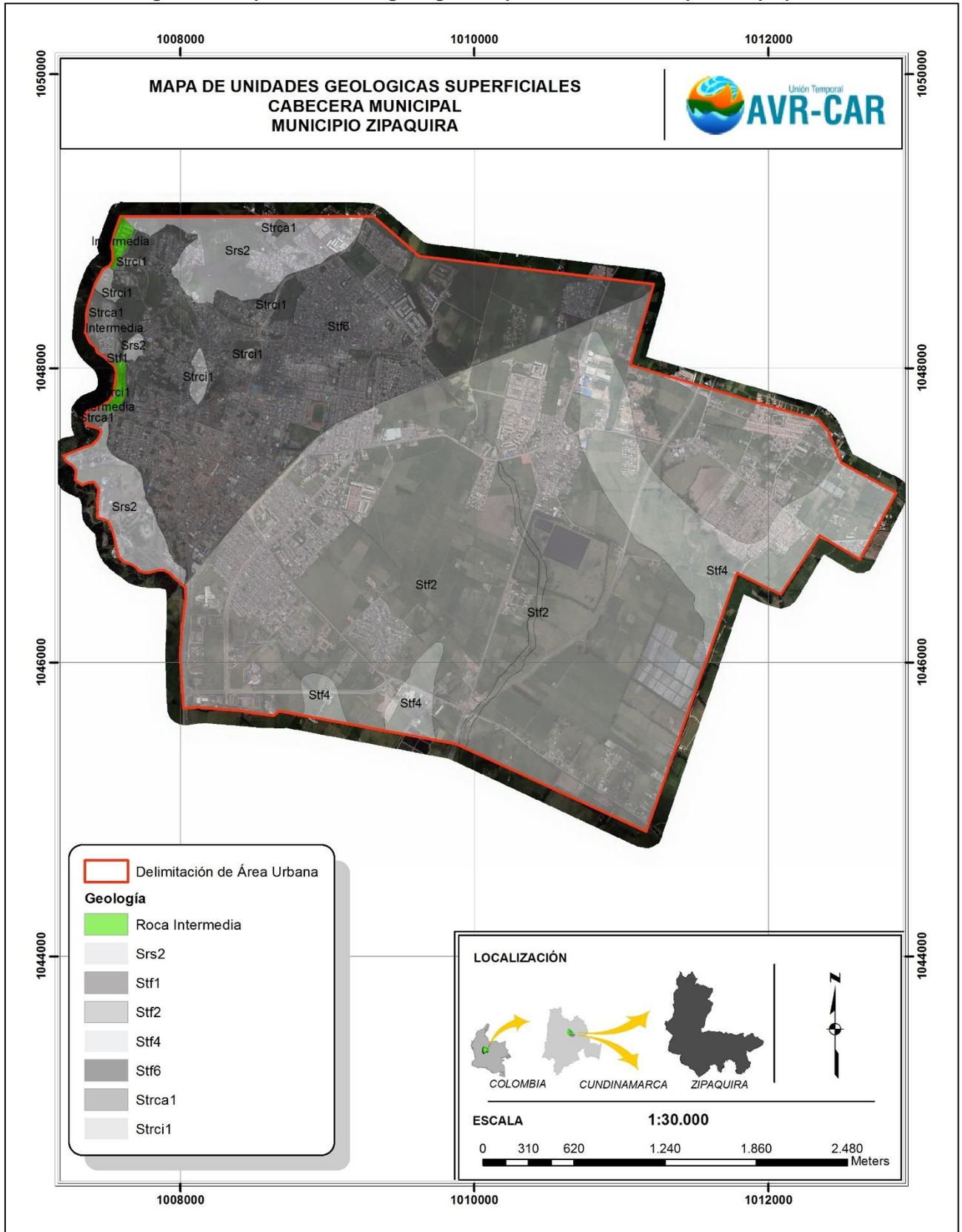
Tabla 5.5 Calificación de estabilidad para las unidades de suelos y depósitos presentes en el Municipio Zipaquirá

COD	Descripción	CAL	Origen	Estructura	CAL	Consistencia	CAL	Densidad	CAL	Humedad	CAL	Espesor	CAL	CAL FINAL
Srs2	Suelo Residual	15	Residual	Matriz soportada	2	Media	20	NA	0	Baja	5	> 3.0	2	44
Strca1	Suelo Transportado	4	Coluvial	Matriz soportada	2	Media	20	NA	0	Baja	5	1.0-3.0	3	34
Strci1	Suelo Transportado	12	Coluvial	Matriz soportada	2	Media	20	NA	0	Baja	5	1.0-3.0	3	42
Stf1	Suelo Transportado	18	Fluvial	Matriz soportada	2	Media	20	NA	0	Alta	0	1.0-3.0	3	43
Stf2	Suelo Transportado	20	Fluvial	Matriz soportada	2	Media	20	NA	0	Baja	5	1.0-3.0	3	50
Stf3	Suelo Transportado	15	Fluvial	Clasto soportado	5	NA	0	Media	22	Baja	5	> 3.0	2	49
Stf4	Suelo Transportado	18	Fluvial	Clasto soportado	5	NA	0	Baja	11	Baja	5	1.0-3.0	3	42
Stf6	Suelo Transportado	18	Fluvial	Clasto soportado	5	Media	20	NA	0	Baja	5	1.0-3.0	3	51
Strae	Suelo transportado	3	Antrópico	Matriz soportada	2	Media	20	NA	0	Baja	5	1.0-3.0	3	33

Fuente: UT AVR CAR, 2014

La calificación de este parámetro se realizó a partir del mapa de UGS presentado previamente y que se muestra en la Figura 5.2.

Figura 5.2. Mapa de unidades geológicas superficiales del municipio de Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.2.2 Factor antrópico (A) – puntaje máximo: 45

La intervención del hombre genera modificaciones sobre el medio físico que en general son contribuyentes o detonantes de procesos de inestabilidad del terreno; para esta evaluación se han considerado las principales actividades observadas en la zona de estudio y que pueden ser cartografiadas al nivel de escala la que se tiene. Las principales actividades que se han involucrado en la evaluación son:

- Actividad minera
- Zonas de corte
- Zonas de relleno
- Zonas que presentan obras de estabilización

En la **Tabla 5.6** se presentan las variables que se han tenido en cuenta para la calificación de estabilidad y su valoración; este parámetro se obtiene de la cartografía geomorfológica en la cual se identifican las zonas mineras, geoformas asociadas a llenos, cortes y las obras de estabilización. Para el Municipio Zipaquirá en la Tabla 5.7 se presentan los resultados de dicha valoración.

Tabla 5.6 Niveles de calificación de estabilidad para variables referidas al factor antrópico

Nivel de influencia	Descripción	Valor		CAL FINAL
		Mín	Máx	
Severa	Zonas mineras (canteras) (Aem)	0	20	10
Fuerte	Rellenos antrópicos (Stla)	20	35	25
Fuerte	Cortes (Ae)	20	35	25
Positiva	Obras de estabilización	40	50	45
Media	Otras zonas			15

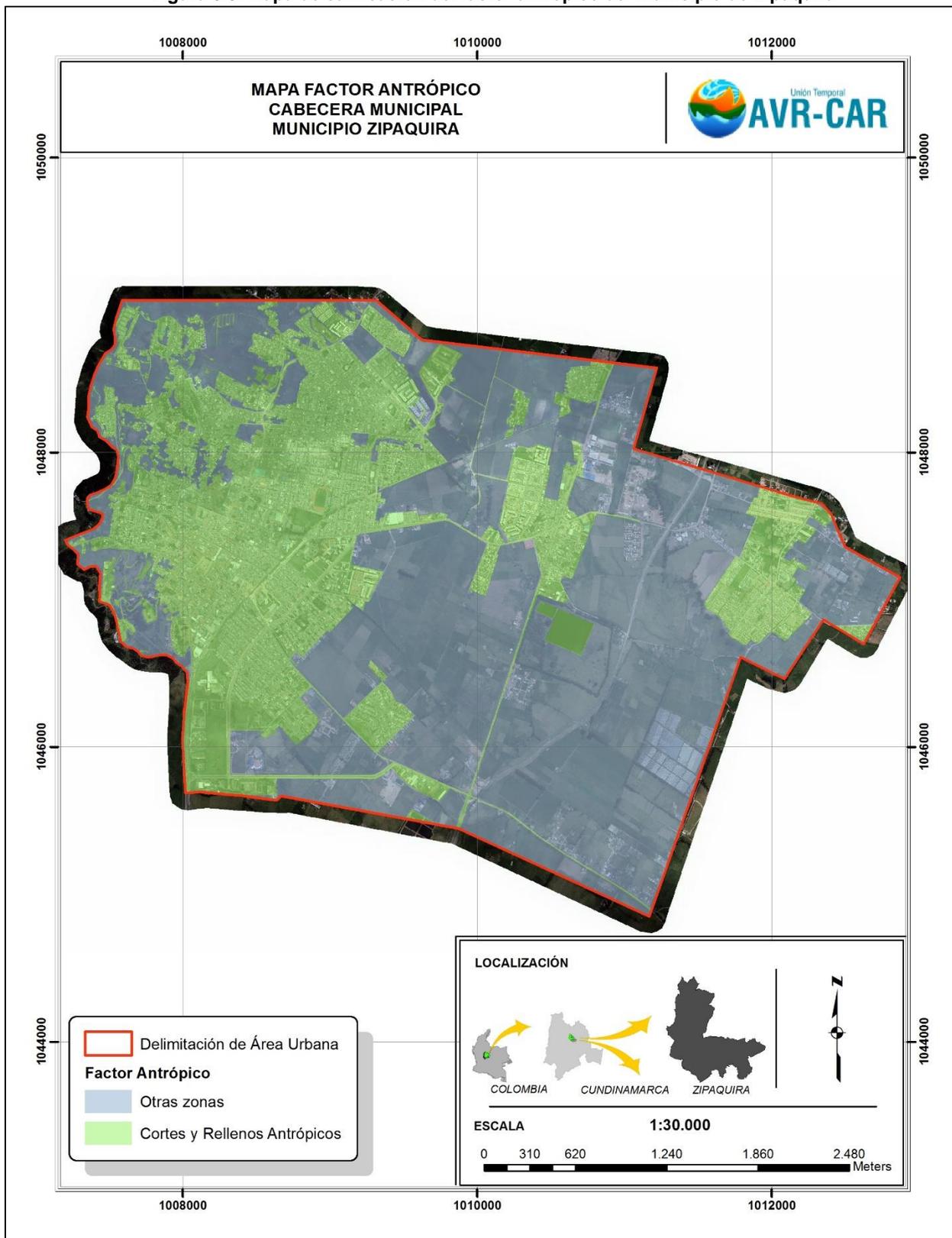
Tabla 5.7 Niveles de estabilidad para factor antrópico en el Municipio Zipaquirá

Nivel de influencia	Descripción	Valor		CAL FINAL
		Mín	Máx	
Fuerte	Rellenos antrópicos (Stla)	20	35	25
Fuerte	Cortes (Ae)	20	35	25
Media	Otras			15

Fuente: UT AVR CAR, 2014

En la Figura 5.3 se muestra el mapa de calificación del factor antrópico.

Figura 5.3. Mapa de calificación del factor antrópico del municipio de Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.2.3 Relieve (R) – puntaje máximo: 36

La condición de estabilidad de una ladera está asociada en términos de relieve, a las características morfométricas y a los procesos morfodinámicos actuantes sobre ellas. Por lo tanto la pendiente de las laderas es un factor primordial en la evaluación de la estabilidad de las mismas. La evaluación del parámetro relieve parte del modelo morfológico de una vertiente propuesto por Dalrymple *et al* (1962), modificado para este proyecto y relacionadas básicamente a la generación de procesos de inestabilidad asociadas a laderas. En la **Tabla 5.8** se presentan los valores de calificación de estabilidad propuestos para esta variable; éste parámetro se obtiene a partir de la cartografía base.

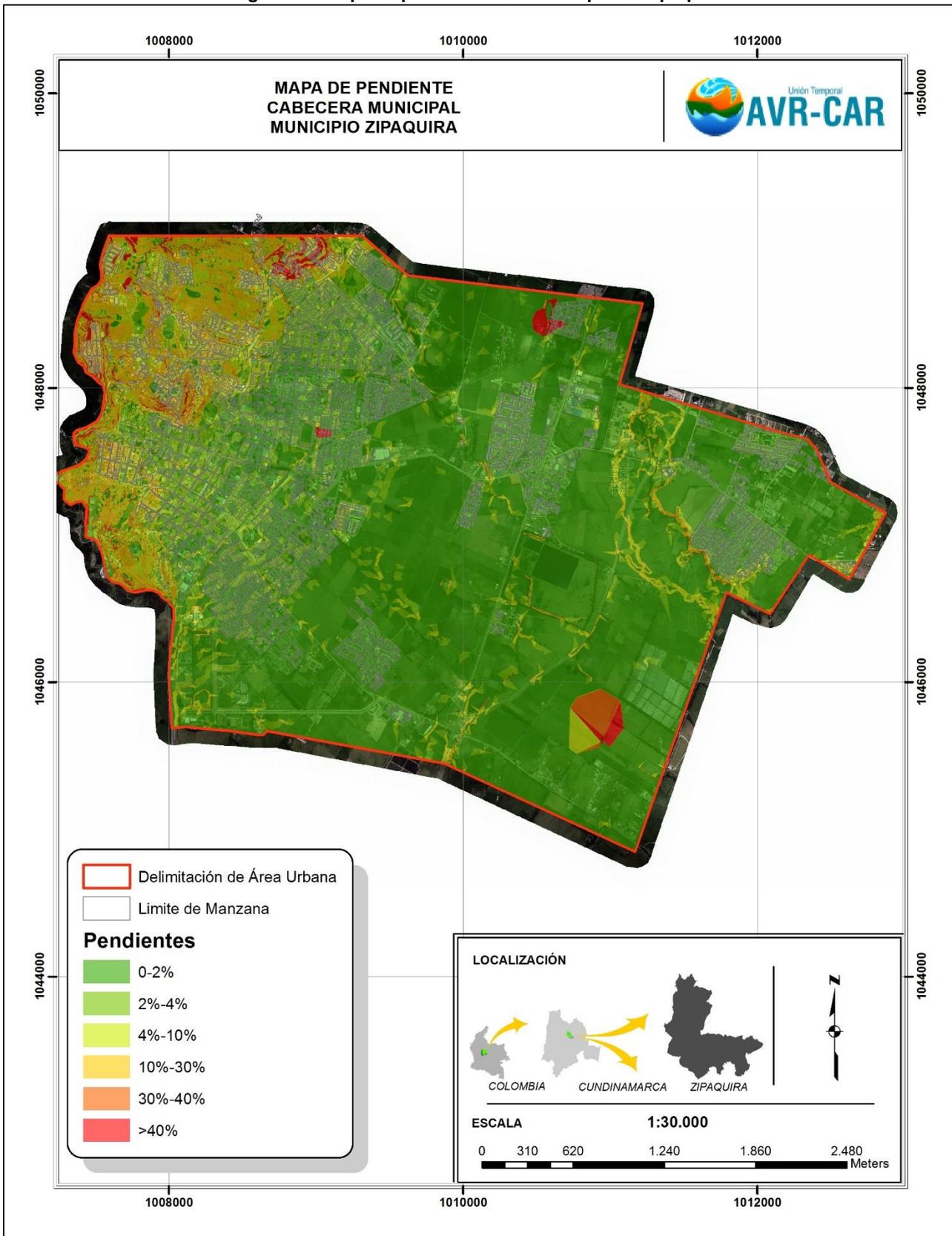
Tabla 5.8 Niveles de estabilidad para factor relieve en el Municipio Zipaquirá

CAL ESTAB	Pendiente
36	0-2
25	2-4
20	4-10
15	10-30
9	30-40
7	> 40

Fuente: UT AVR CAR, 2014

En la Figura 5.4 se presenta el mapa correspondiente a esta calificación, donde se puede observar que el municipio de Zipaquirá se encuentra en su mayor parte en pendientes que no superan el 4%, pero que en la parte occidental presenta pendientes mayores.

Figura 5.4. Mapa de pendientes del municipio de Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.2.4 Drenaje (D) – puntaje máximo: 35

El parámetro drenaje se evalúa para este trabajo mediante la densidad de drenaje referida a la densidad en longitud de drenajes m por m², para efectuar este trabajo se construye una malla de 20 x 20 m² en la zona urbana y de expansión urbana, posteriormente cada recuadro de la malla es codificado y se cruza con la información de drenajes del área en estudio lo cual define la densidad de drenaje en cada zona. El puntaje de estabilidad varía entre 35 puntos para un área con densidad alta y 6 puntos para las condiciones opuestas tal como se observa en la **Tabla 5.9**. Este parámetro se obtiene a partir de la cartografía base.

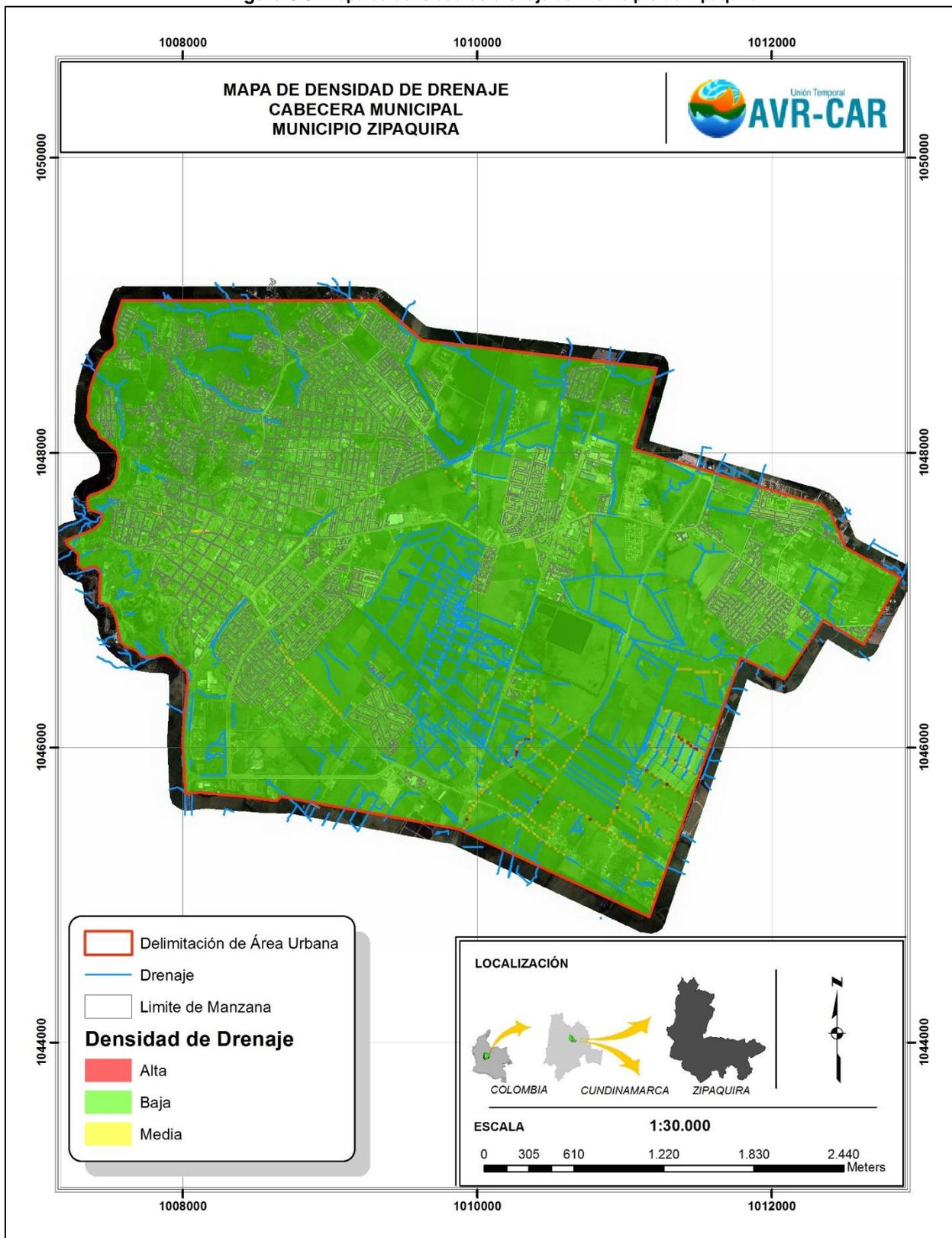
Tabla 5.9 Valores de calificación de estabilidad para drenaje

Densidad de drenaje (m / m ²)		
Alta	Media	Baja
35	19	6

Fuente: UT AVR CAR, 2014

En la Figura 5.5 se presenta el mapa de calificación de densidad de drenaje para el municipio de Zipaquirá. La calificación de esta variable para el municipio es baja debido a que en el área urbana se encontraron pocos drenajes que presentan caudales bajos.

Figura 5.5. Mapa de densidad de drenaje del municipio de Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.2.5 Uso del suelo y cobertura (U) – puntaje máximo: 25

La cobertura del suelo se constituye en un factor determinante en las condiciones de estabilidad de una ladera, particularmente en lo referente al control de la erosión e infiltración de aguas de escorrentía. Para el trabajo que se está desarrollando particularmente se considera que las zonas duras o zonas cubiertas generan áreas impermeables o semipermeables dependiendo si la cobertura impide parcial o totalmente el paso del agua a los estratos inferiores lo cual es favorable a la estabilidad, del mismo modo las zonas verdes de tipo pastos, rastrojos, cultivos o permiten una mayor entrada de agua factor negativo para la estabilidad; en el caso de los bosques ellos actúan como barrera para la entrada de agua, por lo tanto su efecto es el de mayor favorabilidad a la estabilidad.

En este contexto la calificación de estabilidad se efectúa para áreas duras asociadas a coberturas impermeables o semipermeables y zonas verdes asociadas a bosques y zonas verdes asociadas a pastos, rastrojos, cultivos, etc. Con base en este criterio se aplicó los criterios y puntajes de estabilidad propuestos en la **Tabla 5.10**. Este parámetro se obtiene a partir de la reclasificación del mapa de uso urbano que se describe en el capítulo de vulnerabilidad.

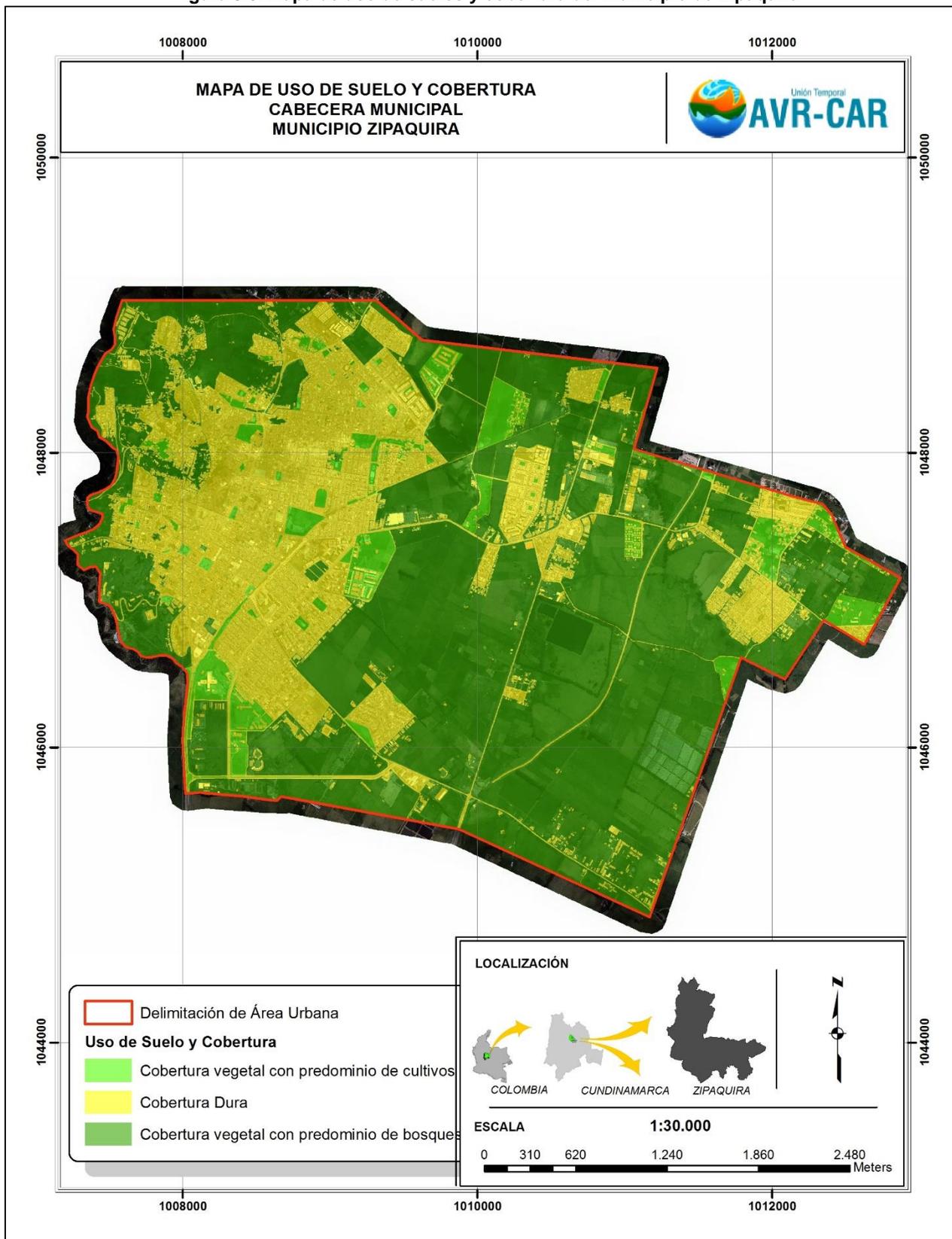
Tabla 5.10 Puntajes de estabilidad parámetro uso del suelo y cobertura (U)

Cobertura	CAL ESTB
Cobertura vegetal con predominio de cultivos permanentes, pastos o cultivos limpios	14
Cobertura vegetal con predominio de bosques en áreas de expansión	25
Cobertura dura	20

Fuente: UT AVR CAR, 2014

En la Figura 5.6 se presenta el mapa de uso del suelo y cobertura del casco urbano del municipio de Zipaquirá, donde se observa que en la franja oriental se evidencia cobertura vegetal con predominio de bosques y en la franja occidental cobertura dura.

Figura 5.6. Mapa de uso de suelos y cobertura del municipio de Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.2.6 Clima (C) – puntaje máximo: 32

La valoración del parámetro clima se realiza en función de la precipitación, por considerar que las lluvias en la mayoría de los casos actúan como factor detonante de los eventos de inestabilidad.

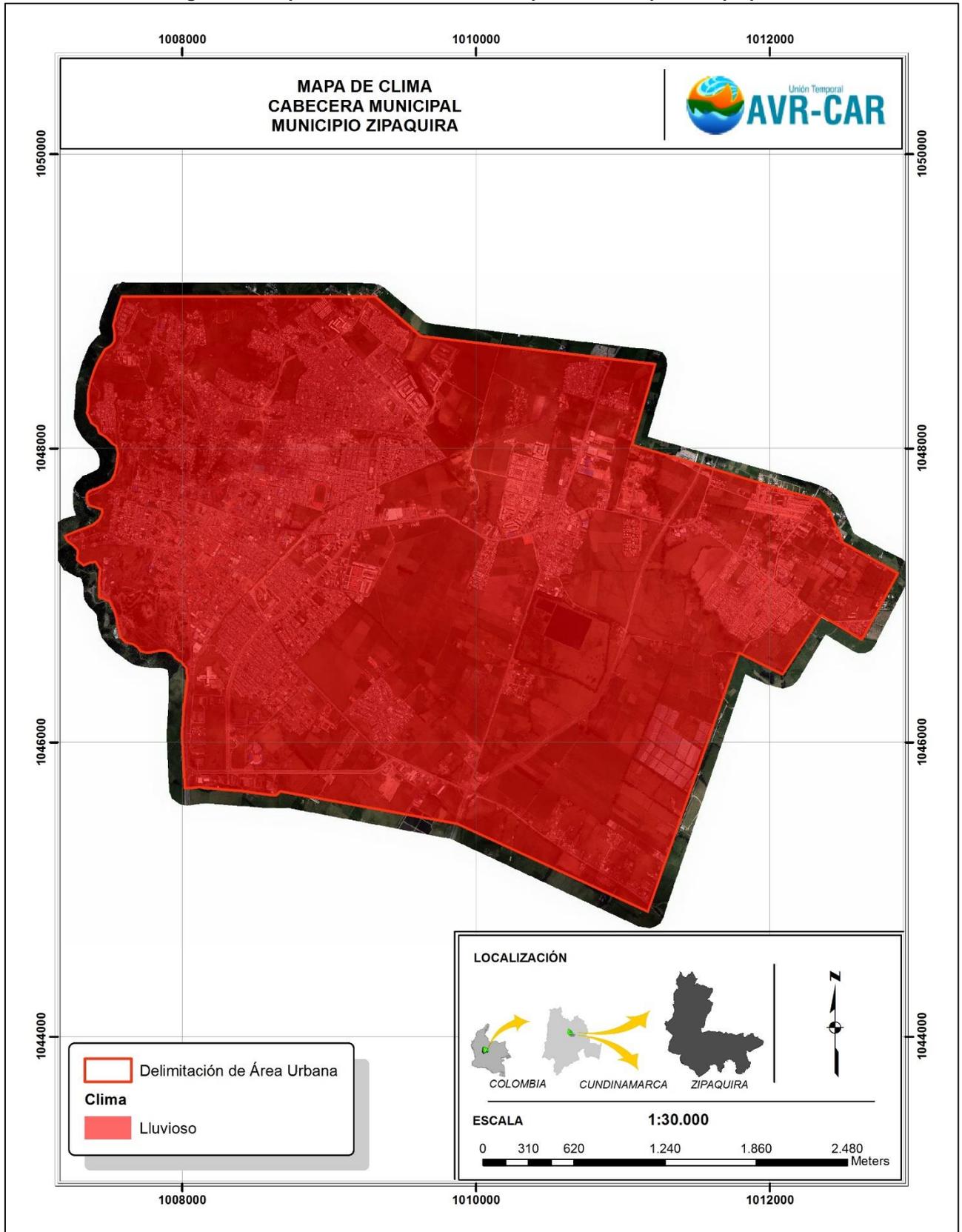
La zonificación del parámetro lluvia se realiza con base en el análisis de precipitación basado en los datos generados por las isoyetas de precipitación, dado que no se tiene la información necesaria para evaluar la lluvia crítica, esto es los datos de eventos o procesos de inestabilidad asociados a las lluvias ocurridas. Por lo tanto se califica este parámetro con base en las isoyetas de precipitación para periodos de retorno de 12.5 y 50 años, entendiendo que períodos de retorno menores se asocian a mayores intensidades en las lluvias. Así, los sectores más críticos se definen donde los períodos de retorno son menores, es decir la posibilidad que se presente la lluvia precedente es mayor, y viceversa. La cuantificación del parámetro clima se definió como se muestra en la **Tabla 5.11** y **Figura 5.7**. En ausencia de datos de lluvias debe emplearse la segunda columna. El cálculo de las isoyetas se presenta en el capítulo de hidrología.

Tabla 5.11 Calificación de estabilidad para el parámetro clima (precipitación)

Período de retorno (años)	Descripción	Clasificación	Puntaje
12.5	Lluvioso	Alta	9
50	Entre lluvioso y seco	Media	32

Fuente: UT AVR CAR, 2014

Figura 5.7. Mapa de clasificación del clima para el municipio de Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.2.7 Erosión (E) – puntaje máximo: 12

La evaluación de la erosión, como detonante en la generación de movimientos en masa, dentro de la metodología, es un parámetro que requiere ser ajustado según las características del área de estudio. Por lo tanto para su valoración se tiene en cuenta tanto la naturaleza del tipo de erosión (surcos, cárcavas, tierras malas y socavación), como su proximidad a cauces e influencia como posible desencadenante de movimientos en masa; así, se le asignó el mayor peso a los procesos de socavación de cauces, tal como se indica en la **Tabla 5.12**. Este parámetro se obtiene a partir de la cartografía geomorfológica.

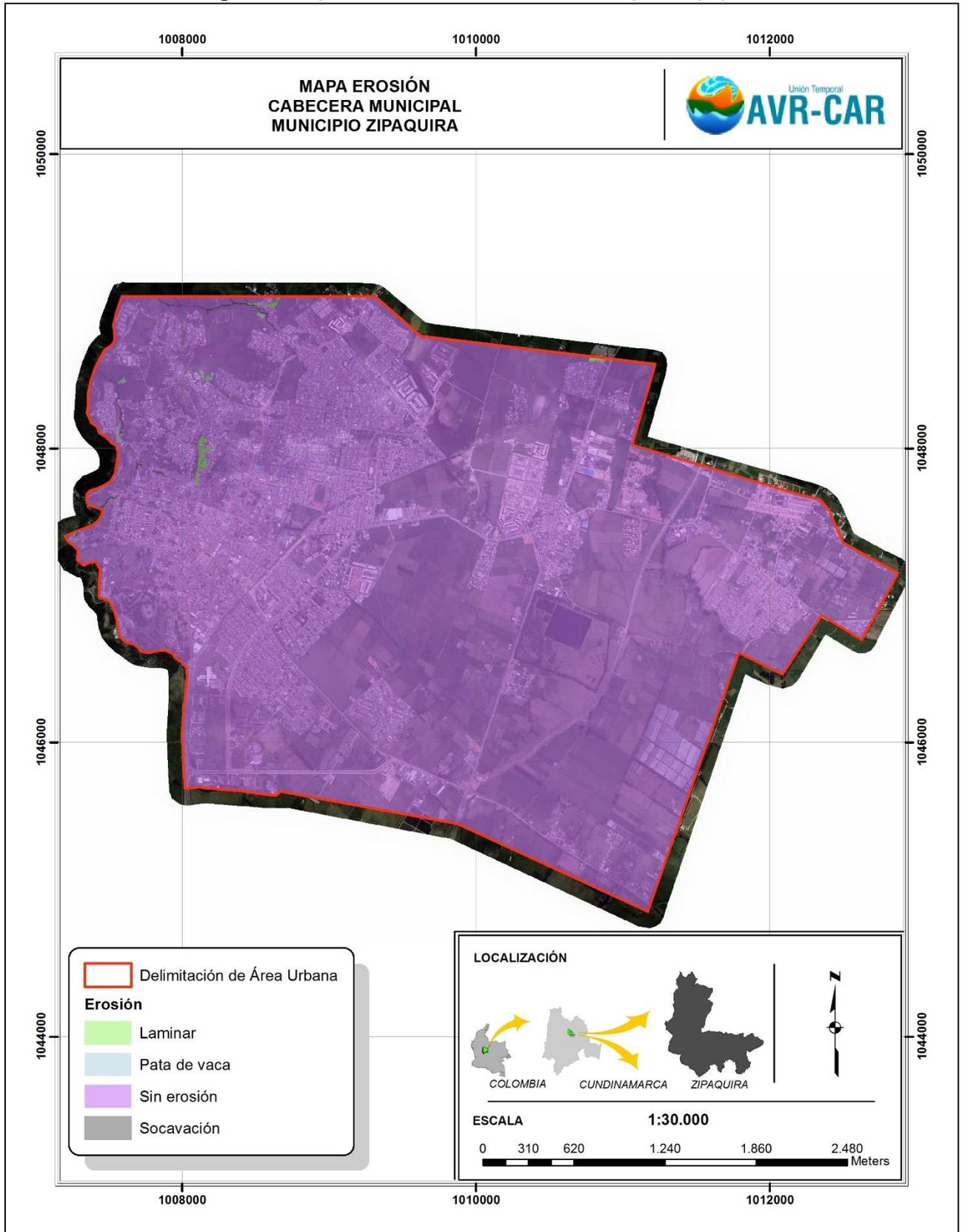
En la Figura 5.8 se muestra el mapa de calificación de la Erosión del casco urbano del municipio de Zipaquirá que en su mayor parte se encuentra sin erosión.

Tabla 5.12 Asignación puntaje de estabilidad al material

Tipo de erosión	E
Sin erosión	12
Laminar	10
Diferencial (surcos)	8
Patas de vaca	6
Tubificación	5
Concentrada (cárcavas)	4
Socavación	3

Fuente: UT AVR CAR, 2014

Figura 5.8. Mapa de calificación de la erosión del municipio de Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.2.8 Sismicidad (S) – Puntaje Máximo: 13

5.2.8.1 Análisis del detonante sismo

Los taludes se encuentran en estados que van desde muy estables a marginalmente estables. Cuando un sismo ocurre induce un movimiento del terreno a menudo suficiente para causar fallas a taludes que están marginalmente a moderadamente estables antes del sismo. Los daños resultantes pueden ser desde insignificantes a catastróficos dependiendo de la geometría y de las características del material del talud.

Estos antecedentes evidencian la necesidad de incluir el factor detonante sismo en la evaluación de la estabilidad de taludes. Para la aplicación del método definido para este estudio, el factor se puede incluir como un valor de aceleración máxima horizontal en análisis de tipo pseudoestático. Estos valores son obtenidos de acuerdo con los resultados del estudio de evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia (INGEOMINAS & U. Nacional, 2010), en que se ha empleado el método probabilístico, para el cual se han realizado investigaciones geológicas, neotectónicas, sismológicas y de ingeniería sísmica. Los cálculos se han realizado mediante el uso del programa de computador Crisis (Ordaz et al, 2009), el cual tiene en cuenta los aspectos de geometría, recurrencia y ley de atenuación, así como los parámetros de probabilidad de excedencia y tiempo de exposición, definidos según la normatividad sismorresistente vigente (NSR10).

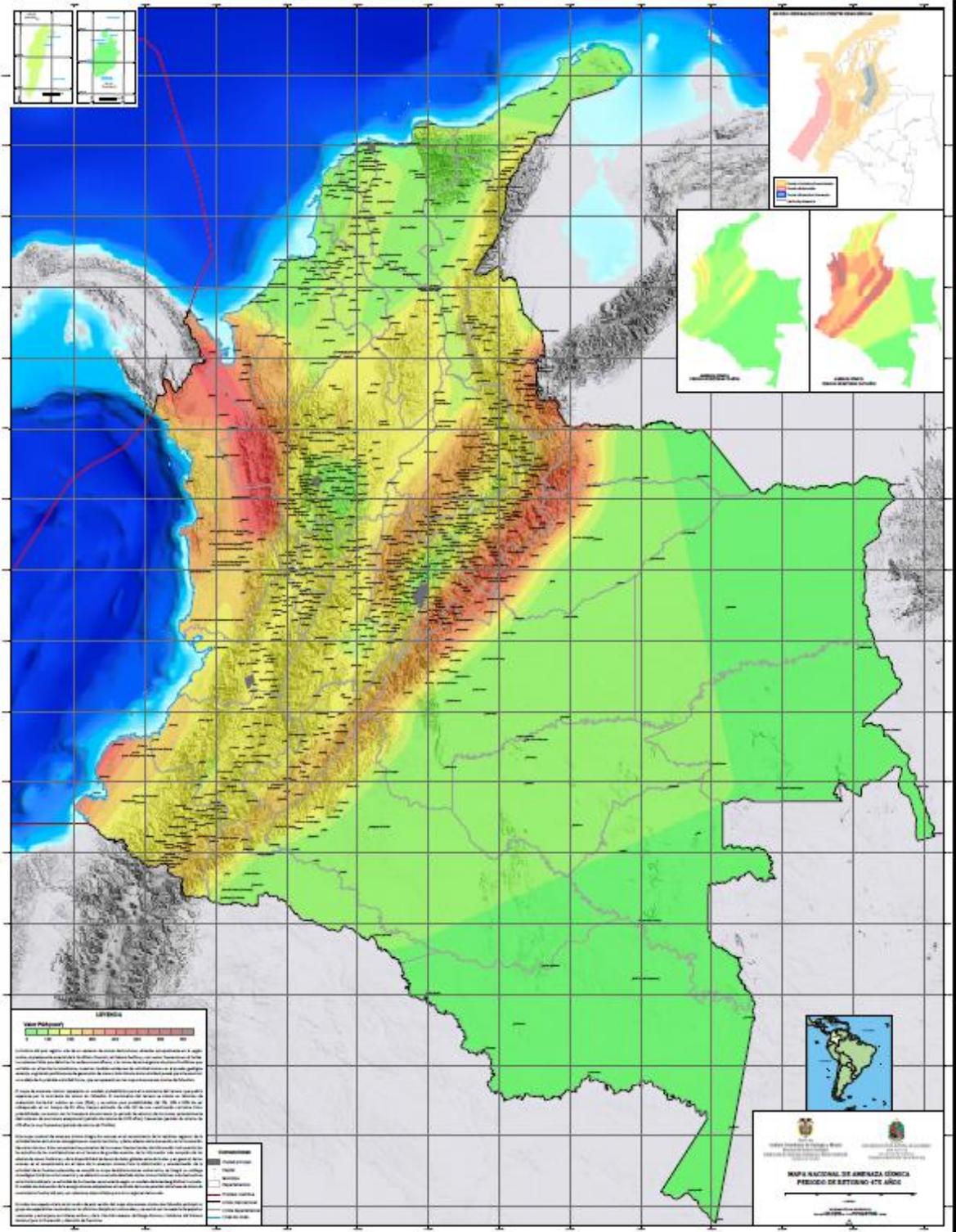
Este detonante fue calculado a partir de los valores de PGA a nivel de roca (aceleración máxima del terreno, en unidad de gales), correspondientes a un periodo de retorno de 475 años. En la Figura 5.9 se presenta el detonante sismo con los valores de aceleración para Colombia, en donde se localiza la zona de estudio. Como se puede observar, la zona de estudio se encuentra dentro de un mismo valor de PGA (100 – 150 cm/s²). Dado que la zona en estudio se ubica en zona de amenaza sísmica intermedia se adopta como valor de aceleración pico efectiva 0,15 g. Con base en lo anterior la calificación de estabilidad se presenta en la Tabla 5.13 y Figura 5.10.

Tabla 5.13 Asignación puntaje de estabilidad para sismicidad

Az sísmica	CAL EST
Tipo de material	Az 0,15
Roca	13
Suelos y depósitos	7

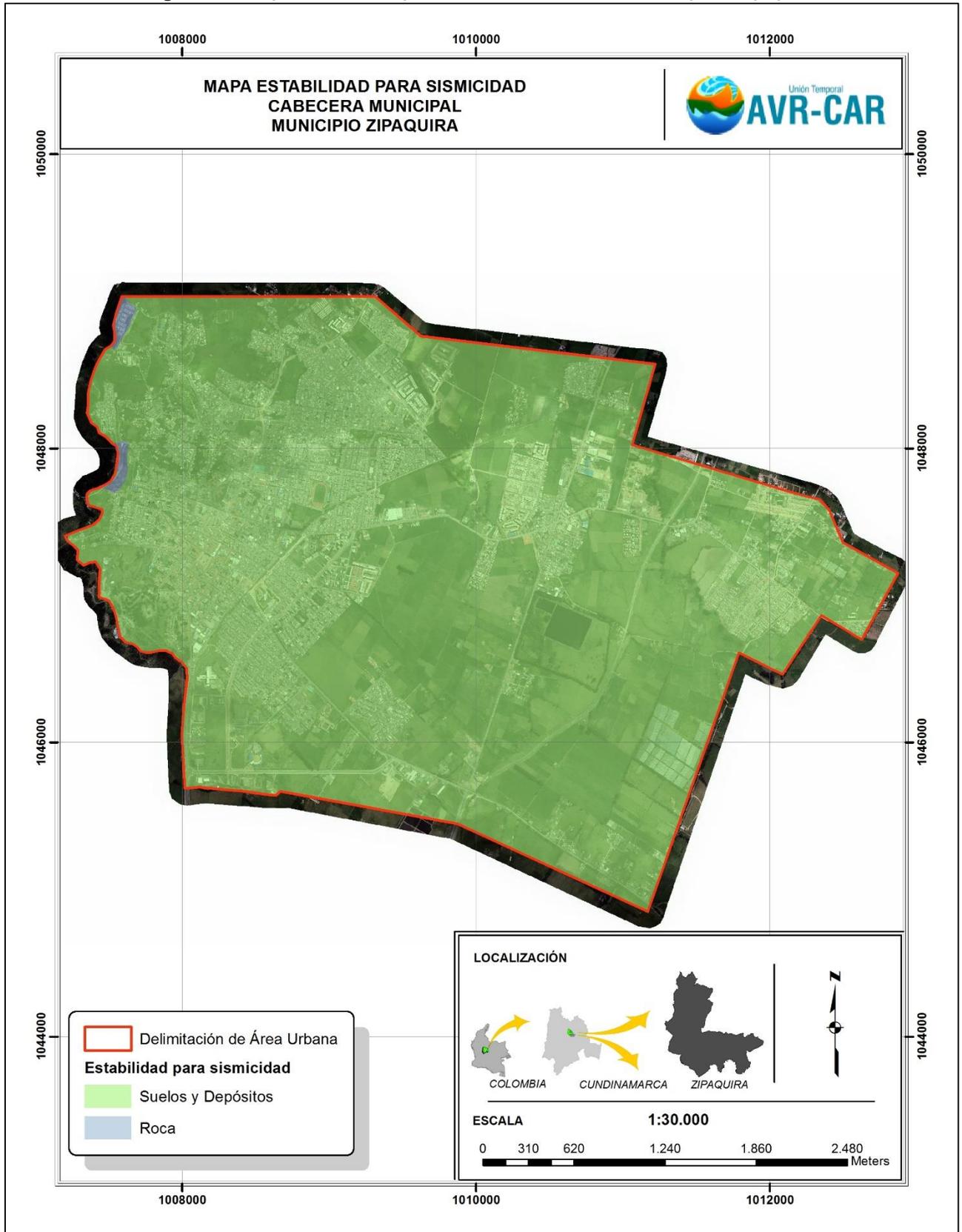
Fuente: UT AVR CAR, 2014

Figura 5.9 Detonante sismo para Colombia



Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Figura 5.10. Mapa de estabilidad para sismicidad de la cabecera municipal de Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.3 CALIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

La categoría de estabilidad en términos de niveles de amenaza y en función de la calificación de estabilidad, definida como la sumatoria ponderada de los valores de estabilidad asignados a cada parámetro, arroja las siguientes categorías de estabilidad SES dentro de los intervalos que se presentan en la **Tabla 5.14**.

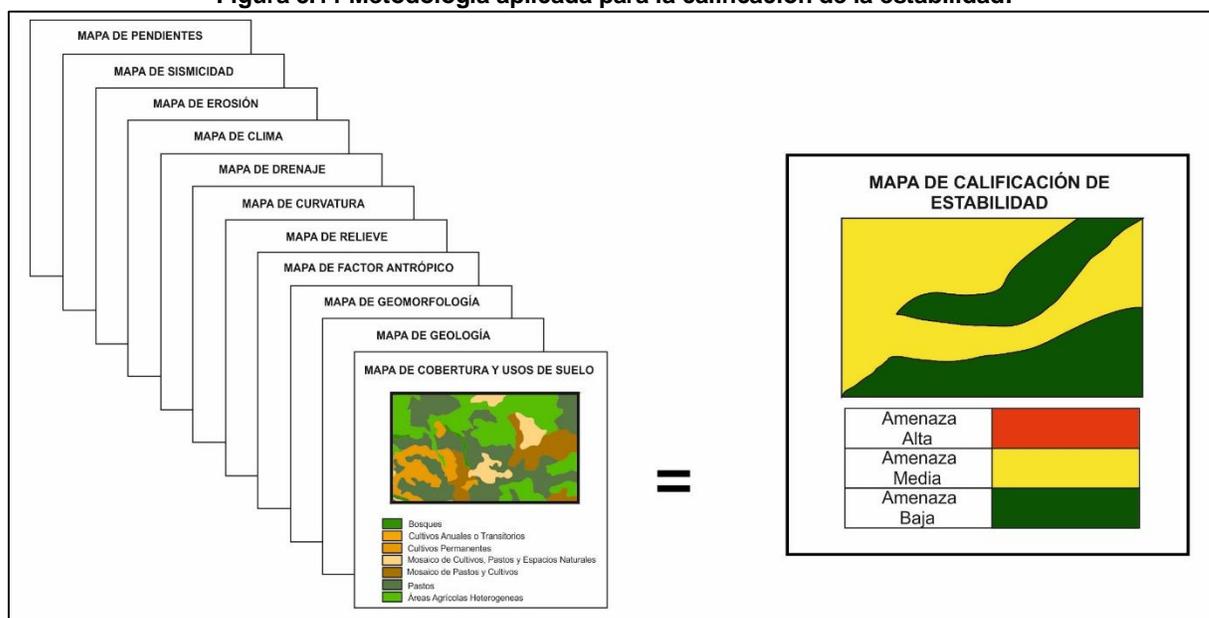
Tabla 5.14 Rangos de categorización de amenaza

Categoría de amenaza	Calificación de estabilidad (CES)
Alta	$CAL \leq 123$
Media	$123 < CAL \leq 160$
Baja	$160 < CAL$

Fuente: UT AVR CAR, 2014

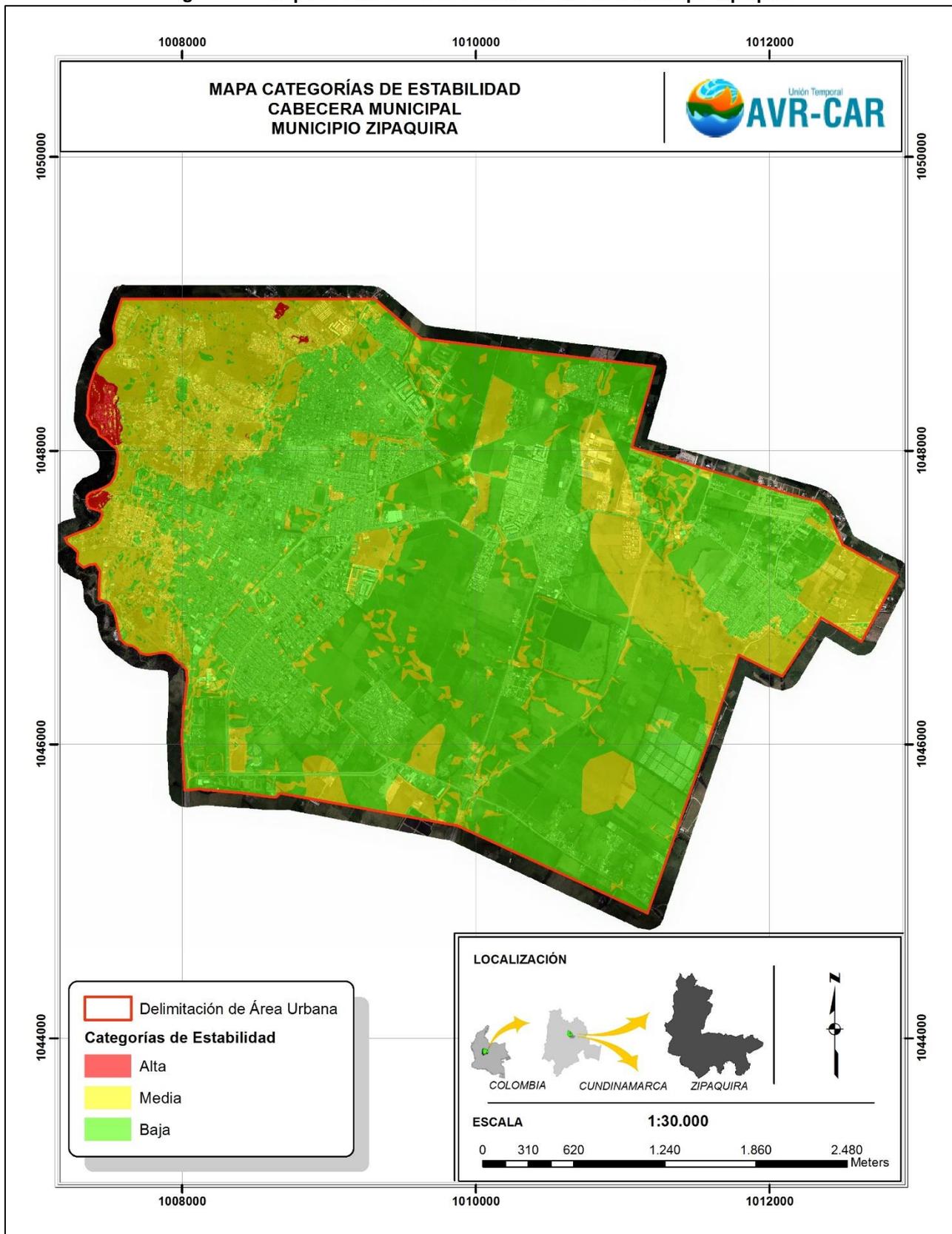
A continuación se presenta en la siguiente figura la metodología aplicada para la elaboración del mapa de calificación de estabilidad:

Figura 5.11 Metodología aplicada para la calificación de la estabilidad.



Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

Figura 5.12. Mapa de calificación de estabilidad SES en el municipio Zipaquirá



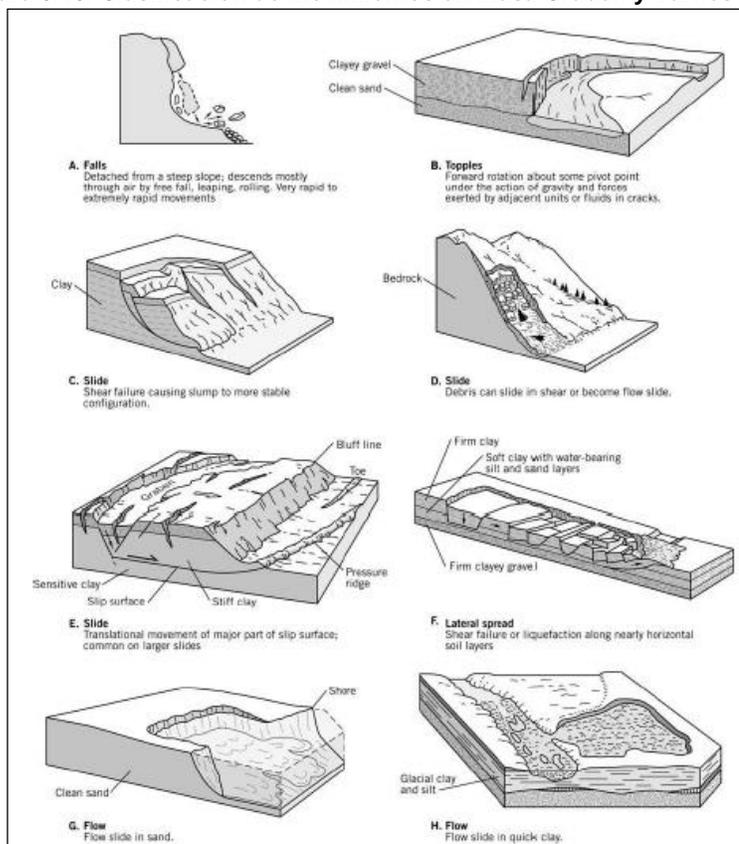
Fuente: UT AVR CAR, 2014

5.4 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

Con el fin de realizar la calibración del mapa de amenaza de áreas homogéneas, en la visita de campo se realizó un recorrido en el cual se identificaron y clasificaron los diferentes procesos que afectan la estabilidad del sitio en estudio.

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Varnes (1978), el cual tipifica los principales tipos de movimiento. En el presente estudio se presenta algunas adiciones a los procesos de movimiento identificados originalmente por Varnes, debido a que algunos deslizamientos están causados por procesos de deterioro.

Figura 5.13. Clasificación de movimientos en masa Cruden y Varnes 1978.



Fuente: Tomado y modificado de Cornforth D.H. 2005

La morfodinámica presente en el Municipio Zipaquirá está relacionada con los procesos denudativos, como: Deslizamientos, procesos de erosivos: laminar y para de vaca, caídas de roca, áreas mal drenadas, flujos de tierra y de rocas, además de la intervención antrópica, muchos de ellos debido al uso inadecuado del suelo por las actividades ganaderas.

Los procesos erosivos que se tuvieron en cuenta para llevar a cabo este trabajo se muestran en la **Tabla 5.15**.

Tabla 5.15 Tipos de erosión

Tipo de erosión
Sin erosión
Laminar
Diferencial (Surcos)
Patas de vaca
Tubificación
Concentrada (Cárcavas)
Socavación

Los movimientos en masa son los desplazamientos de masas de suelo, causados por exceso de agua en el terreno y por efecto de la fuerza de gravedad. Los movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que interfiera ostensiblemente algún medio de transporte, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras.

En el Municipio Zipaquirá se presentan varios procesos de movimientos en masa que están afectando algunos sectores del casco Urbano los que a su vez son referenciados en el mapa de geomorfología, pero sin embargo debido a la escala del trabajo en general aparecen como áreas muy pequeñas o puntos que solo permiten establecer recomendaciones puntuales.

- Barrió Primero de Mayo.

En las coordenadas 1008798 X, 1048916 Y, se observa una corona de movimiento en masa cerca de la escuela, el movimiento se presenta sobre suelos residuales arcillo-arenoso de color gris rojizo de más de 5 m de espesor, ver **Fotografía 5.1**. El movimiento ha grietado la cancha de la escuela y se observan grietas sobre la vía, presenta una dirección S45°W, y del talud N50°W.

Fotografía 5.1 Detalle de corona contra las instalaciones de la escuela en el Barrió Primero de Mayo.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

En las laderas moderas a empinadas aledañas al movimiento se presentan procesos erosivos laminares (**Fotografía 5.2**), estas laderas están conformadas por suelos residuales de la formación Bogotá.

Fotografía 5.2 Laderas afectadas por erosión.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

- Barrió Bosques de Silena.

Detrás de la casa de la señora Hilma González en el Barrió Bosques de Silena se puede observar, como por la inestabilidad del material y la topografía del área ha generado movimientos en masa locales que podrían afectar de manera grave a las viviendas sino se toman las medidas respectivas. Ver **Fotografía 5.3**. El movimiento está desplazando suelos arcillosos y areno-arcillosos.

Fotografía 5.3 Detalle de desprendimiento de material parte alta del Barrió Bosques de Silena.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

- Barrio la artesa

Deslizamiento traslacional sobre suelo residual areno arcilloso de gran espesor, en el barrio la Artesa, en el que la afectación principal son las viviendas y el taponamiento de la quebrada. En este barrio se requiere atención debido a que en la pata del talud se evidencia socavación por la quebrada que pasa y podría llegar a afectar a las viviendas cercanas (**Fotografía 5.4**).

Fotografía 5.4 Movimiento en masa activo en el barrio la artesa en las coordenadas N 1047753 y E 1007254



Fuente: UT UVR CAR, 2014

Cabe mencionar que este movimiento del barrio La Artesa se encuentra fuera del casco urbano y de expansión del municipio de Zipaquirá, pero requiere atención inmediata por afectaciones a viviendas y quebrada.

- Vía que conduce de la Vereda El Alto de Águilas hacia Zipaquirá.

Movimiento en masa complejo evidenciado sobre la vía que conduce de la vereda Alto de Aguilas hacia el Municipio Zipaquirá, limitando con el barrio la Concepción, desarrollado sobre suelos residuales arcilloarenosos. Presentando una dirección de movimiento de N63°W / 40°NE. (Ver **Fotografía 5.5**)

Fotografía 5.5 Movimiento en masa activo observado en las coordenadas N 1047709 y E 1007420



Fuente: UT UVR CAR, 2014

Movimiento en masa antiguo desarrollado sobre suelo residual areno arcilloso, el cual puede presentar un proceso de reactivación por torrencialidad o socavación en la pata del talud. En este se requiere atención para evitar un proceso retrogresivo o progresivo y la afectación de las viviendas presentes en la zona. (**Fotografía 5.6**)

Fotografía 5.6. Movimiento en masa ubicado en las coordenadas N 1047648 y E 1007415.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

Movimiento antiguo observado sobre la vía que conduce de la vereda el Alto del Águila hacia al Municipio Zipaquirá, desarrollado sobre areniscas de dureza media, de color blanca y granos finos a muy finos (**Fotografía 5.7**).

Fotografía 5.7. Movimiento en masa antiguo, localizado en las coordenadas N 1047584 y E 1007383



Fuente: UT UVR CAR, 2014

- Barrio Bolívar 83

En la zona NW del casco urbano se presenta un deslizamiento que en la actualidad aparece activo, que se originó hace aproximadamente 20 años, este movimiento es de gran extensión sobre él se han construido algunas obras de mitigación como gaviones y muros, afecta principalmente el Barrio Bolívar 83 en la zona se evidencia la destrucción de 15 viviendas que actualmente están reubicadas en el Barrio el Bosque, este movimiento en masa se generó sobre un depósito coluvial adecuado para la expansión urbana, dada las condiciones del terreno esta zona es considerada como de Alto Riesgo amenazando gran parte de sus moradores, viviendas y obras de infraestructura (**Fotografía 5.8**).

Fotografía 5.8 Panorámica del Barrio Bolívar 83 en coordenadas N 1048430 y E 1007406.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

5.4.1.1 Avenidas torrenciales.

En el Municipio Zipaquirá se verificaron los principales ríos y sus afluentes de manera que caracterizaran los procesos de torrencialidad, en Zipaquirá se identificaron procesos torrenciales sobre los ríos Negro y El Gavilán que atraviesan el casco urbano, el Río Negro presenta procesos de torrencialidad e inundaciones a lo largo de su recorrido de sur a norte. Cabe destacar que este tiene varios afluentes y que en él se depositan todas las aguas residuales y de escorrentía del municipio lo que en época de invierno acelera los procesos de socavación, torrencialidad e inundaciones (**Fotografía 5.9**).

Fotografía 5.9 Socavación del Río Negro sobre suelos y áreas cercanas a Postobón.



Fuente: UT UVR CAR, 2014

En las coordenadas 1009721 X, 1048299 Y, se observa cómo debido a las inundaciones y socavación del río se están implementando obras de mitigación, esta socavación se presenta sobre suelos arcillosos de color habano (Figura 5.10).

Fotografía 5.10 Procesos de socavación de Zipaquirá.

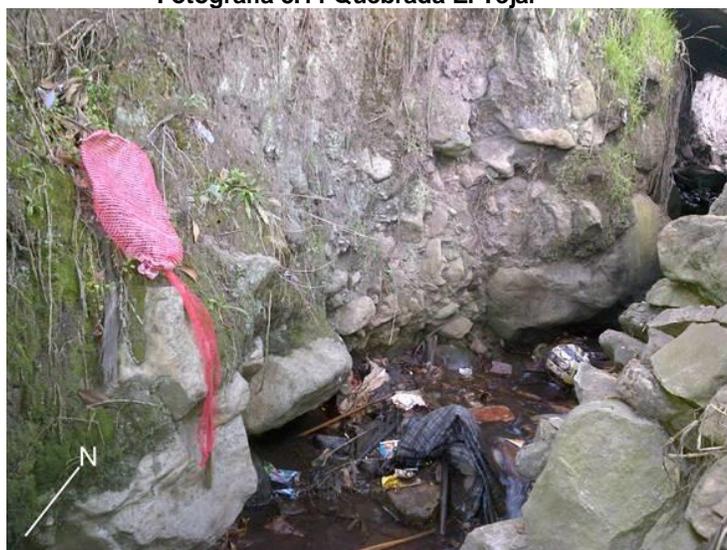


Fuente: UT UVR CAR, 2014

- Quebrada El Tejar

En coordenadas N 1048299 y E 1007553, altura 2697 se observa el paso de la Quebrada El Tejar. Esta quebrada presenta una torrencialidad alta, observándose a sus costados bloques de rocas de arenisca de gran tamaño. La comunidad del sector dice que en épocas de lluvia la quebrada arrastra gran variedad de materiales desde la parte alta y que algunas casas se han visto afectadas. Otro tema que preocupa a este sector es que algunos barrios de la parte alta arrojan las aguas servidas a esta quebrada presentando malos olores y la proliferación de plagas (**Fotografía 5.11**)

Fotografía 5.11 Quebrada El Tejar



Fuente: UT UVR CAR, 2014

En coordenadas N 1048095 y E 1007577, altura 2683 se encuentra nuevamente la quebrada El Tejar. En este punto inicia la canalización del cauce, se observa la evidencia que ha dejado en la zona el alto grado de torrencialidad que tiene la quebrada en épocas invernales. (**Fotografía 5.12**).

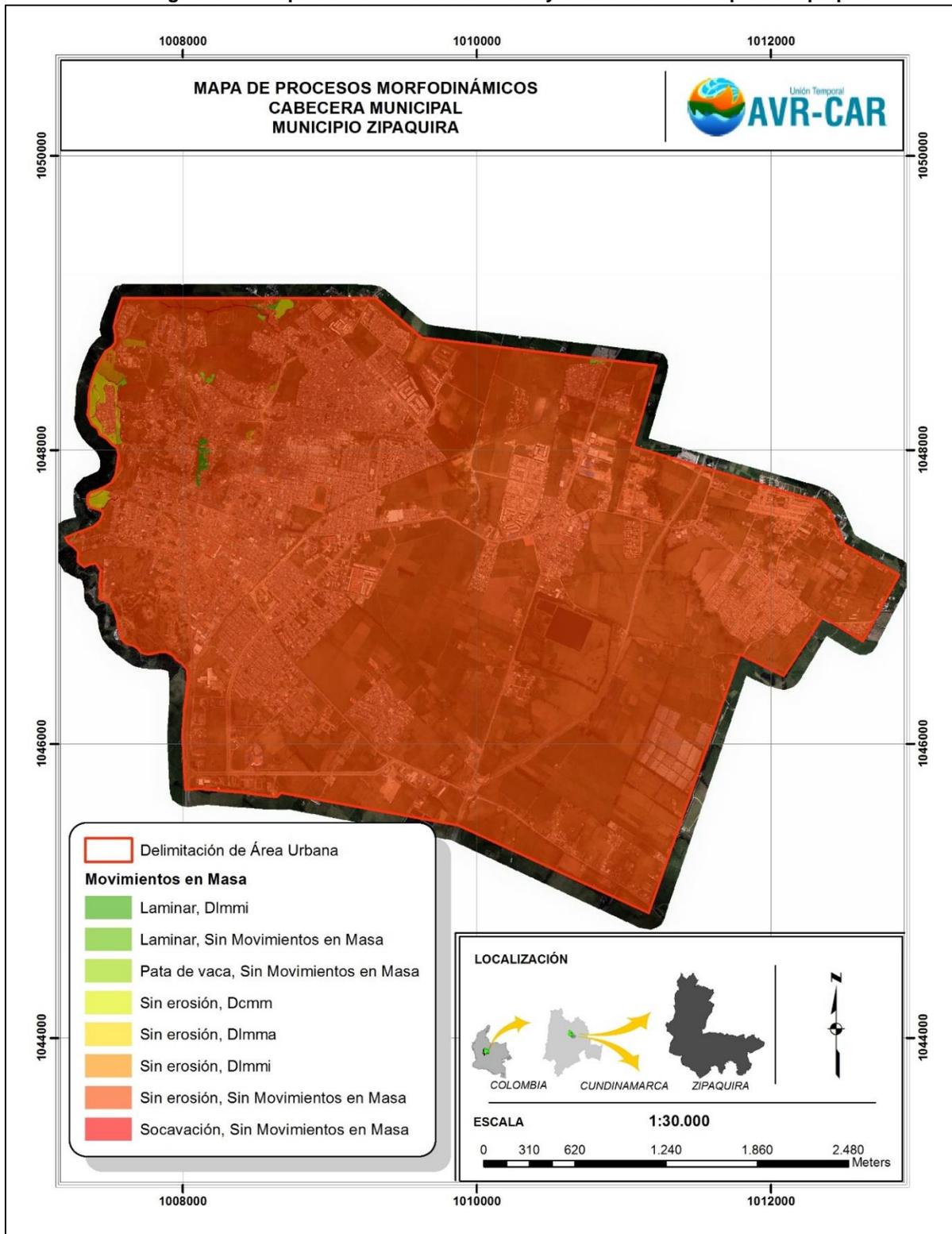
Fotografía 5.12 Inicio de la canalización de la Quebrada El Tejar



Fuente: UT UVR CAR, 2014

En la **Figura 5.14** se presenta el mapa de procesos morfodinámicos, el cual incluye los movimientos en masa y los diferentes tipos de erosión.

Figura 5.14. Mapa de movimientos en masa y erosión del municipio de Zipaquirá

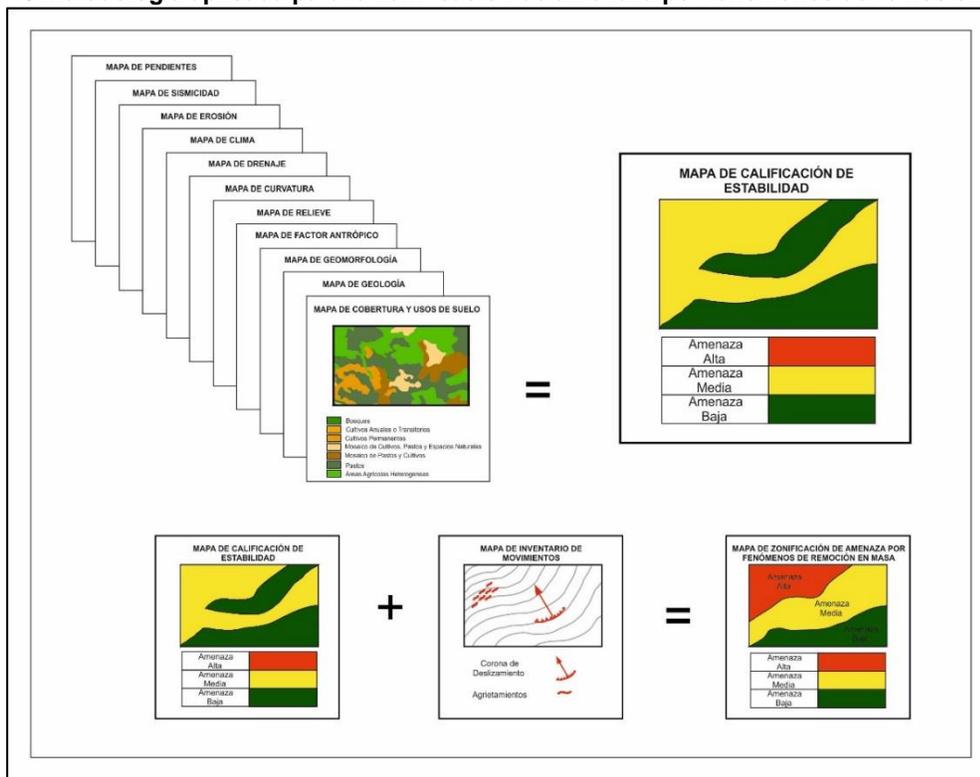


Fuente: UT UVR CAR, 2014

5.5 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

La metodología usada para el desarrollo de este trabajo, no permite la generación de escenarios, ya que es de tipo semi cuantitativo. En la Figura 5.15 se presenta el mapa conceptual basado en la metodología que se presenta en la **Figura 5.1**

Figura 5.15 Metodología aplicada para la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa.



Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

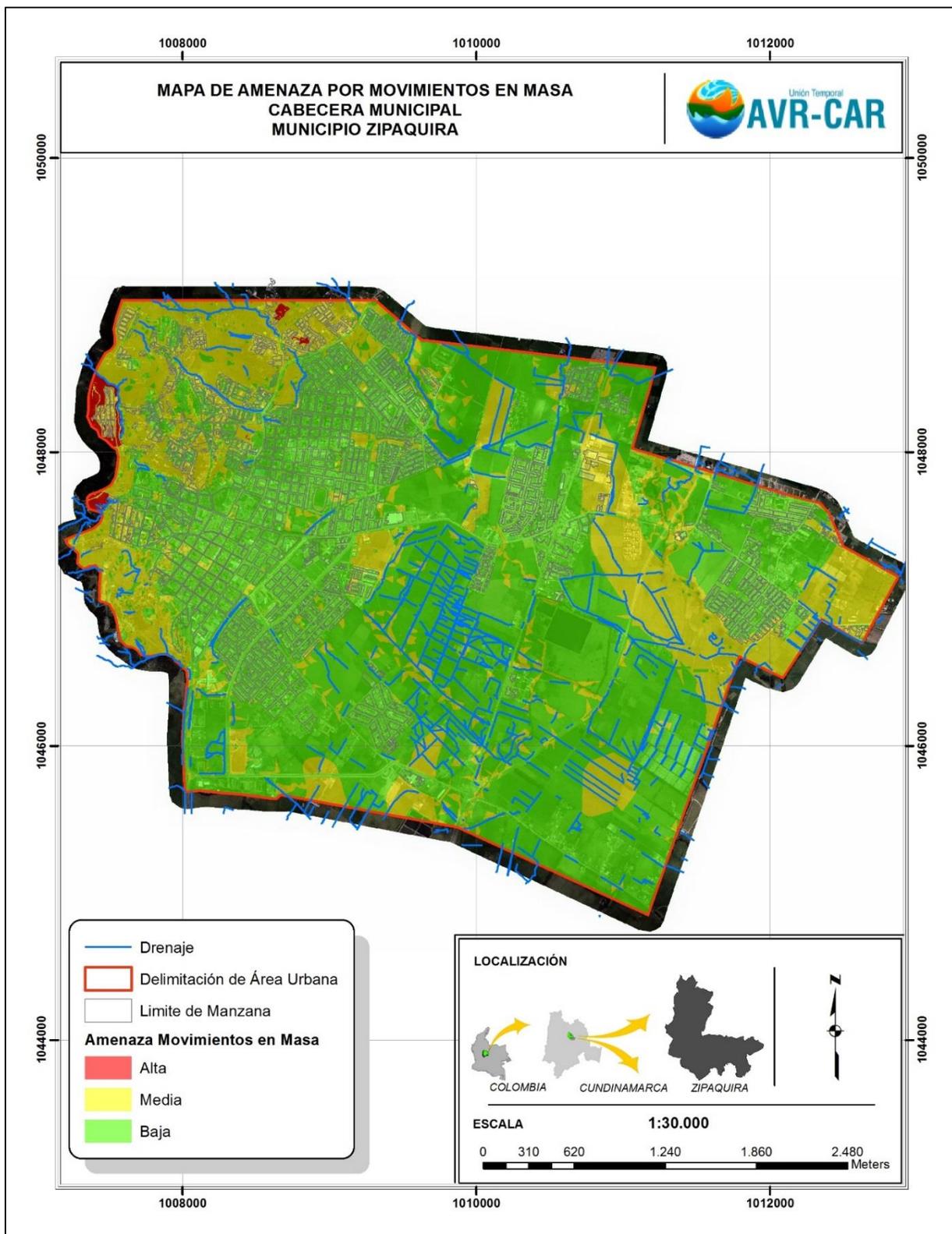
La amenaza se discrimina en tres categorías de acuerdo a los resultados sugeridos de la calificación de estabilidad SES. El mapa final de amenaza se obtiene del cruce del mapa producto de la calificación de estabilidad SES y los procesos morfodinámicos.

Como se puede ver en las **Figura 5.17** y **Figura 5.17**, para el Municipio Zipaquirá, se tiene que un 27,2% del área de interés, se encuentra en una categoría de amenaza por movimientos en masa media, donde se tienen explanaciones urbanas las cuales no se presentan procesos erosivos activos pero donde se tienen en gran medida, pendientes fuertes. Estas zonas se encuentran ubicadas en el sector oriental en cercanías al Río Susagua y hacia el occidente en cercanías a las quebradas Careperro y El Hospital.

Se tiene además que un 0,5% del área de interés se encuentra en una categoría de amenaza alta en donde se tienen depósitos de movimientos en masa activos o inactivos, laderas moderadas a empinadas, ubicándose hacia el costado noroccidental del área de estudio.

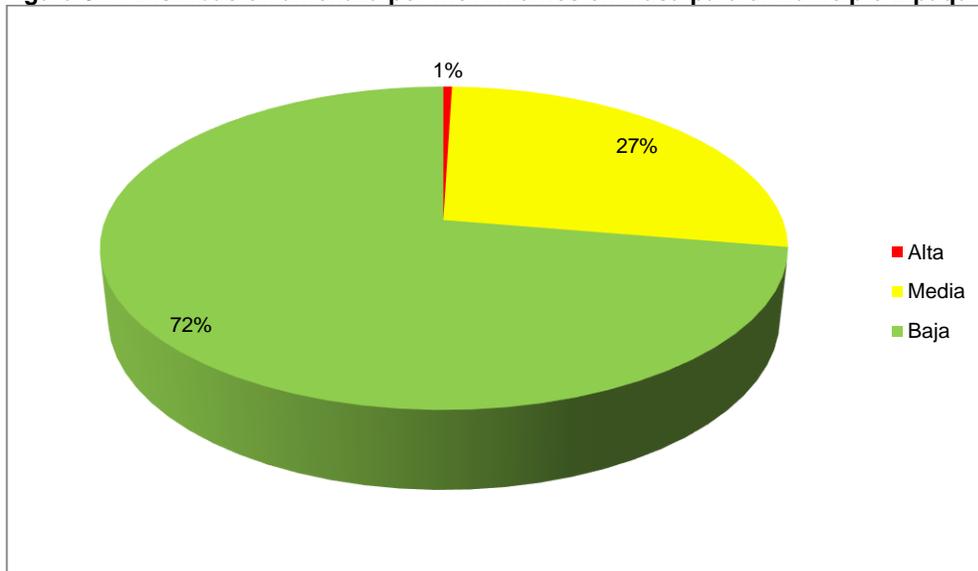
El restante 72,3% del área de interés se encuentra en una categorización de amenaza por movimientos en masa baja donde se tienen unidades sin procesos de erosión activos, con pendientes suaves sobre suelos matriz soportados y clastosoportados, pero que debido a sus características aportan a la estabilidad de la zona.

Figura 5.16. Mapa final de amenaza por movimientos en masa para el Municipio Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

Figura 5.17 Distribución amenaza por movimientos en masa para el Municipio Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

Tabla 5.16 Categorización de la amenaza por movimientos en Masa

Alta	<p>Área donde se pueden presentar movimientos en masa, tipo traslacional, planar, y/o rotacional ya sea por causas naturales o antrópicas con evidencia de deslizamientos activos. En general asociados a depósitos y suelos, y en algunos sectores aislados se asocian a materiales rocosos blandos afectados por un alto grado de fracturamiento y procesos morfodinámicos activos. Los materiales se pueden encontrar saturados y/o parcialmente saturados gran parte del año; debido a la calidad de los materiales rocosos se pueden presentar de forma localizada procesos tipo caídas, volcamientos y desprendimientos en diferentes sectores de la zona asociados a inclinación de la vegetación. Esta amenaza ocupa tan solo el 0,5% del casco urbano y de expansión y se localiza al costado noroccidental del municipio en el barrio Bolívar 83.</p>
Media	<p>Área donde se pueden presentar movimientos en masa, tipo traslacional, planar y/o rotacional, por causas naturales o antrópicas con evidencia de algunos deslizamientos antiguos, en donde los materiales se pueden encontrar parcialmente saturados durante un alto porcentaje del año. Se asocian a sectores con macizos rocosos de calidad media, que ha sido determinada por la presencia de discontinuidades que han afectado su resistencia y a zonas con presencia de depósitos y suelos residuales. Ocupa el 27,2% donde se tienen explanaciones urbanas las cuales no se presentan procesos erosivos activos pero donde se tienen en gran medida, pendientes fuertes. Estas zonas se encuentran ubicadas en el sector oriental en cercanías al Río Susagua y hacia el occidente en cercanías a las quebradas Careperro y El Hospital.</p>
Baja	<p>Zona donde existe muy poca evidencia de deslizamientos. En general se asocian a zonas con pendientes bajas y de morfología suaves. Se localiza de manera dispersa por todo el casco urbano y de expansión, ocupando el 72,3% del municipio.</p>

Fuente: UT AVR CAR, 2014

6 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

6.1 FACTORES PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD

De acuerdo con la metodología del anexo técnico se debe calcular la vulnerabilidad a partir de la susceptibilidad de los elementos económicos, susceptibilidad de las personas y un análisis de intensidad del evento, sin embargo estos parámetros establecidos son generales lo cual limita el análisis, por lo tanto para el presente estudio se involucraron diversos índices que permiten un análisis más integral y detallado, y de esta manera evaluar adecuadamente todos los elementos que se encuentran en el área de estudios se caracterizaron los diferentes parámetros que se consideran relevantes e influyentes en la valoración de la vulnerabilidad; estos son:

- ✓ Índices de pérdida por categorías de uso del suelo
- ✓ Índices de área construida por manzana
- ✓ Índice de Ocupación por uso a nivel manzana y calibrados con el área construida por manzana
- ✓ Índices de fragilidad (fragilidad social + fragilidad física)
- ✓ Resiliencia o capacidad de una sociedad de recuperarse después del impacto

6.2 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Para analizar la vulnerabilidad teniendo en cuenta la Escala 1:2.000, se contemplaron como elementos expuestos aquellos que se encuentren dentro de la descripción de las coberturas adaptadas para Colombia en la metodología de Corine Land Cover. Con base en lo propuesto por Cardona (2003) y adaptado el mapa de coberturas los pasos que se siguieron para obtener el modelo de exposición son los siguientes:

- 1) Efectuar una zonificación para obtener zonas homogéneas para zonas urbanas (ZHZU).
- 2) Asignar a las zonas homogéneas obtenidas previamente una serie de indicadores que permitan establecer el modelo de exposición de la zona en estudio.

El valor de vulnerabilidad depende tanto de las características y calidad de las construcciones como de la localización de las amenazas, por tal razón para evaluar la vulnerabilidad de los elementos dentro del área en estudio, se caracterizaron los diferentes parámetros que se consideran como los más relevantes e influyentes en la valoración de la vulnerabilidad la cual viene definida por:

$$V = I \times S$$

Donde: V: Vulnerabilidad
I: Intensidad del evento
S: Susceptibilidad de los elementos en riesgo

Este contempla la severidad de la acción del deslizamiento como la capacidad de resistencia brindada por los elementos. Los elementos en riesgo pueden dividirse en dos categorías, comúnmente, personas y elementos económicos.

6.2.1 Susceptibilidad de los elementos económicos

El análisis de la susceptibilidad se efectúa tanto para los elementos económicos como a las personas.

- Los elementos económicos incluyen edificios, vías o rutas de transporte y elementos naturales, los cuales se pueden clasificar a partir del mapa de uso del suelo. La capacidad de resistencia para un grado de riesgo se asocia a las estructuras y al estado en el cual se encuentra, lo cual se traduce en índices de ocupación, índices de pérdida e índices de fragilidad, tanto física como socio económica; de acuerdo con el anexo técnico la susceptibilidad se calcula:

$$S_{eco} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - S_i)$$

Donde: Seco = Susceptibilidad de los elementos económicos.

S_i = Factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de los elementos económicos, incluyendo Stipo y Smart

Sin embargo bajo el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad, ésta se plantea como un factor interno de riesgo y se relaciona con la exposición, con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un desastre y la fragilidad social y la resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto y se describen más adelante.

Para edificaciones el tipo de estructura define la capacidad para resistir la deformación e impacto ocasionados por las fuerzas del deslizamiento. Seis categorías de estructuras y valores del factor de susceptibilidad se muestran en la **Tabla 6.1**.

Tabla 6.1. Valores propuestos para el factor de susceptibilidad asociada con el tipo de estructura.

Tipo de estructura	Resistencia	Stipo
Estructuras simples, ligeras	Ninguna	1,00
Estructuras livianas	Muy baja	0,90
Muros en roca, concreto o madera	Baja	0,70
Muros en ladrillo o estructuras en concreto	Media	0,50
Estructuras en concreto reforzado	Alta	0,30
Estructuras reforzadas	Muy alta	0,10

Fuente: Anexo Técnico de la CAR.

El factor de susceptibilidad debido al tipo de edificación se calcula utilizando la **Tabla 6.1**; dependiendo de las estructuras encontradas en la zona, estas se podrán agrupar de la siguiente manera:

- Estructuras simples, ligeras: Aquellas que están construidas con materiales de recuperación, tales como madera, zinc, barro o cartón.
- Estructuras livianas: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o cemento no reforzada y sin elementos estructurales.
- Estructuras con muros en mampostería confinada: Edificaciones en mampostería de arcilla cocida o concreto con algunos elementos estructurales tales como vigas o columnas, que le brindan cierto grado de confinamiento.
- Estructuras en concreto reforzado: Edificaciones con sistema estructural aporticado que le brindan un alto grado de confinamiento.

El factor de susceptibilidad debido al mantenimiento puede asignarse de manera subjetiva, como el estado promedio de las edificaciones por manzanas, como se muestra en la **Tabla 6.2**.

Tabla 6.2. Valores propuestos para el factor de susceptibilidad por el estado de la edificación.

Estado de la edificación	Smant
Deficiente	0,50
Malo	0,40
Medio	0,25
Bueno	0,10
Muy bueno	0,00

Fuente: Anexo Técnico de la CAR.

Con el objetivo de implementar la metodología propuesta en el anexo técnico se procedió a evaluar y calcular la susceptibilidad mediante visitas técnicas en las cuales se identificaron diferentes estructuras y se agruparon en cuatro (4) clases diferentes.

Los materiales usados para la construcción de una vivienda representan una variable muy importante en la estimación de la vulnerabilidad de ésta. Por ello, primero se en listan los diferentes tipos de materiales que se utilizan en el sector y, posteriormente, las combinaciones que resultan entre los materiales de construcción usados en los muros o en el techo de la vivienda serán tipificadas y evaluadas en función de su comportamiento.

A continuación se presentan los diferentes materiales que se tienen para la construcción de las edificaciones:

Tabla 6.3. Tipos de material para los muros.

Tipo	Material
M1	Material de desecho
M2	Lámina de cartón
M3	Lamina de asbesto o metálica
M4	Bambú o palma
M5	Bareque
M6	Madera
M7	Adobe
M8	Ladrillo, cemento, concreto

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

Tabla 6.4. Tipos de material para los techos.

Tipo	Material
T1	Material de desecho
T2	Lámina de cartón
T3	Lámina de asbesto o metálica
T4	Palma o madera
T5	Teja
T6	Concreto

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

Una vez recolectada la información se clasificará el tipo de vivienda en grupos de acuerdo a su combinación de techos y muros. Ver **Tabla 6.5**.

Tabla 6.5. Cuadro de convenciones.

Tipo	Muros								
	Tipo	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Techo	T1	1	x	x	x	x	x	x	x
	T2	X	2	4	5	7	10	12	16
	T3	X	3	X	6	8	11	13	17
	T4	X	X	X	X	9	X	14	18
	T5	X	X	X	X	X	X	15	19
	T6	x	x	x	x	x	x	x	20

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

Las diferentes combinaciones se agrupan en cuatro grupos de la siguiente manera:

Tabla 6.6. Agrupaciones de tipo de viviendas.

Tipo	Clase	Descripción
1	I	Vivienda con muros y techos de material de desecho
2	I	Vivienda con muros y techos de lámina de cartón
3	I	Vivienda con muros de lámina de cartón y techo de lámina de asbesto o metálica
4	II	Vivienda con muros de lámina de asbesto o metálica y techos de lámina de cartón
5	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de cartón
6	II	Vivienda con muros de carrizo, bambú o palma y techo de lámina de asbesto o metálica
7	II	Vivienda con muros de barro o bareque y techo de lámina de cartón
8	II	Vivienda con muros de barro o bareque y techo de lámina de asbesto o metálica
9	II	Vivienda con muros de barro o bareque y techo de palma, tejamanil o madera
10	II	Vivienda con muros de madera y techos de lámina de cartón
11	III	Vivienda con muros de madera y techo de lámina de asbesto o metálica
12	II	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de cartón
13	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de asbesto o metálica
14	III	Vivienda con muros de adobe y techo de palma, tejamanil o madera
15	III	Vivienda con muros de adobe y techo de lámina de teja
16	II	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de cartón
17	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de lámina de asbesto o metálica
18	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de palma, tejamanil o madera
19	III	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de teja
20	IV	Vivienda con muros de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto y techo de losa de concreto, tabique, ladrillo o terrado con vigería

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

A cada grupo de vivienda se le asigna un valor de susceptibilidad, sin embargo el valor de análisis es el resultado del promedio por manzana. Ver **Tabla 6.7.**

Tabla 6.7. Valores de susceptibilidad para cada clase de vivienda

Clase	S tipo
I	0,9
II	0,7
III	0,5
IV	0,3

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

Otros elementos que se tuvieron en cuenta en la susceptibilidad fueron las vías, las cuales se clasificaron dependiendo de su estructura; las vías que se encuentran pavimentadas se les asignó un valor de susceptibilidad igual a 0.5 y las vías que se encuentran descubiertas o destapadas se les asignó un valor de susceptibilidad igual a 1.0.

Esto quiere decir que las vías destapadas o sin estructuras de pavimento son más susceptibles a que se presenten fenómenos de remoción en masa.

6.2.2 Susceptibilidad de las personas

La susceptibilidad de las personas se evalúa mediante el índice de ocupación **Ouso** y la Fragilidad social o la predisposición que surge como resultado de nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socio-económicos.

$$S_{per} = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - S_i)$$

Donde: S_{per} = Susceptibilidad de las personas.

S_i = Es el factor de susceptibilidad que contribuye a la susceptibilidad de las personas, incluyendo S_{tipo} , $S_{menores}$ de edad y S_{salud} .

6.2.3 Intensidad

Para este parámetro de acuerdo a los anexos técnicos está relacionado con la posición de los elementos expuestos con respecto a la amenaza. Sin embargo para esto se deben tener en cuenta características cinéticas y cinemáticas de los deslizamientos y estos dependen de los tipos de movimientos, velocidad de los mismos y cantidad de material desplazado el cual no se puede analizar en la metodología propuesta, por tal motivo se propone como ajuste a la intensidad la evaluación de la posición de los elementos expuestos con respecto a su ubicación en el mapa de unidades geológicas superficiales.

6.3 RESULTADOS DE LA VULNERABILIDAD

De acuerdo a lo establecido previamente y luego de evaluados cada uno de los elementos que hace parte del modelo de vulnerabilidad, se obtienen tres categorías para determinar los niveles de vulnerabilidad; dicha clasificación se presenta en la **Tabla 6.8**.

Tabla 6.8 Niveles de vulnerabilidad propuestos

Valor	Categoría Índice de Vulnerabilidad (IV)	Símbolo
> 0,20	Alta	
0,10-0,20	Media	
0 - 0,10	Baja	

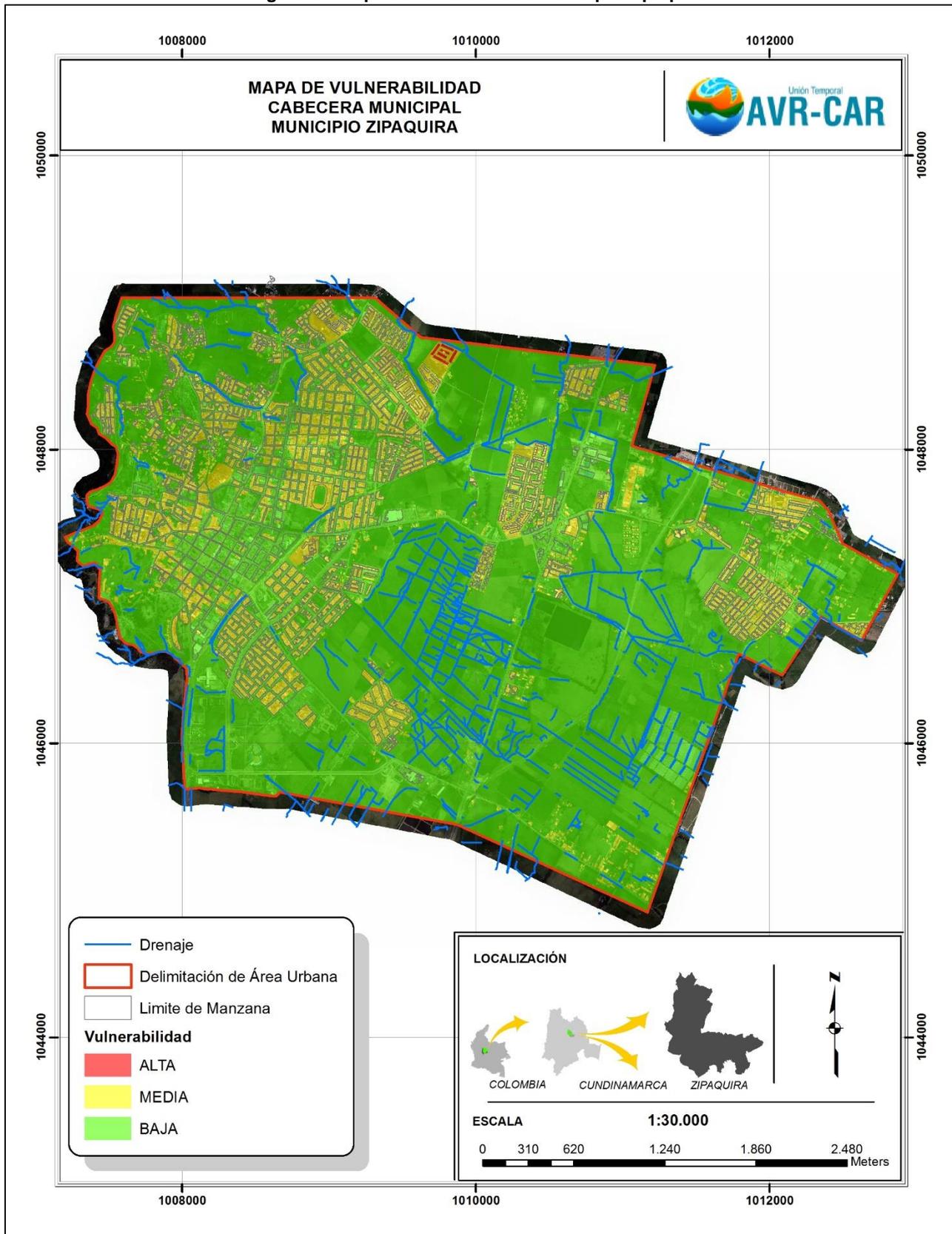
Se identificaron cada una de las características predominantes para cada una de las categorías de vulnerabilidad y se presentan en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9 Descripción de los niveles de vulnerabilidad propuestos

Valor	Categoría Índice de Vulnerabilidad (IV)	Símbolo
>0,20	Alta: áreas de alta fragilidad social con presencia de equipamientos colectivos, zonas residenciales y comerciales los cuales presentan una fragilidad física media a alta, una resiliencia media a alta y con unos índices de ocupación por uso altos, de igual forma presentan unos indicadores de falta de resiliencia predominantemente altos a medios lo cual indica baja capacidad de respuesta frente a la ocurrencia de eventos torrenciales o de remoción en masa. De igual forma se presenta una densidad de construcción por manzana predominantemente alta lo que generaría un mayor impacto socio económico	
0,10 – 0,20	Media: áreas de alta fragilidad social con presencia de zonas residenciales y comerciales con una densidad de construcción por manzana media y una fragilidad física media, estas zonas suponen una capacidad de recuperación a mediano plazo por lo tanto su resiliencia es media, los índices de ocupación por uso presentan valores medios y bajos en algunos casos	
0 - 0,10	Baja: áreas predominantemente de expansión y zonas verdes, con una densidad de construcción baja, niveles de fragilidad total bajos a medios y una falta de resiliencia igualmente baja	

De acuerdo con el mapa de vulnerabilidad hay un evidente predominio de la vulnerabilidad baja en toda a cabecera municipal, motivada principalmente por las zonas verdes de expansión que superan en extensión a las demás áreas ya consolidadas, allí las edificaciones son dispersas y aun no se evidencia una estructura urbana de calles y carreras; las áreas de vulnerabilidad media por su parte se caracterizan por presentarse en áreas residenciales y comerciales del municipio, donde ya está consolidada la estructura urbana (ver Figura 6.1).

Figura 6.1 Mapa de vulnerabilidad Municipio Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

7 EVALUACIÓN DE RIESGO

El riesgo es el desastre potencial, definido como el daño, destrucción o pérdida esperada obtenida de la convolución de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales amenazas, matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en un cierto período de tiempo. (Cardona, 1997a).

El riesgo se relaciona con algo que aún no ha sucedido, se refiere a una situación potencial y suele definir como las posibles consecuencias desfavorables económicas, sociales y ambientales que se pueden presentar a raíz de ocurrir un evento dañino en un contexto de debilidad social y física ante el mismo.

Debido a la complejidad de los fenómenos de remoción en masa y la dinámica de los elementos expuestos, hay una variedad de posibilidades tanta en la amenaza como en la vulnerabilidad que hace necesario enriquecer el estudio para que sirva como herramienta en la planificación territorial y la prevención de desastres.

En el caso particular de este estudio se estimó el riesgo como el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias para los elementos en riesgo.

$$R = A \times V$$

Donde: R: Riesgo

A: Amenaza por fenómenos de remoción en masa

V: Vulnerabilidad

7.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

El objetivo final del estudio es establecer los elementos en riesgo, para la generación del mapa de riesgo se cruzaron el mapa de amenaza y el mapa de vulnerabilidad además de las observaciones que se van generando en el cruce de estos mapas.

Conocido el valor de los elementos, así como su afectación acumulada, pueden determinarse las consecuencias, las cuales se presentan en el mapa de riesgo. El proceso de clasificación del riesgo se realizó a partir de la **Tabla 7.1**.

Tabla 7.1. Matriz de riesgos.

Niveles de Vulnerabilidad	Niveles de Amenaza		
	Alta	Media	Baja
Alta	Alto	Alto	Medio
Media	Alto	Medio	Medio
Baja	Medio	Medio	Bajo

Fuente: Elaboración propia. UT AVR CAR, 2014

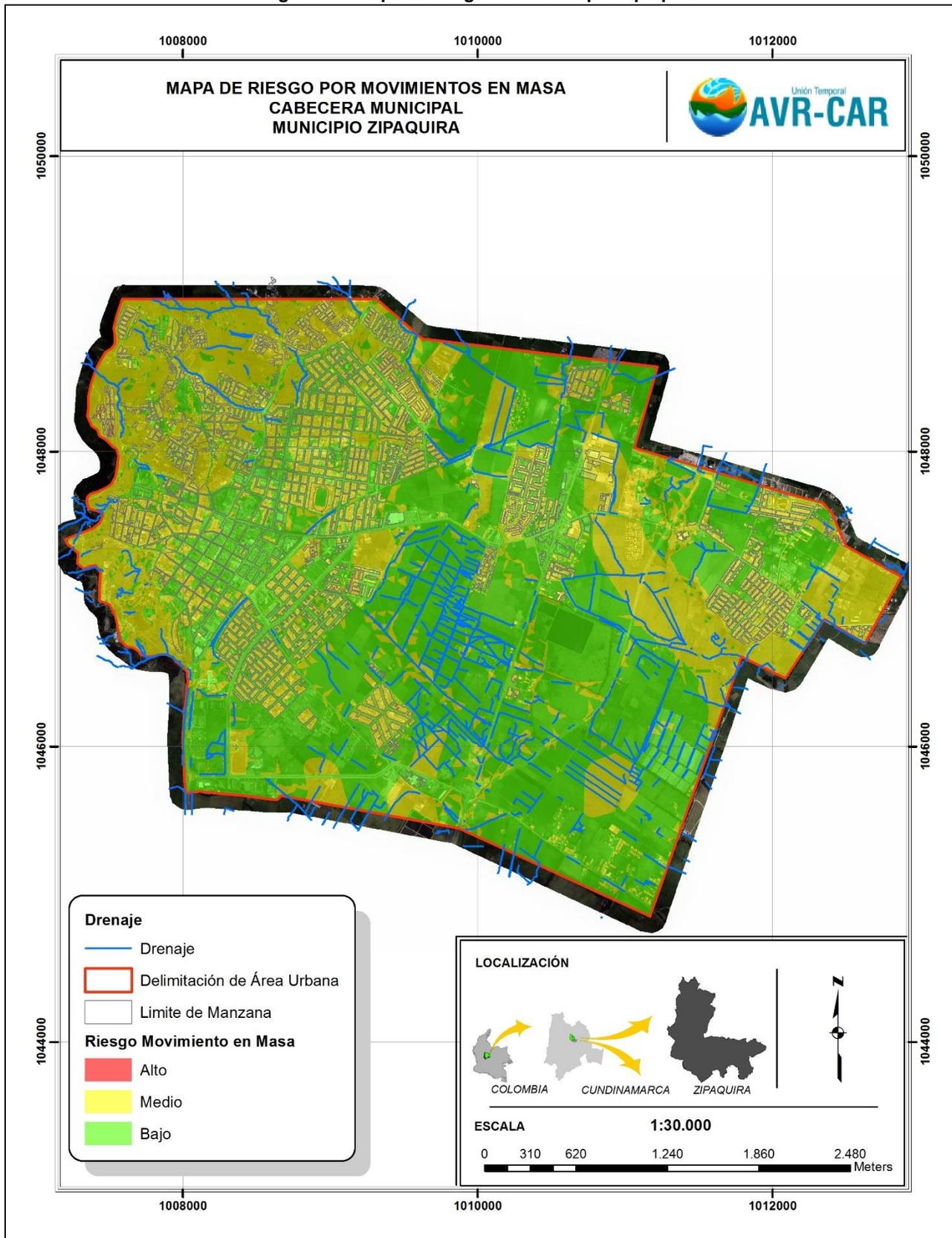
En lo relacionado con movimientos en masa, se tiene que para el Municipio Zipaquirá, como se puede ver en la **Figura 7.1** y **Figura 7.2**, se tiene que el 41,7% del área de interés se encuentra en una categoría de riesgo por movimientos en masa media. Allí se tienen canalizaciones, cortes de vías, explanaciones antrópicas, lomas bajas, laderas moderadas, laderas moderadas a empinadas, depósitos de movimientos en masa activos e inactivos, laderas suaves, depósitos fluvio torrenciales y planicies aluviales; dentro de las unidades mencionadas se tienen algunos procesos de erosión

activos asociados especialmente con socavación y se tienen áreas con suelos matriz soportados y clastosoportados. Estas zonas se encuentran asociadas con las zonas cuya vulnerabilidad tiene categorías más altas; así pues se tiene que la zona ubicada hacia el occidente del área de estudio, se encuentra en esta categoría, además de la zona donde se tienen abanicos aluviales hacia el occidente, en cercanías al Río Susagua.

El 58% del área de estudio se encuentra en una categoría de riesgo por movimientos en masa baja, donde se tiene explanaciones urbanas, laderas moderadas, laderas suaves, depósitos fluvio torrenciales y planicies de inundación sin procesos de erosión activos con pendientes suaves, donde se tienen materiales de roca y suelo asociados. De igual manera, se tiene que las zonas asociadas a este tipo de categoría, son zonas donde la vulnerabilidad es baja y se encuentran tipos de uso de zona verde de expansión, dotacional y comercial. Es muy importante anotar que como resultado de la evaluación no se presenta en ningún sector del área en estudio niveles de riesgo alto.

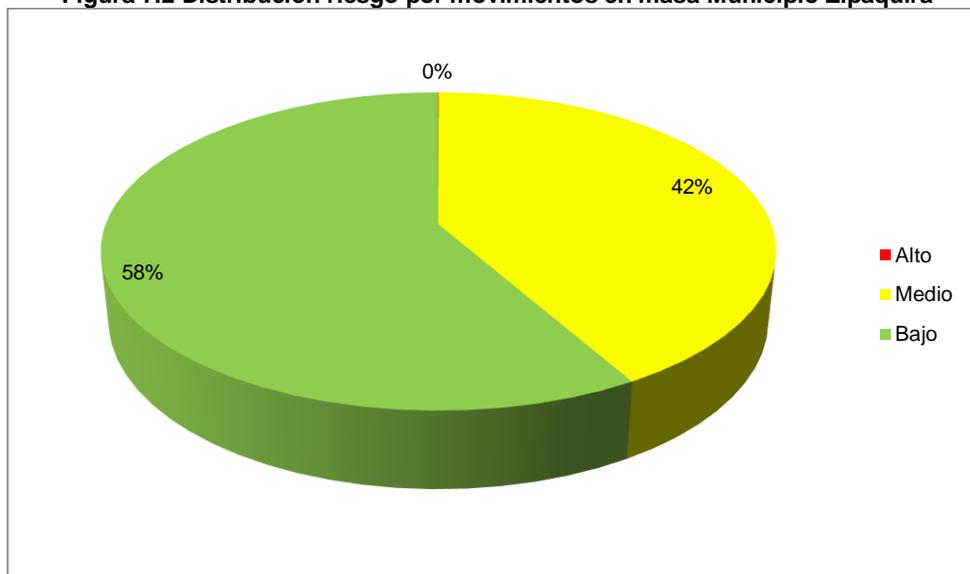
En la Tabla 7.2 se presenta la descripción de los niveles de riesgo por movimientos en masa para el Municipio Zipaquirá.

Figura 7.1. Mapa de riesgos del Municipio Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

Figura 7.2 Distribución riesgo por movimientos en masa Municipio Zipaquirá



Fuente: UT AVR CAR, 2014

Tabla 7.2. Categorías de índice de riesgos por movimientos en masa

Categoría índice de riesgo (IR) por movimientos en masa	Símbolo
<p>Media: Se asocian a depósitos y suelos que presentan rasgos de procesos antiguos y se pueden presentar parcialmente saturados durante un alto porcentaje del año. En los casos en los cuales afectan material rocoso este presenta un grado de fracturamiento medio y meteorizado. Se asocia a zonas de alta fragilidad social en áreas residenciales y comerciales con densidad por manzana media; las áreas presentan una capacidad de recuperación a mediano plazo. En ellas se requiere una intervención no estructural que permita la prevención de reactivación o generación de nuevos procesos, ya que se generaliza en la mayor parte de áreas de pendiente media. Esta amenaza se encuentra dispersa en el casco urbano y asociada al río Susagua, ocupando el 41,7%</p>	
<p>Baja: Se asocian principalmente a áreas de expansión urbana con densidad de construcción baja y la recuperación se puede dar a corto plazo. La conservación de estas zonas en este nivel de riesgo se puede garantizar mediante el control del uso del suelo. Esta área se encuentra dispersa por el municipio y ocupa el 58% del casco urbano y de expansión, donde se tiene explanaciones urbanas, laderas moderadas, laderas suaves, depósitos fluvio torrenciales y planicies de inundación sin procesos de erosión activos con pendientes suaves, donde se tienen materiales de roca y suelo asociados. De igual manera, se tiene que las zonas asociadas a este tipo de categoría, son zonas donde la vulnerabilidad es baja y se encuentran tipos de uso de zona verde de expansión, dotacional y comercial.</p>	

8 CONCLUSIONES

1. Los estudios de amenaza por movimientos en masa requeridos por la CAR plantean el uso del método (SES) el cual es semicuantitativo basado en experiencia experta y por lo tanto fue adaptado a las condiciones de información y características físicas de las zonas en evaluación.
2. La metodología SES usada para el desarrollo de la amenaza por movimientos en masa para este trabajo, no permite la generación de escenarios, ya que es de tipo semi cuantitativo; la amenaza se discrimina en tres categorías de acuerdo a los resultados sugeridos de la calificación de estabilidad SES. El mapa final de amenaza se obtiene del cruce del mapa producto de la calificación de estabilidad SES y los procesos morfodinámicos producto del mapa geomorfológico.
3. Para el análisis de vulnerabilidad se usaron como insumos básicos la cartografía de cobertura y uso a escala 1:2.000 desarrollada por el consultor e interpretación de imágenes de satélite aplicando una metodología de análisis adecuada a zonas urbanas adaptada por el consultor con base en la información disponible, tanto la suministrada por otras entidades como la información interna producto del estudio.
4. Para el cálculo del riesgo por movimientos en masa se emplearon herramientas SIG, dado los niveles de información existente y los desarrollos propuestos, el riesgo se calcula a partir del cruce de las capas de niveles de vulnerabilidad (IV) y la capa de amenaza.
5. Por lo tanto los análisis de riesgo por torrencialidad y movimientos en masa (movimientos en masa) presentados deben verse como una herramienta aplicable a la planeación y formulación de planes y programas que permita establecer áreas que requieren intervención, control y prevención; estos estudios no son aplicables para diseño de obras, para lo cual en las áreas previamente definidas se pueden plantear estudios detallados que requieran exploración y análisis geotécnicos específicos
6. Para el casco urbano del Municipio Zipaquirá se tiene que la distribución de lluvias sobre el área de estudio, tiene índices de precipitación para un periodo de retorno de 50 años de 90,5 mm de precipitación máxima en 24 horas y 64,6 para 12,5 años.
7. Respecto de la geología y geomorfología en el área urbana y de expansión urbana del municipio se tiene que:
 - En el Municipio Zipaquirá se presentan rocas intermedias y unidades de suelos y depósitos de origen cuaternario los que en algunos sectores como el barrio Primera de Mayo y Bosques de Silena, así como el barrio la Artesa que se encuentra fuera del casco urbano del municipio presentan movimientos en masa. Un barrio que ha sido afectado por deslizamientos que han generado daños sobre viviendas es el barrio Bolívar 83, en donde se evidencia la destrucción de 15 viviendas que actualmente están reubicadas en el Barrio el Bosque, sin embargo y dada el área de la cabecera municipal muchos de estos sitios solo se presentan a nivel de punto por lo cual no permiten la generalización de la calificación.
 - En el municipio se presentan sectores que se ven afectados por inundaciones generados principalmente por el río Negro que en época de invierno aumenta su caudal, generando procesos torrenciales.
 - Varios sectores en las vías de entrada y salida al municipio presentan evidencias de movimientos en masa los cuales no se incluyen dentro de esta cartografía por quedar por fuera de la misma, sin embargo de los cuales se hace mención por ser necesaria su intervención. Entre ellos están un sector de la vía que conduce de la Vereda El Alto de Águilas hacia Zipaquirá y el barrio la Artesa mencionado en párrafos anteriores.

Respecto de la amenaza por movimientos en masa

1. Para el Municipio Zipaquirá, se tiene que un 27,2% del área de interés, se encuentra en una categoría de amenaza por movimientos en masa media, donde se tienen explanaciones urbanas las cuales no se presentan procesos erosivos activos pero donde se tienen en gran medida, pendientes fuertes. Estas zonas se encuentran ubicadas en el sector oriental en cercanías al Río Susagua y hacia el occidente en cercanías a las quebradas Careperro y El Hospital.
2. Solo el 0,5% del área de interés se encuentra en una categoría de amenaza alta donde se tienen depósitos de movimientos en masa activos o inactivos, laderas moderadas a empinadas, ubicándose hacia el costado noroccidental del área de estudio.
3. El restante 72,3% del área de interés se encuentra en una categorización de amenaza por MM baja donde se tienen unidades sin procesos de erosión activos, con pendientes suaves sobre suelos matriz soportados y clastosoportados, pero que debido a sus características aportan a la estabilidad de la zona.
4. Es importante

Respecto a la vulnerabilidad y riesgo

1. Para analizar la vulnerabilidad teniendo en cuenta la escala 1:2.000, se contemplaron como elementos expuestos aquellos que se encuentren dentro de la descripción de las coberturas adaptadas para Colombia en la metodología de Corine Land Cover, y con base en el mapa desarrollado por el consultor de uso urbano se efectuó una zonificación para obtener zonas homogéneas para zonas urbanas (ZHZU); a las zonas homogéneas obtenidas previamente, se les asignó una serie de indicadores para establecer el modelo de exposición de la zona en estudio, tales como densidad de área construida, densidad de población, indicadores socio económicos, índice de pérdidas, la fragilidad física asociada al uso, y la resiliencia asociada a la recuperación a corto, mediano y largo plazo.
2. El municipio tiene una predominancia de índice de ocupación baja, esto indica que las áreas construidas son grandes en comparación con el número de habitantes del casco urbano, por su parte tanto los índices de ocupación media y alta solo se presenta en unos pequeños sectores.
3. Las áreas donde se puede presentar una mayor pérdida corresponde a las zonas residenciales, con un 29% de pérdidas, seguido de las zonas dotacional con un 7%, un 6% la Zona comercial y un 1% en la zonas verde de expansión y de uso mixto (residencial comercial), mientras que la zona donde se presentarían los valores más bajos de pérdida corresponden con las zonas verdes.
4. Existe solamente una fragilidad media y baja; la primera de ellas es la que más área abarca y cubre principalmente todas las áreas de usos residenciales y comerciales, mientras que las zonas de baja fragilidad corresponden con las zonas verdes y algunas de expansión urbana.
5. Las áreas que presentan una falta de resiliencia alta frente a la ocurrencia de un evento corresponden principalmente con las áreas residenciales de la mayor parte del municipio, estas no presenta una clara tendencia mientras que las áreas de falta de resiliencia media so presenta una concentración especifica en el centro del municipio, finalmente las áreas con falta de resiliencia baja corresponden con las áreas de expansión urbana y se distribuyen igualmente por todo el municipio, no obstante hay que resaltar que la mayor área de expansión se localiza al oriente del municipio.
6. Hay un evidente predominio de la vulnerabilidad baja en toda a cabecera municipal, motivada principalmente por las zonas verdes de expansión que superan en extensión a las demás áreas ya consolidadas, allí las edificaciones son dispersas y aun no se evidencia una estructura urbana de calles y carreras; las áreas de vulnerabilidad media por su parte se

- caracterizan por presentarse en áreas residenciales y comerciales del municipio, donde ya está consolidada la estructura urbana.
7. Respecto del riesgo por MM no se presentan niveles de riesgo alto, debido especialmente a que prácticamente las zonas de amenaza alta por MM se presentan a nivel de puntos o áreas muy pequeñas que no generalizan la calificación; el 41,7% del área de interés se encuentra en una categoría de riesgo por movimientos en masa media; allí se tienen canalizaciones, cortes de vías, explanaciones antrópicas, lomas bajas, laderas moderadas, laderas moderadas a empinadas, depósitos de movimientos en masa activos e inactivos, laderas suaves, depósitos fluvio torrenciales y planicies aluviales; dentro de las unidades mencionadas se tienen algunos procesos de erosión activos asociados especialmente con socavación y se tienen áreas con suelos matriz soportados y clastosoportados. Estas zonas se encuentran asociadas con las zonas cuya vulnerabilidad tiene categorías más altas y algunas zonas de amenaza alta; así pues se tiene que la zona ubicada hacia el occidente del área de estudio, se encuentra en esta categoría, además de la zona donde se tienen abanicos aluviales hacia el occidente, en cercanías al Río Susagua; los sectores asociados a los barrios Bolívar 83 y barrio primero de Mayo.
 8. El 58% del área de estudio se encuentra en una categoría de riesgo por movimientos en masa baja, donde se tiene explanaciones urbanas, laderas moderadas, laderas suaves, depósitos fluvio torrenciales y planicies de inundación sin procesos de erosión activos con pendientes suaves, donde se tienen materiales de roca y suelo asociados. De igual manera, se tiene que las zonas asociadas a este tipo de categoría, son zonas donde la vulnerabilidad es baja y se encuentran tipos de uso de zona verde de expansión, dotacional y comercial.
 9. A continuación se dejan explícitas las limitaciones en la información utilizada para los análisis, lo cual debe servir de base para los planes de trabajos y estudios futuros por parte del municipio con miras a mejorar la calidad y confiabilidad de estos resultados.
 - (a) Información de amenaza: debido al área de cubrimiento de la evaluación y la escala de trabajo se utilizaron los datos obtenidos forma directa para mejorar la calidad de los resultados, la metodología usada permite establecer tendencias adecuadas de comportamiento.
 - (b) Información de exposición: El modelo utilizado en el presente análisis debe ser utilizado con propósitos indicativos de valores globales ya que se efectuó con base en información secundaria, interpretación de imágenes, por lo tanto carece de levantamiento de información directa de campo. Alternativamente deben plantearse programas de levantamiento de información con base en visitas de campo intensivas a los sectores de difícil acceso por seguridad.
 - (c) Los resultados de los análisis de riesgo y su interpretación para la toma de decisiones deben realizarse de manera conjunta con las entidades y especialistas a cargo de cada uno de los aplicativos que pueden derivarse de estos resultados.

9 RECOMENDACIONES

1. Existen a nivel local varios sectores en los cuales es necesario acometer estudios detallados respecto de la estabilidad y comportamiento geotécnico de los materiales:
 - Barrió Primero de Mayo: en las coordenadas 1008798 X, 1048916 Y, allí se observa una corona de movimiento en masa cerca de la escuela, el movimiento se presenta sobre suelos residuales arcillo-arenoso de color gris rojizo de más de 5 m de espesor, y ha grietado la cancha de la escuela y se observan grietas sobre la vía. Los alrededores del área están afectados por fuertes procesos de erosión laminar.
 - Barrió Bosques de Silena: Detrás de la casa de la señora Hilma la inestabilidad del material y la topografía del área ha generado movimientos en masa locales que podrían afectar de manera grave a las viviendas sino se toman las medidas respectivas. El movimiento está desplazando suelos arcillosos y areno-arcillosos.
 - Barrió Bolívar 83: En la zona NW del casco urbano se presenta un deslizamiento que en la actualidad aparece activo, que se originó hace aproximadamente 20 años, este movimiento es de gran extensión sobre él se han construido algunas obras de mitigación como gaviones y muros, afecta principalmente el Barrió Bolívar 83 en la zona se evidencia la destrucción de 15 viviendas que actualmente están reubicadas en el Barrió el Bosque, sin embargo es necesario establecer una red de monitoreo en la zona que permita establecer la posible reactivación del proceso y la necesidad de nuevas obras de estabilización si es el caso.
 - Barrió la Artesa: Aunque este barrio queda fuera del casco urbano, los trabajos pudieron definir la existencia de un deslizamiento traslacional sobre suelo residual areno arcilloso de gran espesor en el que la afectación principal son las viviendas y el taponamiento de la quebrada. En este barrio se requiere atención debido a que en la pata del talud se evidencia socavación por la quebrada que pasa y podría llegar a afectar a las viviendas cercanas.
 - Vía que conduce de la Vereda El Alto de Águilas hacia Zipaquirá: Movimiento en masa complejo evidenciado sobre la vía que conduce de la vereda Alto de Águilas hacia el Municipio Zipaquirá, limitando con el barrio la Concepción, desarrollado sobre suelos residuales arcilloarenosos. El movimiento puede presentar un proceso de reactivación por torrencialidad o socavación en la pata del talud. En este se requiere atención para evitar un proceso retrogresivo o progresivo y la afectación de las viviendas presentes en la zona
2. En concordancia con lo anterior, en los sectores atrás identificados, se recomienda realizar estudios y diseños detallados con el fin de prevenir posibles eventos y un aumento en el área afectada para modelos geológicos-geotécnicos a profundidad con el fin de verificar la probabilidad de falla de las zonas afectadas.
3. Se recomienda que las nuevas construcciones que se proyecten en el área en estudio en las zonas identificadas con amenaza media y alta, presenten estudios completos donde se tenga en cuenta análisis geomecánicos completos así como estudios de amenaza por fenómenos de remoción en masa con base a la norma sismo resistente NSR-10. Además en los estudios se debe establecer la necesidad de las obras de mitigación y control y se deben presentar sus diseños específicos, adicionalmente la alcaldía por medio de su oficina de planeación deberá verificar la construcción de las obras las cuales deberían hacer parte del plan municipal de gestión del riesgo.
4. Como herramienta para la gestión del riesgo, se recomienda a la alcaldía del municipio de que realice campañas de monitoreo superficial mediante la instalación y monitoreo de cuadriláteros en diferentes zonas de las laderas puntuales que se identificaron como afectadas por procesos de inestabilidad, así como de la instalación de un sistema de monitoreo mediante el uso de inclinómetros y piezómetros en tiempo real, con el fin de

establecer un sistema de alertas tempranas que permita mejorar los tiempos de respuesta ante emergencias

10 FUENTES DE CONSULTA

- Alzate et al., (2012): Zonificación a escala grande de amenaza por fenómenos de remoción en masa, empleando la herramienta del SIG.
- Aristizábal Edier, Martínez Hernán, Vélez Jaime Ignacio (2010): Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 34 (131): 209-227, 2010. ISSN 0370-3908.
- Baeza, C. y Corominas, J. (2001): Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1251-1263.
- BID, Universidad Nacional de Colombia - IDEA. "Indicadores para la gestión de Riesgos – Fundamentos Metodológicos". Manizales, Colombia, 2003.
- Brea, J. D. (2006): Flujos densos en la región andina argentina: Problemática, tratamiento, soluciones, Presentación oral en el I Encuentro Latinoamericano de Hidráulica, Construcción y Medio Ambiente, UPAO, 14 al 19 de agosto de 2006, Trujillo-Perú.
- Brea, J. D., Spalletti, L., Hopwood, H. J., & Spalletti, P. (2005): Conceptos y aplicaciones sobre flujos densos en la hidráulica de ríos. *Ingeniería del Agua*, 12(3), 189-200.
- Caballero A., H. (2011): Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de Aburrá. *Gestión y Ambiente*, 14(3), 45-50.
- Calderon, Y., Murcia, C., (2004): Propuesta metodológica para el desarrollo de una zonificación geotécnica para cartografía de zonificación geomecánica Volumen III. Informe Interno Ingeominas, Bogotá.
- Calderón, et al., 2007. Metodología para la zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, departamento de Santander, Colombia. SGC.
- Cardona, O. D., Londoño, J.P., (2013): Piloto de asistencia técnica para incorporar la gestión integral de riesgos hidroclimáticos en el ordenamiento territorial municipal. Parte II. PRCC- PNUD.
- Carrara A., (1992): Landslide hazard assesment. Proc. Er. Primer Simposio Internacional sobre sensores remotos y sistema de Información Geográfica para el estudio de riesgos naturales. Bogotá, Colombia, 329-335 pp.
- Carvajal, H. (2011): Propuesta de estandarización de La cartografía Geomorfológica en Colombia, Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS.
- CIIFEN – USAID. "Estudio de la vulnerabilidad frente al cambio climático de la RPF Manglares del Salado". Ecuador, 2011
- CIIFEN. "Implementación de un sistema de información de vulnerabilidad sectorial de la Provincia de Guayas frente al cambio y la variabilidad climática". Ecuador, 2011
- Costa, J. E. (1988): Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. *Flood Geomorphology*. John Wiley & Sons New York.
- Cousot, P. (1997): Mudflow Rheology and Dynamics, International Association for Hydraulic Research. Monograph Series, 255 pp.

Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. “Metodología de análisis Probabilista de Riesgos. Informe TRN – CAPRA – TR2”. <http://www.ecapra.org>. 2010

Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. “Propuesta de funciones e indicadores de Vulnerabilidad. Informe ERN – CAPRA 2.2”. <http://www.ecapra.org>. 2010

Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. “Caracterización, clasificación y valoración de elementos expuestos. Informe ERN – CAPRA T2.1”. <http://www.ecapra.org>. 2010

González de Vallejo, L.I. (2002) : Ingeniería geológica, Pearsons Educación, ISBN 8420531049, 9788420531045, 715 pp.

Hoek, E, & Bray, J. (1977) Rock Slope Engineering. The Institute of Mining and Metallurgy, London.

IDEAM (2013): Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua-ERA 2013, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C., 275 pp., ISBN: 978-958-8067-62-9.

ISDR. 2002. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. UN Inter-Agency Secretariat for the International Strategy for Disaster Reduction. Geneva 10, Switzerland.

Julien, P. Y., & Leon, C. (2000) : Mud floods, mudflows and debris flows. Classification, rheology and structural design. Jornadas de Investigación JIFI.

Lewis, D.W. & McConchie, D. (1994) : “Practical Sedimentology”. Chapman & Hall, 213 pp. New York.

ISDR. 2002. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. UN Inter-Agency Secretariat for the International Strategy for Disaster Reduction. Geneva 10, Switzerland.

Mainali, A. & Rajaratman, N. (1994) : “Experimental study of debris flow”. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Vol 120. No.1. Discussion by P. Coussot and M. Meunier in Journal of Hyd. Eng. ASCE. May 1995.

Middleton, G.V. & Hampton, M.A. (1978) : “Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows”. In: Stanley, J.D. & Swift, D.J.P. (Eds.) Marine Sediment Transport and Environmental Management. John Wiley & sons: 197-218. New York.

Middleton, G.V. & Southard, J.B. (1984): Mechanics of Sediment Movement. Lecture Notes, Short Course 3, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 401 pp. Tulsa.

Norma Colombiana de Diseño y Construcción sísmo resistente. NSR10.

Nuria Santacana, Quintas, Jordi Corominas, Dulcet. (2001) : Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de SIG – Aplicación a la cuenca alta del río Llobrega”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Padilla, J. et al., (2004) Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía geológica para Ingeniería Vol., II. Ingeominas, Informe Interno PROYECTO: COMPILACION Y LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION GEOMECANICA.

PMA, Geociencias para las comunidades Andinas., (2007). Movimientos en masa en la región Andina- Guía para la evaluación de amenazas. Publicación Geologica Multinacional No. 4.

Parra, E., Viana, R., González, M. (1995) : Metodología para la evaluación de la torrencialidad caso

- Santacana, N. (2001) : Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. aplicación a la cuenca alta del río llobregat. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica ETSECCPB., Universidad Politécnica de Cataluña.
- Santacana, N., B. Baeza, J. Corominas, A. De Paz, and J. Marturia, (2003): A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in la pobla de lillet area (eastern pyrenees, spain). *Natural Hazards* 30 (3) (Nov): 281-95
- Sharpe, C.F.S. (1960) : "Landslides and related phenomena" Columbia University Press, 138 pp. New York.
- Van Zuidam, Robert., (1985) *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. ITC-Holanda.
- Varnes, D. (1978) : Slope movements, types and processes. In R. L. Schuster and R. J. Krises editions, *Landslides, analysis and control*. Transportation Res. Board. Washington. Special report 176.
- Vélez, J. I., Rave, C., Caballero, H., Montes, L. F., Escobar, D., Arango, A., ... & Smith, R. (2003) : Definición de Retiros en Cuencas Urbanas. *Revista Avances en Recursos Hidráulicos*, (10).
- Wan, Z. & Wang, Z. (1994) : "Hyperconcentrated Flow". IAHR Monograph Series. A.A.Balkema.
- Zinck, A. (2012) : *GEOPEDOLOGIA: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC Special Lecture Notes Series, ISBN: 90 6164 339 2.
- Zaldua Cifuentes Liliana. "Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos asociadas a deslizamientos". Universidad Nacional de Colombia. 2011
- Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. "Metodología de análisis Probabilista de Riesgos. Informe TRN – CAPRA – TR2". <http://www.ecapra.org>. 2010.