



¡Tod@s construimos el futuro  
de nuestro municipio!

# ESTUDIOS BÁSICOS DE RIESGO CHÍA - CUNDINAMARCA MOVIMIENTOS EN MASA

Mayo de 2022  
Versión Final



ALCALDÍA  
MUNICIPAL  
DE CHÍA

Secretaría de  
**Planeación**



**TABLA DE CONTENIDO**

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo general.....	6
2.2 Objetivos específicos .....	6
3. MARCO CONCEPTUAL Y NORMATIVO.....	7
4. EVALUACIÓN DE AMENAZA POR PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA SUELO RURAL.....	13
4.1 Susceptibilidad a procesos de movimientos en masa .....	14
4.1.1 Cálculo del coeficiente de certeza (CF) para cada factor básico. ....	16
4.2 Calificación de las variables .....	16
4.2.1 Geología .....	16
4.2.1.1 Geología regional (CAR 2019).....	17
4.2.1.2 Geología Estructural .....	20
4.2.1.3 Geología Local.....	24
4.2.1.4 Roca Blanda Formación Guaduas (Rbg).....	25
4.2.1.5 Roca Dura Formación Arenisca Dura (Rdd).....	25
4.2.1.6 Roca Intermedia Formación Labor y Tierna (Rilt).....	25
4.2.1.7 Roca Intermedia Formación Plaeners (Rip) .....	26
4.2.1.8 Suelo Residual Formación Labor y Tierna (Srlt).....	26
4.2.1.9 Suelo Transportado Aluvial (Stf).....	26
4.2.1.10 Suelo Transportado Aluvial Formación Chía (Stfch).....	27
4.2.1.11 Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana (Stflsa).....	27
4.2.1.12 Suelo transportado Fluvio Torrencial (Stftcdy).....	27
4.2.1.13 Suelo Transportado Coluvial (Strc) .....	27
4.2.2 Geomorfología .....	28
4.2.2.1 Morfogénesis .....	28
4.2.2.2 Morfometría – Pendientes .....	35
4.2.3 Inventario de deslizamientos.....	35
4.2.3.1 Base de datos SIMMA del Servicio Geológico Colombiano.....	36
4.2.3.2 Base de datos de las visitas de campo .....	36
4.2.4 Drenaje .....	41
4.2.4.1 Patrón de drenaje .....	41
4.2.5 Cobertura vegetal.....	43
4.2.5.1 Identificación General de Coberturas .....	43
4.3 Zonificación de Amenaza suelo rural escala 1:25000.....	52
4.3.1 Procedimiento para aplicar el método estadístico bivariado en el SIG .....	54
5. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA CASCO URBANO CENTROS POBLADOS Y POSIBLES ZONAS DE EXPANSIÓN URBANA. ....	59



5.1	Obtención de variables.....	60
5.1.1	Parámetros geomecánicos.....	60
5.1.2	Pendientes.....	60
5.1.3	Geología regional.....	62
5.1.3.1	Formación Labor y Tierna (K2t).....	62
5.1.3.2	Formación Chía (Q2ch).....	62
5.1.3.3	Formación Sabana (Q2s).....	62
5.1.4	Geología local.....	63
5.1.4.1	Suelo Transportado Aluvial (Stf).....	66
5.1.4.2	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía (Stfch).....	66
5.1.4.3	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana (Stflsa).....	70
5.1.4.4	Suelo Transportado Coluvial (Strc).....	72
5.1.5	Geomorfología.....	74
5.1.5.1	Geoformas de Origen Denudativo.....	74
5.1.5.2	Geoformas de Origen Antrópico.....	76
5.1.5.3	Geoformas de Origen Fluvial y Lagunar.....	76
5.1.6	Inventarios de procesos morfodinámicos.....	78
5.2	Zonificación de amenaza Movimientos en Masa escala 1:2.000 Zona urbana, posibles zonas de expansión, centros poblados y resto rural.....	79
6.	CONCLUSIONES.....	81
7.	NOTA LEGAL – MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD.....	83

VERSIÓN FINAL



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Normativas Aplicables a la Gestión del Riesgo en Colombia.....	8
<b>Tabla 2.</b> Escalas de trabajo Decreto 1807. ....	11
<b>Tabla 3.</b> Análisis de susceptibilidad en laderas. Modificado de Suárez. ....	14
<b>Tabla 4.</b> Categorización del Atributo Densidad de Fracturamiento.....	21
<b>Tabla 5.</b> Tasas de desplazamiento definidas para las fallas con deformaciones en el Cuaternario. ....	21
<b>Tabla 6.</b> Rangos de densidad y clasificación de susceptibilidad a nivel nacional .....	22
<b>Tabla 7.</b> Valores de resistencia para descripciones de roca.....	24
<b>Tabla 8.</b> Categorización del Atributo Textura-Fábrica. ....	24
<b>Tabla 9.</b> Inventario de puntos de eventos evidenciados en campo .....	37
<b>Tabla 10.</b> Categorización de las clases para densidad de drenaje.....	43
<b>Tabla 11.</b> Matriz cambio de coberturas .....	44
<b>Tabla 12.</b> Caracterización de las coberturas del municipio año 2021 .....	48
<b>Tabla 13.</b> Variables del método estadístico bivariado .....	52
<b>Tabla 14.</b> Escalas de trabajo.....	54
<b>Tabla 15.</b> Variables .....	54
<b>Tabla 16.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Geología .....	55
<b>Tabla 17.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Fabrica.....	55
<b>Tabla 18.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Resistencia .....	55
<b>Tabla 19.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Densidad de Fracturamiento .....	56
<b>Tabla 20.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad- Geomorfología.....	56
<b>Tabla 21.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Pendiente .....	56
<b>Tabla 22.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Densidad de drenaje.....	56
<b>Tabla 23.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Coberturas de la tierra .....	56
<b>Tabla 24.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad .....	57
<b>Tabla 25.</b> Pesos de variables para mapas de susceptibilidad .....	58
<b>Tabla 26.</b> Sondeos disponibles en la zona de estudio.....	60
<b>Tabla 27.</b> Rangos establecidos de la variable pendiente .....	61
<b>Tabla 28.</b> Unidades Geológicas para la ingeniería (UGI) según su origen .....	64
<b>Tabla 29.</b> Variables, parámetros y factores usados para evaluar los materiales rocosos .....	64
<b>Tabla 30.</b> Unidades geológicas de ingeniería UGI en los puntos de control.....	65
<b>Tabla 31</b> Sondeos realizados en la zona de estudio- obtención de parámetros geomecánicos. ....	74
<b>Tabla 32.</b> Tabla para parametrizar la amenaza de un talud ante deslizamientos. ....	79
<b>Tabla 33.</b> Rangos de clasificación de amenaza de un talud ante deslizamiento. Fuente: Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Servicio Geológico Colombiano (2015) .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Metodología para calcular el mapa de susceptibilidad. Tomado de Suárez. ....	13
<b>Figura 2</b> Función de probabilidad para la susceptibilidad.....	16
<b>Figura 3.</b> Mapa de unidades geológicas zona rural a escala 1:25.000.....	17
<b>Figura 4.</b> Rasgos Estructurales del área del municipio. ....	20
<b>Figura 5.</b> Tasas de desplazamiento de las fallas en el Cuaternario de Colombia. ....	21
<b>Figura 6.</b> Ilustración de la Ecuación 1 (Densidad).....	22
<b>Figura 7.</b> Densidad de Fracturamiento de las unidades geológicas superficiales .....	22
<b>Figura 8.</b> Resistencia de las unidades geológicas superficiales.....	23
<b>Figura 9.</b> Fábrica de las unidades geológicas superficiales .....	23
<b>Figura 10.</b> Unidades geológicas de ingeniería del área zona rural del municipio .....	24
<b>Figura 11.</b> Mapa de las unidades geomorfológicas.....	28

<b>Figura 12.</b> Mapa de pendientes del municipio.....	35
<b>Figura 13.</b> Base de datos consulta SIMMA.....	36
<b>Figura 14.</b> Base de datos consulta SIMMA.....	36
<b>Figura 15.</b> Mapa de inventario de procesos de movimientos en masa.....	38
<b>Figura 16.</b> Patrones de drenaje .....	41
<b>Figura 17.</b> Densidad de drenaje.....	42
<b>Figura 18.</b> Metodología para la generación de la variable cobertura de la tierra y uso del suelo.....	43
<b>Figura 19.</b> Mapa de coberturas para el tiempo anterior año 2016.....	45
<b>Figura 20.</b> Mapa de coberturas para el tiempo anterior año 2018.....	45
<b>Figura 21.</b> Mapa de coberturas para el tiempo anterior año 2019.....	46
<b>Figura 22.</b> Mapa de coberturas para el tiempo anterior año 2020.....	46
<b>Figura 23.</b> Mapa de coberturas para el tiempo actual año 2021 .....	47
<b>Figura 24.</b> Caracterización de las coberturas del municipio .....	47
<b>Figura 25.</b> Metodología para la generación de la capa de cambio de cobertura de la tierra.....	48
<b>Figura 26.</b> Capas de cambio para las coberturas de la tierra. ....	49
<b>Figura 27.</b> Sectores principales de capas de cambio para las coberturas de la tierra. ....	49
<b>Figura 28.</b> Inventario de procesos de movimientos en masa sobre las capas de cambio para las coberturas de la tierra. ....	50
<b>Figura 29.</b> Priorización de zonas por deforestación a partir de las capas de cambio y el inventario de procesos de movimientos en masa para las coberturas de la tierra.....	51
<b>Figura 30.</b> Mapa de coberturas para el tiempo actual año 2021 .....	51
<b>Figura 31.</b> Mapa de susceptibilidad por procesos de movimientos en masa.....	57
<b>Figura 32.</b> Precipitación.....	57
<b>Figura 33.</b> Mapa de amenaza por procesos de movimientos en masa zona rural.....	58
<b>Figura 34.</b> MDT .....	60
<b>Figura 35.</b> Mapa de pendiente zona escala 1:2000. ....	61
<b>Figura 36.</b> Distribución de pendientes.....	61
<b>Figura 37.</b> Unidades geológicas escala 1:5.000 zona urbana, centros poblados, posibles zonas de expansión urbana y resto rural .....	63
<b>Figura 38.</b> Ubicación de puntos de control para obtención de UGI en zona escala 1:2000.....	65
<b>Figura 39.</b> Unidades geológicas para ingeniería UGI en zona urbana. ....	73
<b>Figura 40.</b> Geomorfología a nivel de elementos geomorfológicos zona 1:5.000 .....	78
<b>Figura 41.</b> Socavación reportada.....	78
<b>Figura 42.</b> Mapa de amenaza por movimientos en masa escala 1:5.000 Talud saturado con sismo casco urbano.....	80
<b>Figura 43.</b> Mapa de amenaza por movimientos en masa escala 1:2000 centros poblados.....	80

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene la zonificación de la amenaza por procesos de movimientos en masa en suelo rural, urbano y expansión urbana del municipio de Chía, mediante la evaluación técnica realizada de acuerdo con la metodología estadística para el suelo rural y determinística para la zona urbana, de expansión urbana y centros poblados; reúne las evaluaciones del componente geológico, geomorfológico, inventario de procesos, uso del suelo y cobertura vegetal, las cuales actuando de una manera integrada permiten establecer el mapa de susceptibilidad de las laderas ante un evento de movimientos en masa. La escala de trabajo de la cartografía base utilizada para la aplicación de dicha metodología fue 1:25000 para las áreas rurales y 1:5000 para zona urbana, expansión urbana y centros poblados.

En relación con el método estadístico se tiene en cuenta la tectónica local, la incidencia de los suelos en la estabilidad de vertientes, el uso del suelo como detonante de movimientos en masa, los patrones del clima y sismo, las unidades geológicas y geomorfológicas, la pendiente y las coberturas del suelo así como los niveles de precipitación y los registros de procesos de movimientos en masa de los últimos años; en el caso de la zona urbana, de expansión urbana y centros poblados se tienen en cuenta variables como la geología (Unidades geológicas para ingeniería), geomorfología (morfogénesis, morfometría y morfodinámica), geotecnia (exploración geotécnica), agentes detonantes (lluvia y sismo) y de esta manera se implementan modelaciones con fines de obtención de factores de seguridad mediante el uso de ecuaciones fundamentales para los diferentes criterios de falla. Lo anterior se implementa de acuerdo con lo establecido por el Servicio Geológico Colombiano (2015).

Adicionalmente el trabajo en campo permite resaltar que uno de los principales impactos que generan sobre la comunidad los procesos de movimientos en masa son las alteraciones en la movilidad, y afectaciones en la infraestructura y equipamientos públicos sociales, lo cual afecta el flujo de bienes y servicios, la cotidianidad del proceso educativo de niños y jóvenes en los diferentes sectores educativos, en el desarrollo de la movilidad y competitividad de los mercados locales y la disminución y contracción de la inversión pública y privada.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Evaluar la amenaza por procesos de movimientos en masa de las áreas rural, urbana y expansión urbana del municipio de Chía – Cundinamarca.

### 2.2 Objetivos específicos

- Describir la geología para ingeniería de las diferentes formaciones aflorantes en el municipio y los depósitos sobre ellas desarrolladas.
- Caracterizar geomorfológicamente el territorio municipal de acuerdo con el método estadístico para la zona rural y determinístico según la guía del Servicio Geológico Colombiano para estudios de detalle a escala 1:5000.
- Determinar las variables de cobertura, usos del suelo, drenajes, pendiente, inventario de procesos, clima y sismo en las zonas de la jurisdicción del municipio.
- Establecer el comportamiento geotécnico en zonas urbanas, centros poblados y zonas de expansión urbana
- Utilizar los métodos estadístico y determinístico en la zonificación de mapas de amenaza según corresponde a las escalas de trabajo.

- Obtener los mapas de zonificación de amenaza por procesos de movimientos en masa en las áreas de suelo rural, urbana y expansión urbana del municipio de Chía con el objeto de incorporarlo en los procesos de ordenamiento territorial.

### 3. MARCO CONCEPTUAL Y NORMATIVO

La gestión del riesgo es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento, la reducción del riesgo y el manejo de desastres (Artículo 1, Ley 1523 de 2012). Por lo tanto, se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo. Asimismo, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población. La gestión del riesgo se fundamenta en los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres.

A través de la Ley 1523 de 2012 se promulga la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, con el fin de contrarrestar los graves efectos e impactos sociales, económicos y ambientales que causó la oleada invernal que se desató durante el año 2010 y los eventos históricos registrados en el territorio nacional. Con esta normativa se pretende introducir en todos los niveles gubernamentales una cultura organizacional que pueda responder a dinámicas que afecten a la población, considerando aspectos como la gestión ambiental sostenible, la participación comunitaria, la reducción del riesgo, entre otras.

Así mismo el Decreto 1807 de 2014, “Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones”, compilado en el Decreto Nacional 1077 de 2015 establece las condiciones para realizar la evaluación de la gestión del riesgo y establece en el párrafo 1 del artículo 3, lo siguiente:

- **Delimitación:** consiste en la identificación del límite de un área determinada, mediante un polígono. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.
- **Zonificación:** es la representación cartográfica de áreas con características homogéneas. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo.

En la **Tabla 1** se presentan los antecedentes normativos sobre la gestión del riesgo consignados en Documentos CONPES, Decretos, Decretos Ley, Directiva Ministerial, Leyes, Resoluciones y algunos instrumentos de normatividad internacional a partir del año 1988 hasta el 2013, resaltando la expedición de varios Decretos Nacionales en 2010 debido a la emergencia invernal que afrontó el país, pues se hace evidente la implementación de la gestión de riesgo como el enfoque necesario para fortalecer el actual Sistema para la Gestión del Riesgo ante las consecuencias del cambio climático.



**Tabla 1. Normativas Aplicables a la Gestión del Riesgo en Colombia.**

Norma	Descripción
Decreto Ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Título IV sobre Protección Forestal (Art. 241 a-245). Por los cuales se organizan medidas de prevención y control de incendios forestales y el cuidado forestal en general.
Ley 9 de 1989	Ley de Reforma Urbana. Determina los parámetros de planificación y gestión urbana en Colombia. Obliga a incorporar en los Planes de Desarrollo aspectos de gestión del riesgo para la reubicación de asentamientos en zonas de alto riesgo.
Artículo 7 Decreto 919 de mayo 1989	Corresponde a la Oficina Nacional para la Atención de Desastres, organizar y mantener un sistema integrado de información que permita conocer y ubicar territorialmente los riesgos existentes en el país, así como los correspondientes análisis de vulnerabilidad. Para estos efectos, el Gobierno Nacional dispondrá que las entidades correspondientes establezcan los sistemas y equipos necesarios para detectar, medir, evaluar, controlar, transmitir y comunicar las informaciones, así como realizar las acciones a que haya lugar.
Artículo 5 Ley 02 de 1991	Por el cual se modifica la Ley 9 de 1989. Entre otras modifica el plazo para los inventarios de zonas de alto riesgo.
Ley 99 de 1993	Por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y define su articulación con el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), entre otros. Define la prevención de desastres y las medidas de mitigación como asunto de interés colectivo y de obligatorio cumplimiento. Obliga a las CAR a realizar actividades de análisis, seguimiento, prevención y control de desastres, y a asistir a las autoridades competentes en los aspectos en la prevención y atención de emergencias y desastres.
Resolución 7550 de 1994	Por la cual se regulan las actuaciones del Sistema Educativo Nacional en la prevención de emergencias y desastres. La Resolución obliga a las Secretarías de Educación a nivel Departamental y Municipal a incorporar la prevención y atención de desastres dentro del Proyecto Educativo Institucional, según el conocimiento de las necesidades y riesgos de la región, entre otras disposiciones.
Ley 165 de 1994	Por la cual se aprueba la adopción del Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica. El Estado Colombiano como parte contratante se ve obligado a inventariar y monitorear la biodiversidad, establecer áreas protegidas, fomentar la rehabilitación y restauración de ecosistemas degradados en colaboración con la población local y promover el respeto del conocimiento tradicional e indígena sobre la biodiversidad, entre otras disposiciones.
Decreto 969 de 1995	Por el cual se organiza y reglamenta la Red Nacional de Centros de Reserva para la Atención de Emergencias.
Ley 322 de 1996	Mediante la cual se crea el Sistema Nacional de Bomberos el cual formará parte del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones.
Ley 388 de 1997	Denominada Ley de ordenamiento territorial. Instrumento básico para desarrollar el proceso de ordenamiento del territorio municipal. Obliga a todos los municipios del país a formular planes de ordenamiento territorial teniendo en cuenta la zonificación de amenazas y riesgos.  Obliga a todos los departamentos del país a prestar asistencia técnica para la formulación de los planes de ordenamiento municipal.  Promueve el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.
Ley 400 de 1997	Por el cual se adoptan normas sobre construcciones sismos resistentes. Establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas y de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad posterior a un sismo que puedan verse sometidas a fuerzas sísmicas y otras fuerzas naturales, con el fin de que sean capaces de resistirlas, incrementar sus resistencia a los efectos que éstas producen, reducir al mínimo el riesgo de pérdida de vidas humanas y defender el patrimonio del Estado y de los ciudadanos, entre otras disposiciones.
Decreto 2340 de 1997	Por el cual se dictan unas medidas para la organización en materia de prevención y mitigación de incendios forestales y se dictan otras disposiciones.
CONPES 2948 de 1997	Estrategias de actuación y coordinación para reducir las afectaciones ante la eventual ocurrencia de un fenómeno de variabilidad climática: el niño 2018 - 2019.
Decreto 93 de 1998	Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. El Decreto orienta las acciones del Estado y de la sociedad civil para la prevención de desastres como la atención y reconstrucción posterior al mismo.

Norma	Descripción
	<p>Determina todas las políticas, acciones y programas, tanto de carácter sectorial como del orden nacional, regional y local, igualmente, prioriza el conocimiento sobre riesgos de origen natural y antrópico y la incorporación de la prevención y reducción de riesgos en la planificación.</p> <p>De igual forman, promueve la incorporación de criterios preventivos y de seguridad en los Planes de Desarrollo y la recuperación rápida de zonas afectadas, evita duplicidad de funciones y disminuye los tiempos en la formulación y ejecución de proyectos.</p>
Decreto 879 de 1998	Reglamenta las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los planes de ordenamiento territorial.
Decreto 350 de 1999	Dicta disposiciones para hacer frente a la emergencia económica, social y ecológica causada por el terremoto ocurrido el 25 de enero de 1999. El Decreto dicta entre otras disposiciones que las Corporaciones Autónomas Regionales con jurisdicción en la zona de desastre apoyarán y asistirán técnicamente a los municipios afectados en el área de su jurisdicción, en la incorporación de los determinantes y criterios ambientales en sus planes de ordenamiento
Decreto 2015 de 2001	Reglamenta la expedición de licencias de urbanismo y construcción con posterioridad a la declaración de situación de desastre o calamidad pública. El Decreto constituye un régimen especial que se aplica para la expedición de licencias de urbanismo y construcción por parte de las autoridades competentes únicamente para los proyectos inmobiliarios que se pretendan desarrollar con posterioridad a la declaración de desastre o calamidad pública y mientras la declaratoria subsista.
CONPES 3146 de 2001	Define las estrategias y recursos para la ejecución del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 2001	Elabora el primer inventario nacional de Gases de Efecto Invernadero. Identifica los ecosistemas más susceptibles al cambio climático y se plantean las primeras medidas de adaptación para el país.
Lineamientos de Política de Cambio Climático 2002 Ministerio de Medio Ambiente y Departamento nacional de Planeación	Buscan mejora la capacidad de adaptación a los impactos del cambio climático al tiempo que promueve la reducción de emisiones por fuente y absorción por sumideros de GEI, la investigación, divulgación y concientización pública y el fortalecimiento del Sistema de Información en Cambio Climático. Adicionalmente, busca desarrollar mecanismos financieros que apoyen el programa.
CONPES 3242 de 2003	Establece y reglamenta la venta de Servicios Ambientales de Mitigación de Cambio Climático
CONPES 3318 del 2004	Autorización a la nación para contratar operaciones de crédito externo con la banca multilateral hasta por \$260 millones de dólares para financiar parcialmente el programa de reducción de la vulnerabilidad fiscal del Estado frente a los desastres naturales.
Resolución 3580 de 2007	Por la cual se expide el reglamento general administrativo, operativo y técnico del Sistema Nacional de Bomberos de Colombia.
Directiva Ministerial N.12 de 2009	Prohíbe a las Secretarías de Educación de las entidades territoriales interrumpir la prestación del servicio educativo en situaciones de emergencia.
Política Nacional de Biodiversidad	Busca comunicar la forma en que Colombia orientará a largo plazo las estrategias nacionales sobre la biodiversidad y definir los encargados de las diferentes tareas de acción. Sus objetivos son: conservar, conocer y utilizar la biodiversidad. Hace énfasis en la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de la biodiversidad.
Segunda Comunicación Nacional ante CMNUCC 2010	<p>Presenta el inventario nacional de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero 2000 y 2004.</p> <p>Identifica oportunidades de reducción y captura de gases efecto invernadero a la vez que determina la alta vulnerabilidad de Colombia ante los efectos adversos del cambio climático.</p> <p>Expone acciones que se han adelantado en materia de adaptación y determina prioridades de acción.</p>
Tercera comunicación nacional ante CMNUCC	<p>Presenta la información crítica para entender la vulnerabilidad del país, la capacidad y opciones para adaptarnos al cambio climático, así como nuestras opciones para manejar las emisiones de Gases Efecto Invernadero.</p> <p>Presenta el análisis de los riesgos tanto para la población como para los territorios asociados a los efectos de cambio climático (ocurrencia de eventos climáticos extremos, cambios graduales en la temperatura y la precipitación, pérdida de servicios ecosistémicos, entre otros)</p>

Norma	Descripción
Decreto 3888 del 10 de octubre de 2007	Por el cual se adopta el Plan Nacional de Emergencia y Contingencia Para Eventos de Afluencia Masiva de Público y se Conforman la Comisión Nacional Asesora de Programas Masivos y se Dictan Otras Disposiciones.
Decreto 4580 de 2010	Por el cual se declara el Estado de Emergencia Económica, Social Ecológica por razón de grave calamidad pública
Decreto 4628 de 2010	Dicta normas para la expropiación por vía administrativa con indemnización previa, la adquisición del derecho de dominio y de los demás derechos reales indispensables para la ejecución de los planes específicos encaminados a solucionar los eventos ocurridos por la ola invernal en el territorio nacional y se adoptan otras medidas.
Decreto 4629 de 2010	Modifica transitoriamente el Art 45 de la Ley 99 de 1993 y se dicta otras disposiciones para atender la situación de desastre nacional y de emergencia.
Decreto 4673 de 2010	Adiciona el artículo 38 de la Ley 1333 de 2009 y dicta más disposiciones para atender la situación de desastre nacional, con directrices específicas para las autoridades ambientales
Ley 1454 de 2011	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial (LOOT). Por la cual se dictan normas orgánicas sobre ordenamiento territorial y se modifican otras disposiciones. La LOOT pone en marcha las Zonas de Inversión para la superación de la pobreza y la marginalidad, define la aplicación de recursos de regalías (Fondos de Compensación Territorial y de Desarrollo Regional), establece Regiones de Planeación y Gestión y de las Regiones Administrativas y de Planificación al tiempo que posibilita la conformación de provincias como instancias administrativas y de planificación, facilita la conformación de áreas metropolitanas y fortalece su régimen fiscal.  Igualmente flexibiliza competencias entre nación y entidades territoriales mediante la figura del “contrato plan”.
Decreto 020 de 2011	Por el cual se declara el Estado de Emergencia Económica, Social y Ecológica por razón de grave calamidad pública.
Decreto 141 de 2011	“Por medio del cual se modifican los artículos 24, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 37,41,44,45,65 y 66 de la Ley 99 de 1993, y se adoptan otras determinaciones”
CONPES 3700 de 2011	Define la estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático. El documento dicta la creación del Sistema Nacional Cambio Climático; define el plan de acción de la estrategia financiera y ordena la creación del Comité de Gestión Financiera para el Cambio Climático; propone la generación de información sobre cambio climático en las estadísticas oficiales (DANE) y anuncia el Estudio de Impactos Económicos de Cambio Climático para Colombia – EIECC; entre otras estrategias.
Decreto 510 de 2011	Por el cual se adoptan las directrices para la formulación del Plan de Atención para la Atención de Emergencia y Mitigación de sus efectos. El decreto adopta las directrices que deben adoptar las CAR para la formulación del PAAEM.
Decreto Ley 019 de 2012 (art 189)	Establece el procedimiento de la revisión de los POT en la línea de Gestión del Riesgo y obliga a realizar el análisis de riesgo en los POT.
Ley 1523 de 2012	Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Esta Ley permite establecer medidas directas para la prevención y mitigación de riesgos por medio de la planeación Nacional, Departamental y Municipal. Establece la corresponsabilidad de los sectores públicos privados y de la comunidad frente a los riesgos naturales por medio del conocimiento del riesgo, la prevención de riesgos y el manejo de desastres.
Ley 1617 de 2013	Por la cual se expide el régimen para los distritos especiales. El objeto de esta ley es el de dotar a los distritos de las facultades, instrumentos y recursos que les permiten cumplir sus funciones y prestar los servicios a su cargo, así como promover el desarrollo integral de su territorio para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, a partir del aprovechamiento de sus recursos y ventajas derivadas de las características, condiciones y circunstancias especiales que estos presentan.
Decreto 1807 de 2014	Por el cual se establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan.
Decreto 1076 de 2015	“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y desarrollo sostenible”
Decreto 1077 de 2015	“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio”
Ley 2079 de 2021	Tiene por objeto reconocer la política pública de hábitat y vivienda como una política de Estado que diseñe y adopte normas destinadas a complementar el marco normativo dentro del cual se formula y ejecuta la política habitacional urbana y rural en el país, con el fin de garantizar el ejercicio efectivo del derecho a una vivienda y hábitat dignos para todos los colombianos.

Norma	Descripción
Decreto 1232 de 2020	Por medio del cual se adiciona y modifica el artículo 2.2. 1.1 del Título 1, se modifica la Sección 2 del Capítulo 1 del Título 2 y se adiciona al artículo 2.2.4.1.2.2 de la sección 2 del capítulo 1 del Título 4, de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015 Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con la planeación del ordenamiento territorial
Decreto 824 de 2021	Por medio del cual se modifica el Decreto 1077 de 2015 Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con la cartografía para el ordenamiento territorial".

**Fuente:** Guía para la elaboración de los planes departamentales de gestión de riesgo, UNGRD

El Decreto 1077 de 2015 compila todos los temas relacionados con gestión del riesgo en su **SECCIÓN 3. Incorporación de la gestión del riesgo en los Planes de Ordenamiento Territorial** dictando lineamientos fundamentales para el desarrollo de los estudios básicos, detallados e incorporación del riesgo. En el desarrollo del contrato será la carta de navegación de este para el desarrollo de las actividades.

Los procesos de movimientos en masa son comunes en las zonas montañosas colombianas, en especial, por la presencia de laderas con pendientes pronunciadas y clima ecuatorial, con lluvias torrenciales y cíclicas. En el país gran parte de las concentraciones urbanas se ubican en la región Andina, donde precisamente ocurren la mayoría de los eventos por movimientos en masa. El crecimiento demográfico y el desarrollo de infraestructuras en dicha región, acelera la posibilidad de ocupar áreas potencialmente inestables (Blanco, 2016). De acuerdo con lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, las escalas de trabajo para la elaboración de los estudios básicos se presentan en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Escalas de trabajo Decreto 1807.

Tipo de estudio	Clase de suelo	Escala
Estudio Básico	Urbano	1 :5.000
	Expansión Urbana	1 :5.000
	Rural	1 :25.000
Estudio Detallado	Urbano	1 :2.000
	Expansión Urbana	1 :2.000
	Rural Suburbano	1 :5.000

**Fuente:** Decreto 1807 de 2014

A continuación, se presentan algunos conceptos básicos de utilidad en el marco del presente estudio

- **Amenaza:** Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. (Núm. 3, art 4, Ley 1523 de 2012)
- **Análisis y evaluación del riesgo:** Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. (Núm. 4, art 4, Ley 1523 de 2012)
- **Conocimiento del riesgo:** Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre. (Núm. 7, art 4, Ley 1523 de 2012)

- **Gestión del riesgo:** Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. (Núm. 11, art 4, Ley 1523 de 2012)
- **Intervención:** Corresponde al tratamiento del riesgo mediante la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir la amenaza que representa o de modificar las características intrínsecas de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad. (Núm. 12, art 4, Ley 1523 de 2012)
- Los **procesos de movimientos en masa** son aquellos que involucran el movimiento de materiales formadores del terreno bajo la influencia de la gravedad (por lo cual también se les conoce como procesos gravitacionales) (Alcántara, 2000). Existen diferentes tipos que se clasifican en función del material implicado, de la clase de movimiento exhibido y de la velocidad del mismo (Varnes, 1984) y (Hamblin, 1995). De tal forma que incluye la caída o desprendimiento de materiales, los vuelcos, deslizamientos, expansiones laterales, flujos y los movimientos complejos, este último resultado de la combinación de dos o más de los anteriores tipos (Alcántara, 2000).

De acuerdo (Alcántara, 2000), en español el término “deslizamiento”, se ha utilizado indistintamente para englobar los procesos de movimientos en masa, ocasionando una confusión en la terminología. En un sentido estricto, el significado del término deslizamiento implica el movimiento de material sobre un plano o superficie, lo cual indica que es un tipo de proceso de movimientos en masa con un mecanismo de movimiento específico.

La **susceptibilidad** a sufrir algún proceso de movimientos de masa es definida por (Brabb, 1984), como la tendencia de un deslizamiento a ser generado en el futuro en un área específica. En el mismo sentido, (Soeters y Van Westen, 1996), definen susceptibilidad como la posibilidad de que un fenómeno ocurra en un área de acuerdo con las condiciones locales del terreno, y especifican que factores detonantes tales como precipitación o sismicidad no son considerados. Para el presente documento, el termino susceptibilidad aplicado a los procesos de movimientos en masa se entiende como el grado de propensión que tiene un terreno o espacio a sufrir esta clase de procesos en función de la correlación de variables condicionantes de la inestabilidad.

- **Riesgo de desastres:** Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad. . (Núm. 25, art 4, Ley 1523 de 2012)
- **Vulnerabilidad:** Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus

sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

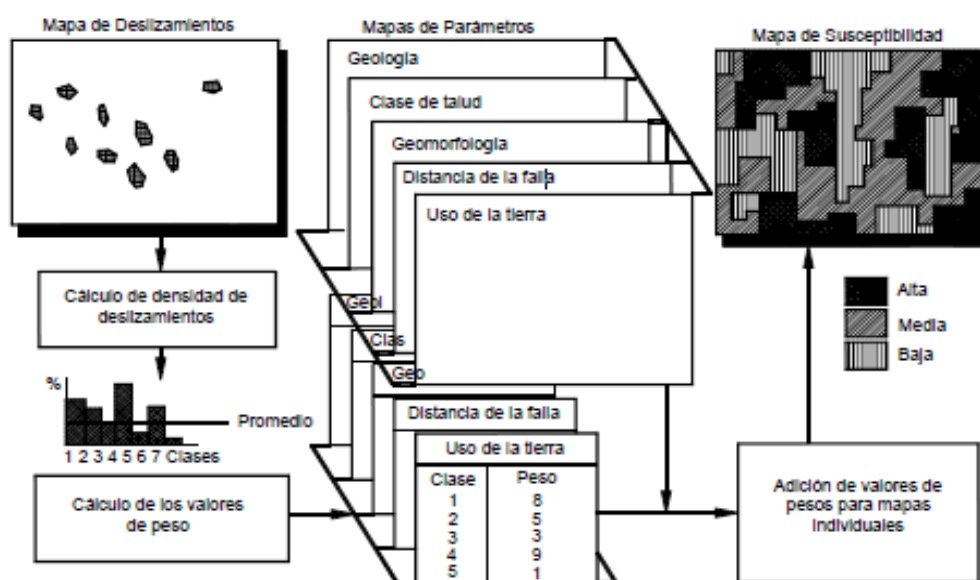
#### 4. EVALUACIÓN DE AMENAZA POR PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA SUELO RURAL

Para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa en la zona rural se hará uso del método estadístico. El método consiste en la relación que existe entre los movimientos en masa ocurridos y los diferentes factores o unidades homogéneas que se consideren importantes; así las cosas, el método permite identificar la densidad de los movimientos en masa en cada uno de los polígonos estudiados mediante la proporcionalidad de área ocupada por dichos movimientos en cada factor o variable establecida.

La evaluación de la amenaza requiere del conocimiento de la susceptibilidad que evalúa la distribución de movimientos en masa en ladera y procesos de vertientes generadores de desequilibrio morfogenético, tomando en consideración el enfoque geomorfológico, cuyo objetivo es determinar la variación espacial de la inestabilidad de las laderas y su representación cartográfica mediante el mapa de susceptibilidad geomorfológica.

La evaluación de la susceptibilidad se fundamenta en el análisis y especialización de factores ambientales que inciden en la estabilidad de las vertientes, adicionando como factor detonante la posibilidad de que el evento registrado se repita, por esta razón no se analizan los demás elementos mencionados por parte de la guía del servicio geológico colombiano como lo son caída y flujo ya que estos no se encuentran dentro del inventario de procesos obtenido y reportado, la relación entre estos factores que evaluados por separado y luego se integran para obtener una visión general del área. La **Figura 1**, muestra a partir de un mapa mental la distribución de importancia de cada una de las variables analizadas para obtener el mapa final. Determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.

**Figura 1.** Metodología para calcular el mapa de susceptibilidad. Tomado de Suárez.



Fuente: Soeters y Van Westen, 1996.

Una vez se obtiene el mapa de susceptibilidad se realiza el cruce de esta información con los elementos detonantes, en conclusión, para la obtención del mapa de amenaza se tienen en cuenta los factores detonantes, de acuerdo con la metodología se consideran los factores naturales (precipitaciones y sismos) y antrópicos (cortes y rellenos u otras modificaciones), para el caso de la zonificación se consideraron las precipitaciones y Sismo como condicionantes en la obtención del mapa de amenaza final.

#### 4.1 Susceptibilidad a procesos de movimientos en masa

La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir movimientos en masa (Caída, reptación, deslizamientos rotacional y traslacional, flujos, deslaves, volcamientos, avalanchas y erosión). El mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van de estable a inestable.

El mapa de susceptibilidad muestra dónde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir movimientos en masa. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad. (Suárez, 2000), un ejemplo de ello se presenta a continuación:

**Tabla 3.** Análisis de susceptibilidad en laderas. Modificado de Suárez.

<b>Alta</b>	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe una alta posibilidad de que ocurran.
	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
<b>Moderada</b>	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, donde no han ocurrido deslizamientos, pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
<b>Baja</b>	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

**Fuente:** Tomado de Suarez, 2000.

El mapa de susceptibilidad es un mapa en el cual se zonifican las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, que se obtiene de un análisis multivariado entre los factores del terreno que afectan la susceptibilidad a los deslizamientos y el mapa de inventario de movimientos en masa.

Se desarrollará el método estadístico, el cual se refiere al cálculo de la densidad en los deslizamientos, para cada unidad geomorfológicamente homogénea o para determinados rangos de factores determinantes de la estabilidad. La densidad de los deslizamientos se toma típicamente, como el porcentaje del área que es ocupada por estos.

El método estadístico superpone mapas de parámetros y mapas de unidades homogéneas al mapa de inventario de deslizamientos y calcula las densidades del deslizamiento.

Luego, el mapa de distribución de deslizamientos se combina con los diversos parámetros dentro de una grilla o matriz, la cual se analiza mediante el análisis de regresión múltiple o discriminante. Este modelo se basa en la suposición, que un área donde han ocurrido deslizamientos posee un ambiente susceptible para la ocurrencia de nuevos deslizamientos de forma similar a los deslizamientos históricos.

Estos ambientes son identificados por factores que afectan la ocurrencia de los deslizamientos como la litología, el uso de la tierra, las pendientes, las isoyetas de lluvias, etc. (Lan y otros, 2004). Los valores de pesos de cada factor pueden basarse en la experiencia del profesional especializado, o en el análisis estadístico independiente para cada factor utilizando el inventario de deslizamientos, en este caso se hace la aclaración que los valores de pesos fueron obtenidos a partir del inventario de deslizamientos obtenido y enunciado en el capítulo 4.2.3. Inventario de procesos.

Se superponen mapas de parámetros y mapas de unidades homogéneas al mapa de inventario de deslizamientos y se calculan las densidades del deslizamiento. El mapa de distribución de deslizamientos se combina con los diversos parámetros dentro de una grilla o matriz, la cual se analiza mediante el análisis de regresión múltiple o discriminante. Otro análisis muy importante es la determinación de la distribución del tamaño y la frecuencia de los deslizamientos. Tanto el tamaño como la frecuencia son factores significativos del riesgo asociado. Los deslizamientos grandes comúnmente generan riesgos grandes y los pequeños, generan riesgos menores.

Este método está basado en la siguiente ecuación:

$$\ln W_i = \ln \left( \frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}} \right) = \ln \left( \frac{\frac{\text{Npix}(S_i)}{\text{Npix}(N_i)}}{\frac{\sum \text{Npix}(S_i)}{\sum \text{Npix}(N_i)}} \right)$$

Fuente: Tomado de Suarez, 2000.

Ecu. 1 donde,

**Wi** = La ponderación dada a una cierta clase de parámetro (p.e. un tipo de roca, o una clase de pendiente).

**Densclas** = el grado de deslizamiento dentro de la clase de parámetro.

**Densmap** = el grado de pendiente de todo el mapa.

**Npix(Si)** = número de pixeles, los cuales contienen los deslizamientos, dentro de una cierta clase de parámetro.

**Npix(Ni)** = número total de pixeles dentro de una cierta clase de parámetro.

El método está basado en un cruce de un mapa de movimientos en masa con un cierto mapa de parámetro (geología, geomorfología, coberturas, etc.). El cruzamiento del mapa resulta de una tabla de cruce, que puede ser usada para calcular el grado de movimiento en masa por clase de parámetro. Una estandarización del grado de movimiento en masa puede obtenerse relacionando la totalidad de grados presentes en el área. La relación puede estar hecha por división o sustracción. En este ejercicio el grado de movimiento en masa por clase está dividido por el grado de movimiento en masa del área total. El logaritmo natural es usado para dar un peso negativo cuando el grado de movimiento en masa es más bajo de lo normal, y positivo cuando sea más alto de lo normal. Combinando dos o más mapas ponderados puede ser creado un mapa de susceptibilidad.

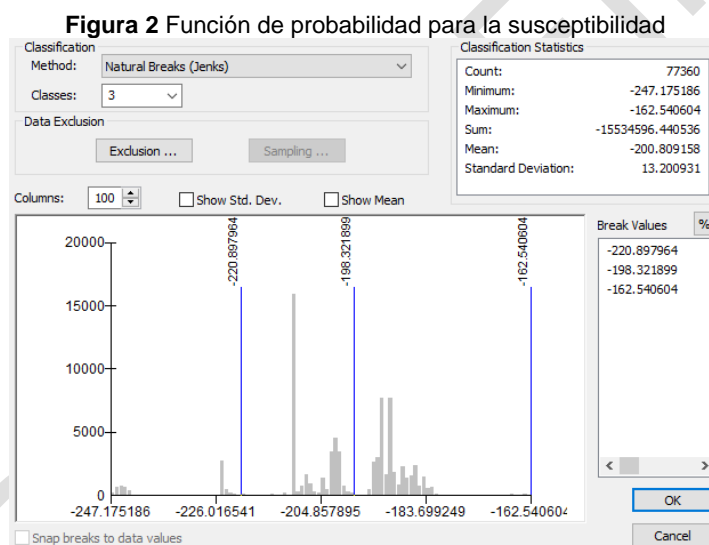
Los valores del mapa de susceptibilidad se obtienen por una simple adición separada de los valores de ponderación. Así mismo para la obtención del mapa de amenaza se tienen en cuenta los factores detonantes, de acuerdo con la metodología se consideran los factores naturales (precipitaciones y sismos) y antrópicos (cortes y rellenos u otras modificaciones), para el caso de la zonificación se consideraron las precipitaciones y los movimientos en masa como condicionantes en la obtención del mapa de amenaza final.

#### 4.1.1 Cálculo del coeficiente de certeza (CF) para cada factor básico.

El coeficiente de certeza es una función de favorabilidad, lo cual permite manejar el problema de la heterogeneidad y de la incertidumbre de la información de entrada de los modelos. El CF como función de probabilidad, donde ppa es la probabilidad condicional de que ocurra un número determinado de eventos de deslizamiento para un determinado valor de un parámetro y pps (Probabilidad anterior) es la probabilidad de que ocurra un número total de deslizamientos en el área de estudio A.

El rango de variación del coeficiente CF es de -1.0 a + 1.0. El mayor valor positivo indica el aumento de la certeza en la ocurrencia de deslizamientos, mientras los valores negativos, indican una disminución de la certeza. Un valor cercano a 0.0 significa que la probabilidad anterior es muy similar a la probabilidad condicional, es decir, que es muy difícil dar una indicación de la ocurrencia de deslizamientos. Cada valor de un factor tiene un determinado coeficiente de certeza (CF).

Los factores de favorabilidad (ppa, pps) se obtienen de superponer cada capa de datos en el mapa de inventario de deslizamientos en ArcGIS y de calcular la frecuencia de ocurrencia de los deslizamientos. Los valores de CF se calculan para cada valor de los parámetros básicos (Litología, estructura, pendiente etc.).



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Una vez obtenido el mapa de susceptibilidad se analiza la distribución de los datos de manera estadística de tal forma que se pueda separar en 3 categorías como lo solicita la metodología del Servicio Geológico Colombiano, de esta manera se disminuye el grado de incertidumbre obteniendo una función de probabilidad para un número determinado de eventos en una determinada área de cada variable, lo cual es contrastable con el inventario de procesos según el cual en las zonas donde la susceptibilidad es baja no hay un evento que lo relacione.

## 4.2 Calificación de las variables

### 4.2.1 Geología

La geología como factor condicionante de muchas de las amenazas naturales, cumple un papel determinante en los procesos de predicción de PRM, por tanto, el siguiente análisis intenta hacer énfasis en determinar las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa teniendo en cuenta la distribución espacial de las unidades geológicas superficiales y su comportamiento geomecánico.

La evaluación de la susceptibilidad se fundamenta en el método estadístico, en combinación con el enfoque analítico, en la que se elabora un mapa temático de unidades geológicas superficiales, las cuales se evalúan de forma separada y posteriormente se integran para generar una evaluación multicriterio donde se clasifica el terreno en dominios de diferentes grados de susceptibilidad de acuerdo con el análisis espacial hecho mediante un SIG.

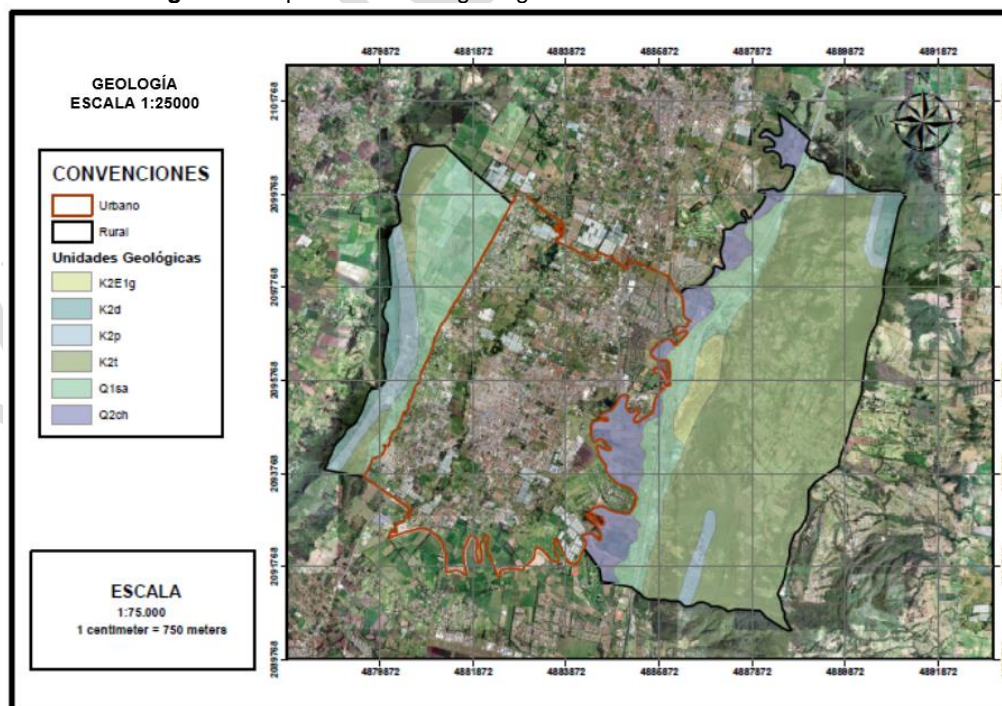
Se efectuaron actividades de control de campo, las cuales se enfocaron en la recopilación de información primaria de las características geológicas del terreno y los factores relacionados con la inestabilidad, corrección del trazo de los contactos geológicos y actualización de los depósitos. A partir de esa información primaria y secundaria producto del proceso de recopilación bibliográfica, se dio paso a la calificación de cada una de las variables.

Un mapa de geología para ingeniería es un tipo de mapa geológico que muestra información sobre la distribución y propiedades físicas y mecánicas de las rocas y los suelos, el agua subterránea, las características del relieve y los procesos geodinámicas actuales, que son considerados los componentes básicos del ambiente geológico, de suma importancia en estudios de geología aplicada a la ingeniería.

Las etapas básicas generales para la generación de esta cartografía son la recopilación de información secundaria relacionada, la definición del marco geológico y estructural regional, la delimitación y caracterización de las unidades, así como la elaboración del mapa a partir de la cartografía básica, el modelo digital de elevación y el trabajo de campo, empleando el criterio experto. Es importante hacer una completa recopilación de información secundaria relacionada que contemple la cartografía geológica existente en entidades como el Servicio Geológico Colombiano, organismo de respuesta de emergencias, entre otros.

#### 4.2.1.1 Geología regional (CAR 2019)

Figura 3. Mapa de unidades geológicas zona rural a escala 1:25.000



Fuente: POMCA río Bogotá. CAR

La geología oficial que corresponde al municipio fue publicada por el Servicio Geológico Colombiano, a escala 1:100.000, bajo el nombre de Plancha No.209 Zipacquirá y ajustada en la

actualización del POMCA del río Bogotá por la CAR a escala 1:25.000. Las unidades aflorantes de esta región están compuestas principalmente por depósitos de sabana, areniscas y rocas sedimentarias, las cuales se encuentran en las formaciones Guaduas, Arenisca Dura y Plaeners entre otras.

#### 4.2.1.1.1 Formación Arenisca Dura (K2d)

Esta unidad referenciada originalmente por Hubach en 1931 y Renzoni en 1962, se presenta conformando algunos de los cerros que bordean la Sabana de Bogotá, tanto al oriente como al occidente y al sur. Los mejores afloramientos se observan en los flancos y núcleos de algunos pliegues anticlinales, entre los que se tienen los siguientes sectores: costados oriental, suroriental y occidental de la Sabana.

Está constituida por areniscas cuarzosas, gris claras, de grano fino, en estratificación delgada a muy gruesa, lenticulares a plano paralelas, con intercalaciones esporádicas de arcillolitas y limolitas. Presenta un espesor variable, el cual oscila entre 308 y 460 m para el sector de los cerros surorientales y suroccidentales de la Sabana de Bogotá y entre 185 y 350 m para el área occidental de la sabana (Caro & García, 1988; Pérez & Salazar, 1973; Martínez, 1990). Esta unidad se depositó en un ambiente litoral a sublitoral (Pérez & Salazar, 1973) y su edad es Campaniano-Santoniano.

El contacto inferior de La Formación Arenisca Dura es concordante; mientras que el superior es suprayacida en su mayor parte por la Formación Plaeners en contacto neto y concordante.

#### 4.2.1.1.2 Formación Plaeners (K2p)

Unidad referenciada por Hubach en 1957, la cual había sido descrita en 1931, y redefinida por Renzoni (1962, 1968). Aflora en los flancos de algunos de los cerros que bordean la Sabana de Bogotá, y hacen parte de las estructuras anticlinales.

Litológicamente está constituida: en la parte inferior, por paquetes de areniscas de grano fino, arcillolitas y limolitas silíceas, y liditas; la parte media, por una alternancia de limolitas, arcillolitas y areniscas de grano fino, y la parte superior, por limolitas y liditas. El espesor de la unidad es variable y oscila entre 156 y 212 m para la parte nororiental y suroccidental de Bogotá, y entre 60 y 300 m para la región occidental y noroccidental de la sabana. Su deposición ocurrió en un ambiente marino, de llanuras de lodo, durante el Maastrichtiano temprano (Pérez & Salazar, 1973).

El contacto inferior concordante con la Formación Arenisca Dura se trazó en la base de la capa más baja de limonitas silíceas, la cual suprayace a una espesa secuencia de arenitas; el contacto superior, se ubicó en el techo de la capa más alta de limolitas silíceas, la cual infrayace una secuencia espesa de arenitas de cuarzo de la Formación Labor y Tierna.

#### 4.2.1.1.3 Formación Labor y Tierna (K2t)

Esta unidad fue definida por Renzoni en 1968. Al igual que las dos unidades anteriores y como unidad superior del Grupo Guadalupe, constituye la mayor parte de los cerros que bordean La Sabana de Bogotá.

Litológicamente consta de tres conjuntos: a) uno inferior conformado por areniscas cuarzosas, de color gris claro, de poco espesor, de grano fino a medio, ligeramente friables; b) un conjunto intermedio donde predominan arcillolitas y limolitas silíceas, y c) el conjunto superior constituido por areniscas cuarzosas, gris claro, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, moderadamente friables, y en estratos de 0,2 a 3,0 m de espesor.

El espesor total de la unidad es variable, así: para la región Suroriental de la Sabana de Bogotá oscila entre 235 y 290 m, mientras que para la región Occidental y Noroccidental oscila entre 166 y 300 m. Se considera que se depositó en un ambiente litoral durante el Maastrichtiano temprano a medio.

El contacto inferior es concordante y se ubicó en la base de la capa más baja de arenitas de cuarzo, la cual suprayace una secuencia de limolitas silíceas; el contacto superior igualmente concordante, y se localizó en el techo de la capa más alta de arenitas, que infrayace una secuencia de arcillolitas de la Formación Guaduas.

#### 4.2.1.1.4 Formación Guaduas (K2E1g)

Referenciada por Hettner en 1892, para agrupar sedimentos depositados en un ambiente marino (parte inferior), y en un ambiente transicional y aluvial (parte media y superior). Su edad se considera Maastrichtiano tardío - Paleoceno temprano (Sarmiento, 1995, y Martínez, 1990). El espesor total de la unidad es de 1.000 m para la región Oriental y suroccidental de Bogotá, y entre 700 y 1080 m para la región occidental y nororiental de la sabana (Martínez, 1990). En la cuenca del río Bogotá aflora en gran parte de la cuenca alta y media, en las zonas de piedemonte y en los cerros que bordean la Sabana de Bogotá., en las planchas 209, 228, 246 y 227.

Litológicamente consta de tres conjuntos litológicos: a) el inferior, conformado por arcillolitas y areniscas de grano fino y mantos de carbón; b) el conjunto intermedio, constituido por areniscas cuarzosas, de color gris claro, de grano fino a grueso, con intercalaciones menores de arcillolitas y mantos de carbón de poco espesor, y c) el superior, constituido por arcillolitas de color gris oscuro, con intercalaciones menores de areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso y mantos de carbón.

#### 4.2.1.1.5 Formación Chía (Q2ch)

Corresponde a sedimentos fluviales de inundación, y de los cauces actuales, localizados a lo largo de los ríos principales que cruzan la Sabana de Bogotá, algo por debajo de la planicie general. Los sedimentos de la Formación Chía se pueden interpretar como arcillas de inundación, de una edad Pleistoceno Tardío a Holoceno.

Litológicamente está constituida principalmente por arcillas de color gris claro, oscuro y amarillo; localmente puede contener limos y arcillas orgánicas. Su espesor máximo puede alcanzar los 5.00 m.

#### 4.2.1.1.6 Formación Sabana (Q2s)

Unidad referenciada inicialmente por Hubach (1957). Se encuentra básicamente en el propio altiplano y cubre la parte más o menos plana de la Sabana de Bogotá, suprayaciendo a la Formación Subachoque y otras unidades.

Comprende sedimentos lacustres, constituidos principalmente por arcillas. Hacia los márgenes de la cuenca existe un incremento en las intercalaciones de arcilla orgánica, turba, arcillas arenosas, arenas arcillosas y en sectores puntuales gravas, gravillas y arenas. En el centro de la cuenca representa aproximadamente 300 m de espesor, disminuyendo hacia los bordes. La edad es inferior a 1 millón de años, perteneciendo al Pleistoceno Medio a Tardío.

Los datos palinológicos indican que fue depositada en un lago (ambiente lacustre) con fluctuaciones del nivel de agua, mostrando una relación estrecha con los cambios de las

condiciones climáticas y de vegetación. La deposición cesó hace cerca de 30.000 (A.P.) años con la desaparición del lago de la Sabana.

Los contactos, tanto inferior como superior de la Formación Sabana son discordantes.

#### 4.2.1.2 Geología Estructural

- Anticlinal de Bogotá

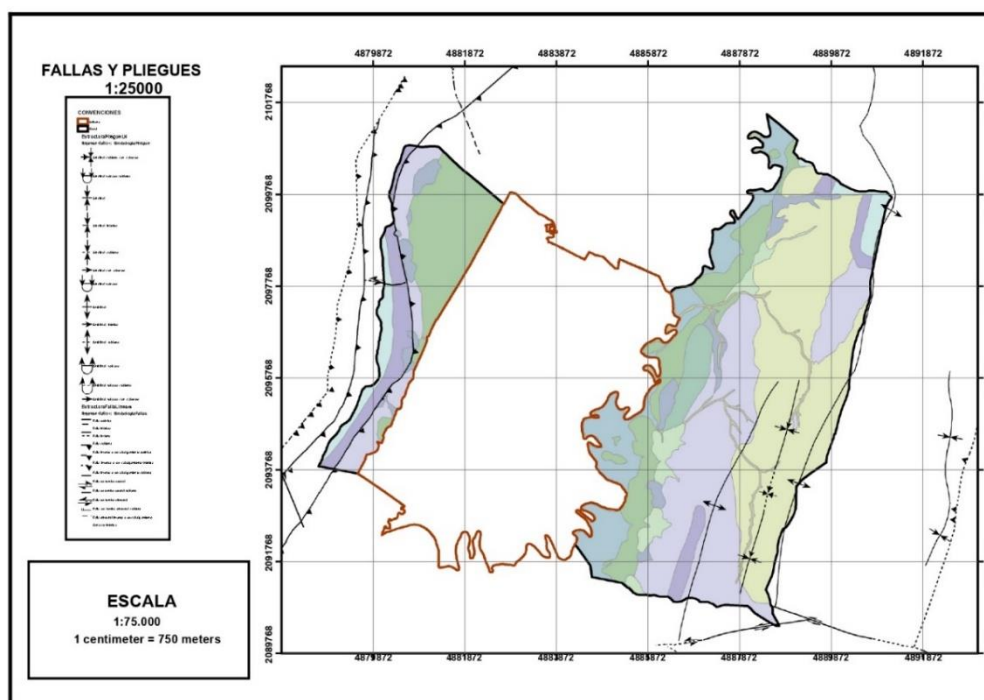
Esta denominación ha sido usada ampliamente, para designar el anticlinal situado en los cerros orientales de Bogotá, entre el Alto de Chipaque y la vereda El Hato, sobre la carretera Bogotá – La Calera. El núcleo de esta gran estructura está en rocas de la Formación Chipaque o en las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor Tierna, el eje tiene un rumbo de N10°E, entre Bogotá y Tibitoc y cambia a N50°E en el sector de Nemocón. Los flancos usualmente están afectados por fallas, como la de Bogotá que afecta el flanco occidental y la Falla de Nemocón que afecta el flanco oriental. La segmentación que se produce en la región de Tibitoc y el cierre estructural al sur de Nemocón puede ser debido a diapirismo de sal y que se manifiesta en superficie cerca de ahí en las localidades de Zipaquirá y Nemocón.

La zona rural el municipio presenta unidades geológicas superficiales de la formación arenisca dura hacia la zona oriental, donde se evidencian areniscas y algunas zonas con arcillolitas y limolitas. Los afloramientos se pueden ver con estratificaciones delgadas y densidad de fracturamiento alto, generado por el anticlinal de Bogotá y algunas fallas, en esta zona la resistencia es dura y la fábrica asociada a rocas clásticas Cementadas.

Hacia la zona central por las condiciones planas en sus pendientes, se presentan sedimentos fluviales de inundación, y de los cauces actuales, localizados a lo largo de los ríos principales como el Frío y Bogotá, con presencia de suelos con resistencias blandas y bajo fracturamiento.

El fracturamiento de los macizos se presenta en los sectores oriental y occidental del municipio, principalmente producidos por el anticlinal de Bogotá.

**Figura 4.** Rasgos Estructurales del área del municipio.



Fuente: POMCA río Bogotá. CAR

#### 4.2.1.2.1 Densidad de Fracturamiento

Es un atributo que depende de los sistemas de fallas presentes en la zona y su acción sobre las unidades litológicas observadas (SGC), en el análisis se tienen en cuenta fallas, pliegues y lineamientos y en la medida en que estos elementos se encuentren sobre el terreno o planos habrá una alta densidad y viceversa.

**Tabla 4.** Categorización del Atributo Densidad de Fracturamiento.

Término
Muy Baja densidad de Fracturamiento
Baja densidad de Fracturamiento
Media Densidad de Fracturamiento
Alta Densidad de Fracturamiento
Muy Alta Densidad de Fracturamiento

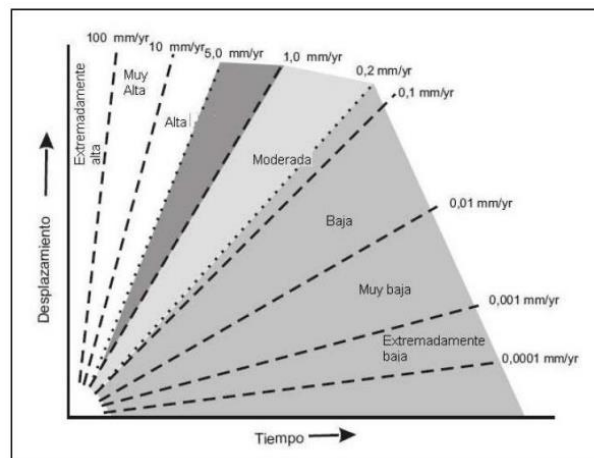
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

**Tabla 5.** Tasas de desplazamiento definidas para las fallas con deformaciones en el Cuaternario.

Tipo de estructura	Tasa de desplazamiento	Peso asignado
Falla	>1 mm/año	10
Falla	0.2 – 1 mm/año	9
Falla	< 0.2 mm/año	8
Resto de falla	Desconocido	7
Pliegue	No aplica	6

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

**Figura 5.** Tasas de desplazamiento de las fallas en el Cuaternario de Colombia.

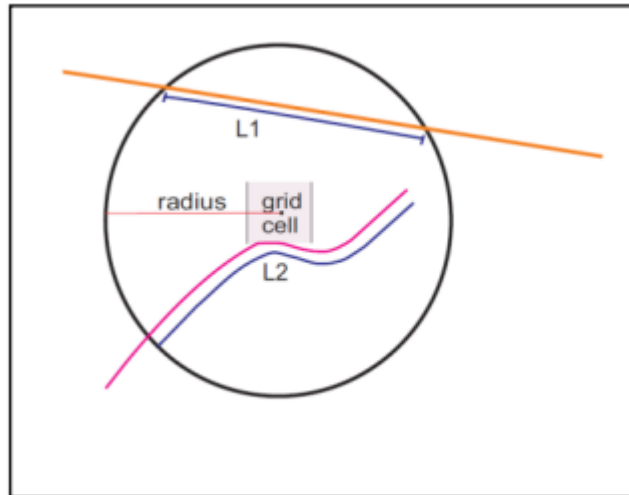


Fuente: Servicio Geológico Colombiano

La densidad de fracturamiento se calcula haciendo uso del algoritmo line Density de ArcInfo que se expresa en m/km<sup>2</sup>. La metodología del algoritmo consiste en el cálculo de la densidad de líneas en la vecindad de cada píxel definida por un radio de búsqueda, para esto a partir de cada centro se dibuja un círculo de radio R (**Figura 6**), se toma la longitud de la línea de falla que cae dentro de este círculo y se multiplica por el peso de la actividad. La suma total se divide entre el área del círculo, tal como se muestra a continuación:

$$\frac{((L1 * V1) + (L2 * V2))}{(\text{área del círculo})} = \text{Densidad}$$

**Figura 6.** Ilustración de la Ecuación 1 (Densidad).



Fuente: Servicio Geológico Colombiano

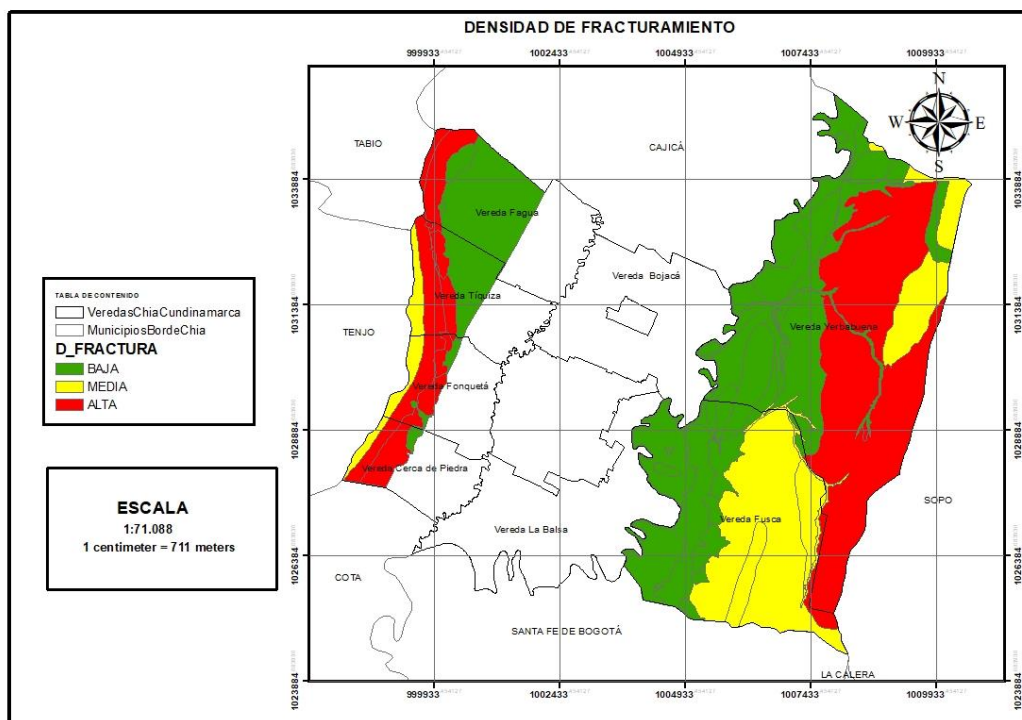
**Tabla 6.** Rangos de densidad y clasificación de susceptibilidad a nivel nacional

Rango de Densidad (m/km <sup>2</sup> )	Valor de clasificación
0,089–2.215	Muy baja 1
2.215–3.809	Baja 2
3.809–5.404	Media 3
5.404–7.53	Alta 4
7.53–22.591	Muy alta 5

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Para la zona rural el municipio presenta a nivel regional unidades geológicas superficiales de la formación arenisca dura hacia la zona oriental, donde se evidencian areniscas y algunas zonas con arcillolitas y limolitas. Los afloramientos se pueden ver con estratificaciones delgadas y densidad de fracturamiento alto, generado por el anticlinal de Bogotá y algunas fallas, en esta zona la resistencia es dura y la fábrica asociada a rocas clásticas Cementadas.

**Figura 7.** Densidad de Fracturamiento de las unidades geológicas superficiales

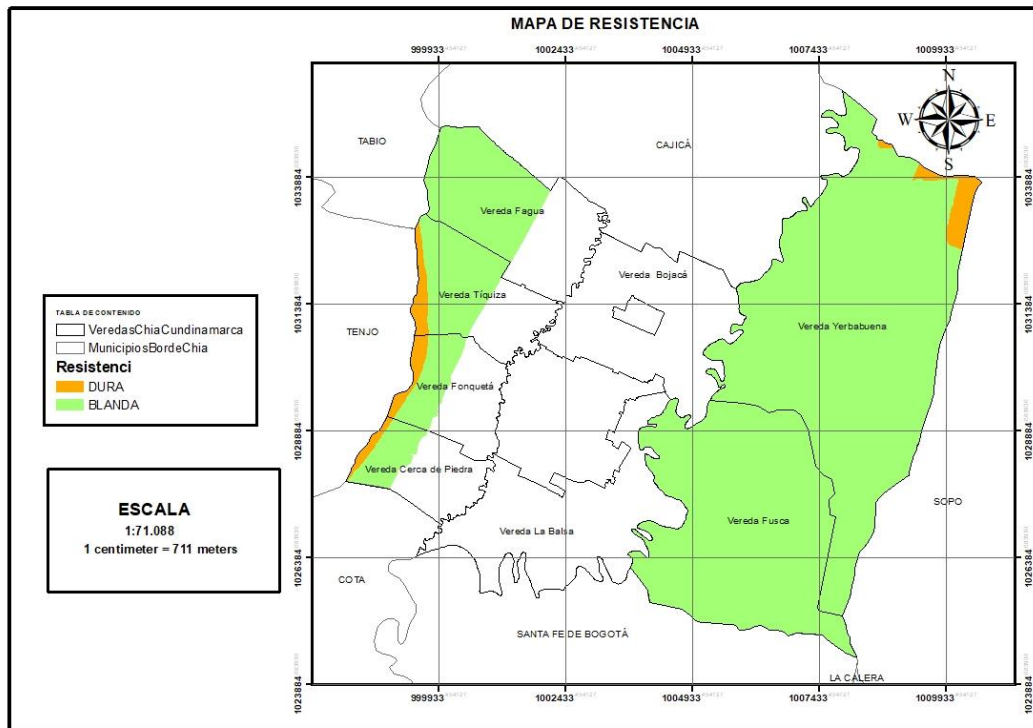


Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

#### 4.2.1.2.2 Resistencia y Fábrica de las Unidades Geológicas

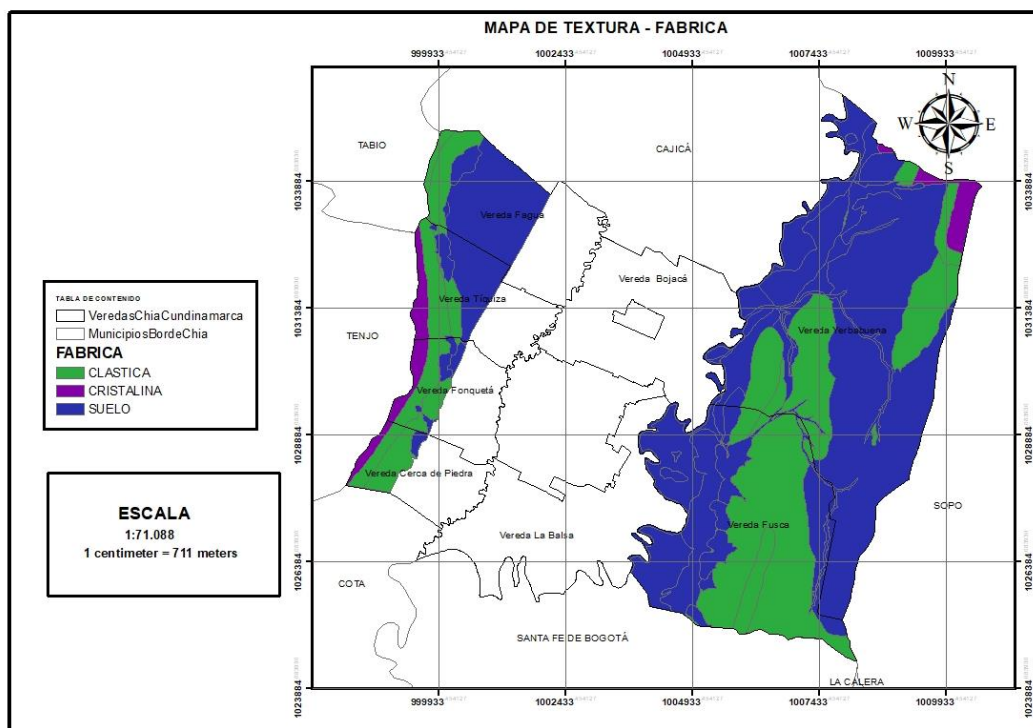
La delimitación de las unidades de roca se realizó teniendo en cuenta su comportamiento geomecánico basados en tres parámetros principales: resistencia, densidad de fracturamiento y fábrica. De acuerdo con la aplicación secuencial de la metodología del criterio de los expertos, De acuerdo con la aplicación secuencial de la metodología del criterio de los expertos, se obtuvo la siguiente ponderación tomando en cuenta información de tipo regional para unidades geológicas superficiales del Servicio Geológico Colombiano y del estudio del POMCA río Bogotá.

**Figura 8.** Resistencia de las unidades geológicas superficiales



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

**Figura 9.** Fábrica de las unidades geológicas superficiales



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

**Tabla 7.** Valores de resistencia para descripciones de roca

Descripción	Resistencia a compresión
Extremadamente blanda	< 1 MPa
Muy blanda	1 – 5 MPa
Blanda	5 – 25 MPa
Moderadamente blanda	25 – 50 MPa
Dura	50 – 100 MPa
Muy dura	100 – 250 MPa
Extremadamente dura	> 250 MPa

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

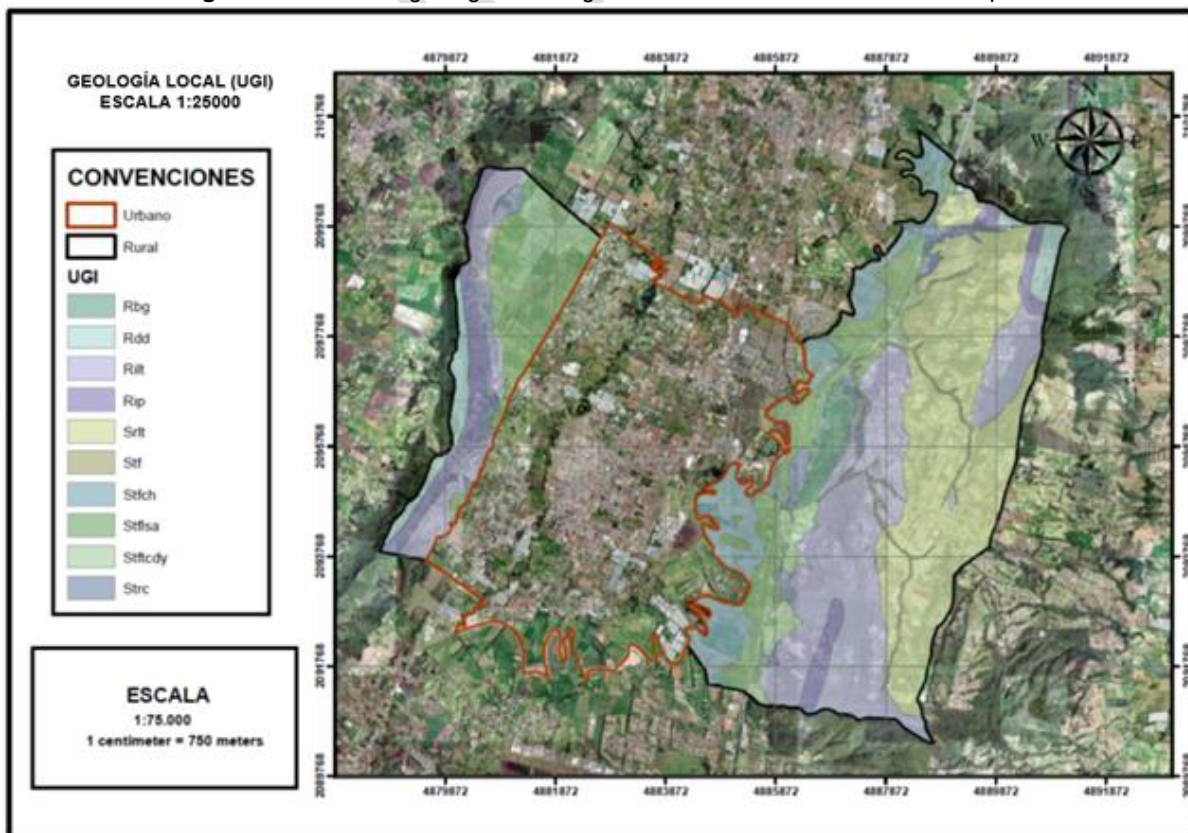
**Tabla 8.** Categorización del Atributo Textura-Fábrica.

Calificación de la textura/fábrica
Atributo
Suelos
<b>Cristalina Masiva.</b> En rocas de cualquier origen (ígneo, metamórfico o sedimentario) cuyas partículas minerales están entrelazadas y con orientación aleatoria. Corresponde a las rocas más resistentes y menos deformables, salvo las rocas volcánicas cuya calidad es un poco dispersa según sean porosas o no lo sean. Ejemplos: granitos, basaltos, calizas, chert, cuarcitas y mármoles.
<b>Cristalina Bandeada.</b> En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, conformando bandas composicionales con alguna influencia direccional. Ejemplo: Neis.
<b>Clásticas Cementadas.</b> En rocas con partículas cementadas, con resistencia y deformación variable, dependiendo de la calidad del material cementante, la relación matriz-clastos y el grado de empaquetamiento general que posea. Ejemplos: areniscas, conglomerados.
<b>Clásticas Consolidadas.</b> En estas rocas se presenta comportamiento variable esfuerzo, deformación, con direccionalidad de sus propiedades mecánicas. La resistencia se acrecienta con el grado de consolidación diagenética. Ejemplos: arcillolitas, lodolitas, shales.
<b>Cristalina Foliada y Rocas de Falla</b> En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, con una orientación preferencial a lo largo de la cual las rocas son menos resistentes. Su calidad se dispersa como consecuencia de su fábrica orientada, es decir, por los planos de esquistosidad y foliación. Ejemplos: Pizarras, filitas, esquistos, milonitas.

Fuente: Tomado y modificado de SGC, 2013.

#### 4.2.1.3 Geología Local

**Figura 10.** Unidades geológicas de ingeniería del área zona rural del municipio



Fuente: Tomado y ajustado POMCA río Bogotá. CAR



Para la caracterización, definición y clasificación de las unidades geológicas superficiales se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros geológico-ingenieriles.

La cartografía de las unidades de roca y suelo mostrados en los mapas geológicos de ingeniería deben delimitar estas unidades teniendo en cuenta que representen un cierto grado de homogeneidad en cuanto a las propiedades básicas de geología para ingeniería.

En relación con las unidades geológicas para ingeniería se pueden ver unidades de roca blanda de la formación Guaduas, rocas duras de la Unidad Arenisca dura y rocas intermedias de las formaciones Plaeners y Labor y Tierna. Así mismo, se presentan suelos transportados aluviales producidos cerca a los cauces, caracterizados por tener materiales no consolidados, areno limoso con gravas, cantos y bloques, también suelos transportados Aluviales de la Formación Chía con materiales de granulometría fina a media gruesa de arcillas, limos, arenas finas, gravas, gravillas y ocasionalmente bloques redondeados, suelos Transportados Fluvio Lacustre de la Formación Sabana, suelos transportados Fluvio Torrencial y suelos transportados Coluvial principalmente en la base de las laderas montañosas, colinas, lomas y escarpes rocosos que rodean la cuenca del río Bogotá.

#### **4.2.1.4 Roca Blanda Formación Guaduas (Rbg)**

Este grupo de rocas está compuesto por una secuencia predominante de arcillolitas de colores gris claro y oscuro, abigarrado, amarillo a naranja y rojizo por meteorización, de consistencia blanda, en estratificación delgada a muy gruesa; presenta intercalaciones de paquetes y/o conjuntos importantes de areniscas cuarzosas y feldespáticas, gris claras y amarillas por meteorización, de grano fino a grueso, ocasionalmente conglomeráticas, duras, compactas, en estratificación delgada a muy gruesa, y limolitas gris oscuras, en estratificación delgada y mantos importantes de carbón. Estas rocas se presentan en general moderadamente meteorizadas, con sectores altamente meteorizados, conformando suelos residuales de extensión y espesor importantes; en general se presentan poco fracturadas.

Las rocas de estas unidades presentan para los niveles arenosos un índice geológico de resistencia bueno a regular (G S I: 40 – 60%); mientras que para los niveles arcillosos presentan un índice geológico de resistencia de regular a pobre (GSI: 30-45%) y un  $J_v > 30 \text{ Fr/m}^3$ .

#### **4.2.1.5 Roca Dura Formación Arenisca Dura (Rdd)**

Está integrada por la Formación Arenisca Dura (K2d) del Grupo Guadalupe. Están constituidas predominantemente por areniscas, grises claros a blancas y amarillo por meteorización, de composición cuarzosa, grano muy fino a fino, compacto, en general bien cementado, con una textura clástica cementada, en estratificación gruesa a muy gruesa, con esporádicas y muy delgadas intercalaciones de limolitas y arcillolitas silíceas; en general poco meteorizadas y poco fracturadas. Presentan un  $J_v$  muy bajo ( $< 4,5 \text{ Fr/m}^3$ ) y un índice geológico de resistencia muy bueno (GSI = 70 – 80 %) y poco meteorizadas.

#### **4.2.1.6 Roca Intermedia Formación Labor y Tierna (Rilt)**

Constituidas por secuencia de areniscas cuarzosas y feldespáticas, grises claras a blancas y pardo amarillentas a rojizas por meteorización, de grano fino a grueso y ocasionalmente muy grueso a conglomerático, moderadamente cementadas, en general friables, de resistencia moderada a dura, en estratificación muy gruesa a delgada, ocasionalmente cruzada lenticular, poco fracturadas; con intercalaciones menores de limolitas, arcillolitas silíceas y lodolitas; las rocas se presentan en general moderadamente meteorizadas, con sectores localizados altamente



meteorizadas, las cuales originan suelos residuales de espesor importante; con un Jv en general bajo a medio (10-30 Fr/m<sup>3</sup>); con un índice geológico de resistencia en general bueno (G.S.I: – 50% – 70).

Presentan una morfología muy variada, desde laderas con pendientes suaves hasta abruptas y escarpadas. Conforman la mayor parte de los cerros que bordean las cuencas media y alta sabana.

Desde el punto de vista económico, es la principal unidad productora de arena de peña, para construcción y enchape, en la fabricación de vidrio y de concreto. Por su alta porosidad primaria y secundaria y posición estructural dentro de la secuencia estratigráfica, se constituye en un acuífero muy importante dentro de las cuencas media y alta.

#### **4.2.1.7 Roca Intermedia Formación Plaeners (Rip)**

Están constituidas por una secuencia interestratificada de limolitas y arcillolitas comúnmente silíceas y liditas, de colores blanco, gris claro, verdoso y oscuro y amarillo–naranja por meteorización, de resistencia moderadamente dura a dura, en estratificación muy delgada a delgada, en general muy fracturadas ; con intercalaciones de areniscas gris claras, grano fino a medio, compactas, en estratificación delgada; las rocas se presentan en general, débilmente meteorizadas a moderadamente meteorizadas, con sectores muy puntuales altamente meteorizadas, conformando suelo residual; con un Jv de medio a alto (de 10 a 30 Fr/m<sup>3</sup>) ; con un índice geológico de resistencia bueno (G.S.I : 50% – 60 %) y en sectores puntuales con un índice medio (35% – 45%).

Por las características de las discontinuidades el macizo rocoso se considera de calidad regular a buena. Conforman un relieve variado desde moderado hasta abrupto; se presentan en los flancos de algunos cerros conformantes de la cuenca baja y algunos que bordean las cuencas media y alta, y hacen parte de algunas estructuras anticlinales; afloran como fajas estrechas.

Desde el punto de vista económico se constituye en una fuente importante de materiales de construcción, especialmente como recebos en afirmado y sub – bases en la construcción de vías.

#### **4.2.1.8 Suelo Residual Formación Labor y Tierna (Srlt)**

Corresponden a la clase granular, cuya roca parental son predominantemente areniscas cuarzosas y cuarzo – feldespáticas. Se presentan en afloramientos de estas formaciones; de colores amarillo y naranja rojizo, de textura arenosa gruesa a media, de consistencia alta, de densidad relativa densa, en general secos y ocasionalmente húmedos, con estructuras relictas, ocasionalmente fisuras y grietas.

Presentan un recubrimiento de suelo orgánico de color gris oscuro de espesor variable entre 20 cm y 1.5 m. El espesor de los suelos arenosos oscila entre los 3 y 10 m medidos hasta la roca moderadamente meteorizada.

Tienen una morfología en general ondulada, con laderas de pendientes topográficas desde muy suaves hasta muy abruptas 60%, en general laderas estructurales y plegamientos anticlinales y sinclinales, y se localizan en los terrenos de composición arenosa, y especialmente sobre las divisorias de aguas de las zonas montañosas.

#### **4.2.1.9 Suelo Transportado Aluvial (Stf)**

Corresponden a los sedimentos fluviales de cauces actuales y llanuras de inundación de los drenajes principales que atraviesan la CRB, como son los ríos: Bogotá, Sisga, Teusacá, Checua,

Neusa, Siecha, Frío, Subachoque, La Pava, Bojacá, Serrezuela, Balsillas, Muña, Aguas Claras, Tunjuelito, Chusacá, San Cristóbal, San Francisco, Juan Amarillo, y afluentes principales de estos. En general presentan una morfología plana a ligeramente inclinada. Se caracterizan por tener materiales no consolidados, areno limoso con gravas, cantos y bloques.

#### **4.2.1.10 Suelo Transportado Aluvial Formación Chía (Stfch)**

Materiales correspondientes a las cuencas media y alta, conformados por materiales de granulometría fina a media gruesa: arcillas, limos, arenas finas, gravas, gravillas y ocasionalmente bloques redondeados; los materiales de granulometría media y gruesa se presentan hacia el techo de la secuencia y especialmente en los sectores de confluencia de los afluentes principales del río Bogotá, poco consolidados, densidad baja y deleznable, con un índice. El espesor de los depósitos fluviales es de aproximadamente 5 m, (Van der Hammen y González (1963, 1965).

#### **4.2.1.11 Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana (Stflsa)**

Presentan una morfología en general plana a ligeramente inclinada y corresponden a los materiales formados por la sedimentación de un antiguo lago que cubrió los terrenos de la parte central de la denominada Sabana de Bogotá. Están constituidos principalmente por arcillas y limos; de color gris, amarillo pálido y naranja por meteorización, de consistencia blanda. Hacia los márgenes de la cuenca se presenta un incremento de intercalaciones lenticulares de arcillas orgánicas, turba, arcillas arenosas, arenas arcillosas, y en las áreas de confluencia, de los ríos principales (Tunjuelito, Subachoque, Frío, Fucha, y San Cristóbal), se presentan materiales de granulometría fina – media, representados por gravas, gravillas y arenas, poco consolidados, densidad media a baja y localmente se presentan algunas fisuras.

Los depósitos fluvio lacustres presentan un espesor aproximado de 300 m, en el centro de la cuenca y disminuye hacia los bordes (Van der Hammen, 1995). Desde el punto de vista económico se utiliza como material de construcción en la producción de gravas, gravillas y arenas.

#### **4.2.1.12 Suelo transportado Fluvio Torrencial (Stftcdy)**

Presenta una morfología alomada en forma de cono y corresponde a un depósito de origen fluvial que presenta una geoforma cónica o en abanico, alomada con pendientes suaves en zonas de piedemonte. Se presenta en zonas aisladas en la cuenca media. El depósito presenta textura fina hacia las partes distales y textura gruesa en la zona apical, una densidad media, consistencia media, deleznable, coloración parda producto de la meteorización, localmente se observan grietas y fisuras.

#### **4.2.1.13 Suelo Transportado Coluvial (Strc)**

Corresponden a los materiales depositados o acumulados en sitios puntuales y aislados, principalmente en la base de las laderas montañosas, colinas, lomas y escarpes rocosos que rodean la cuenca del río Bogotá. Son el resultado principalmente de la acción de los fenómenos de movimientos en masa en los cuales ha habido translocación de detritos por acción gravitacional e hidrogravitacional, tales como: flujos terrosos, deslizamientos, derrumbes, desprendimientos, etc.

Igualmente comprende las acumulaciones de materiales de texturas finas y homogéneas, procedentes de la resultante de fenómenos de erosión fluvial y reptación de suelos. Dependiendo del mecanismo de formación. Los depósitos coluviales presentan características variadas así: los materiales coluviales procedentes de deslizamientos, derrumbes, flujos terrosos, desprendimientos, etc., presentan, una composición litológica relacionada con las rocas de las

laderas superiores adyacentes, de donde proceden sus materiales, distribución irregular, en forma caótica, con material de suelo y fragmentos de roca, angulares a subangulares, cuyo tamaño varía desde gravillas hasta bloques de gran tamaño, dentro de una matriz de arena y limos.

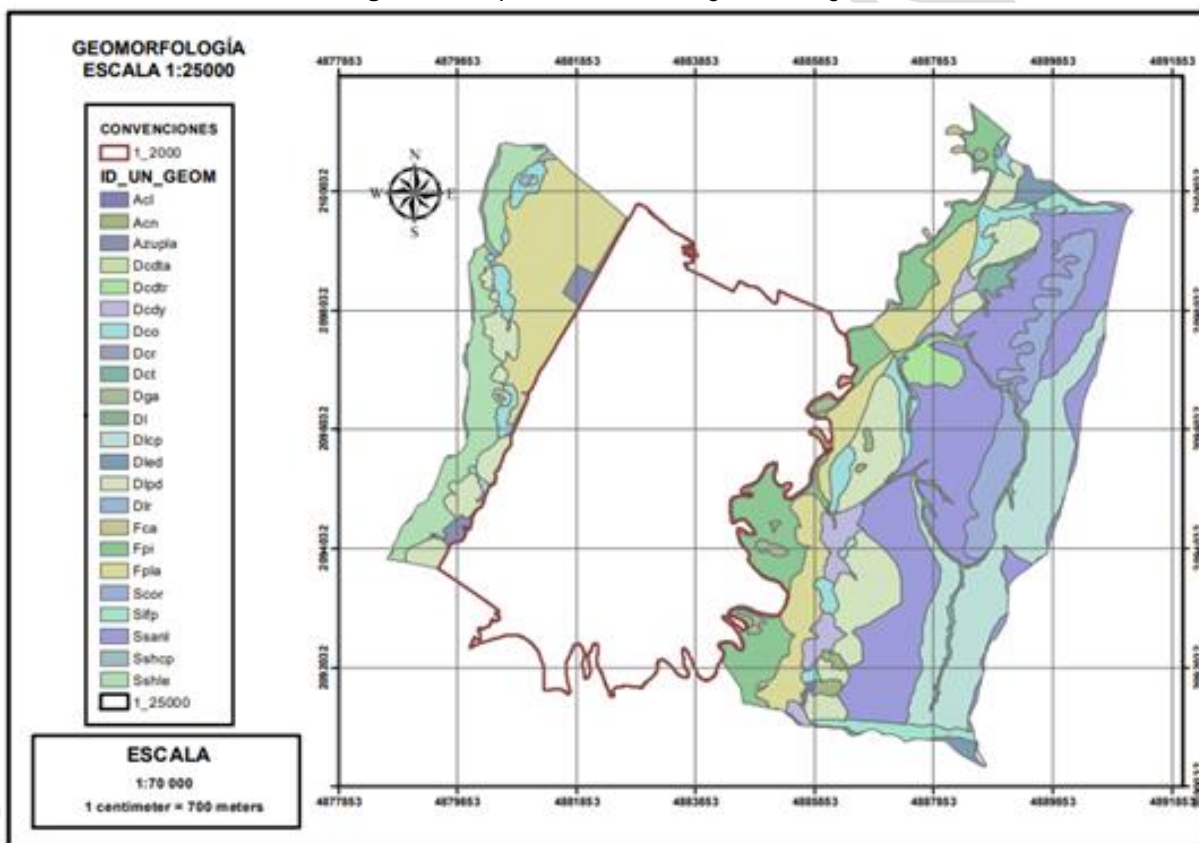
#### 4.2.2 Geomorfología

A continuación, se presenta la calificación de las geoformas a los procesos de movimientos en masa de acuerdo con la cartografía geomorfológica 1:25000 propuestas principalmente por el SGC con algunas unidades definidas en la metodología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM establecida en la Guía Metodológica para la elaboración de mapas Geomorfológicos a escala 1:100.000 de diciembre de 2013.

Este componente incluye las variables de morfometría, morfogénesis y morfodinámica, con las cuales se calificará las unidades geomorfológicas.

##### 4.2.2.1 Morfogénesis

Figura 11. Mapa de las unidades geomorfológicas



Fuente: Tomado y ajustado de POMCA río Bogotá por Hydraulic and Enviromental Design SAS

Se tuvo en cuenta la clasificación y definición de unidades geomorfológicas definidas por el IDEAM.

Así mismo, a continuación, se hará una descripción de la UNIDAD de acuerdo con su subambiente y se describirán la génesis y algunos atributos relacionados con la morfometría y la dinámica teniendo en cuenta la pendiente, depósitos superficiales, litología, drenaje disección y los procesos actuales en su orden.

Una vez obtenidas las unidades geomorfológicas se puede ver que el municipio hacia el nororiente en la zona rural presenta geoformas de origen denudacional como laderas de contrapendiente

estructural denudadas y de origen fluvial como planicies de inundación asociadas a los cauces Santiamén, Honda y Rincón.

Entre tanto hacia el sector Nororiental se presentan laderas estructurales de sierra homoclinal denudada, geoformas susceptibles a procesos de remoción en masa. Gran parte del territorio hacia el centro del municipio esta influenciado por una geomorfología de origen fluvial de planicies y deltas lacustrinos producidos por los Ríos Frío y Bogotá lo cual, producto de las condiciones topográficas pueden generar procesos de inundación o encharcamiento ante crecientes súbitas o precipitaciones con periodos de retorno altos.

#### 4.2.2.1.1 Geformas de Origen Denudativo

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.

Su origen obedece a los procesos de plegamiento y deformación intensa, durante la formación de las sierras homoclinales y la afectación posterior por procesos de meteorización y de denudación diferenciales intensos que generaron la formación local de suelos residuales y conos coluviales con los que generalmente se asocian.

Morfológicamente presentan las siguientes características generales:

- Deslizamiento translacional (Dcdtr – Dcdta)

Deslizamiento de rocas o tierra que involucra movimiento a lo largo de una superficie de falla más o menos planar. El movimiento es controlado por planos someros de debilidad (Planos de estratificación o el contacto entre un plano rocoso y los detritos suprayacentes). De acuerdo con su edad relativa pueden ser recientes (Dcdtr) o antiguo (Dcdta).

La masa deslizada o Cono de deslizamiento translacional (Dcdtr – Dcdta) es alomado de aspecto planar y lobular hacia la base, de longitud corta, de forma irregular a compleja y abrupta a muy abrupta de aspecto caótico y asociado con bloques rocosos separados por grietas donde el drenaje es ausente o desordenado y localmente deflectado por el lóbulo frontal de tierra.

Se encuentran localmente sobre laderas estructurales de sierras homoclinales en la región de Chía. En general los recientes son de tamaño reducido y localmente no cartografiables, y su origen se asocia a actividad antrópica.

Se evidenciaron deslizamientos de carácter regional en este mismo tipo de ladera, generalmente asociado con pliegues de gravedad que involucra como zonas de despeque rocas muy fracturadas de la Formación Planers e involucrando, bloques de 100 a 200 m de areniscas de la Formación Areniscas de Labor y Tierna. Esta tectónica de gravedad fue estudiada anteriormente por Julivert particularmente en la sierra homoclinal de Cota y al oriente del casco urbano de Bogotá (cuenca media), (Julivert, 1961a, 1962 y 1963).

- Glacis de acumulación (Dga)

Superficie de acumulación de longitudes moderadamente largas de formas cóncavas y suavemente inclinadas. Su génesis se asocia a la acumulación del material fino en zonas bajas por procesos de erosión laminar. Se incluyen igualmente los planos adyacentes, formados por

rellenos de material coluvial fino con bloques, producto de la erosión laminar de las laderas circundantes y presentan espesores de 3 - 10 m.

Presentan su máxima expresión en la región de Chía. Se constituyen de material arenoso y arcilloso y no se descarta la interdigitación con sedimentos de origen lagunar en los bordes de la sabana.

– Lomas (DI)

Prominencia topográfica de morfología alomada o colinada, cimas redondeadas y amplias, de laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas, constituida por suelo residuales, con una altura menor de 300 metros sobre su nivel de base local. Su origen es relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial.

– Laderas estructurales denudadas y residuales (Dled)

Superficie en declive localizadas en zonas de piedemonte, de morfología alomada con la inclinación de los estratos en favor de la pendiente del terreno, son de longitud corta a larga, de forma cóncava y con pendientes abruptas. El origen está asociado con procesos erosivos y de disección intensa en rocas blandas con desarrollo de suelos residuales y coluviales gruesos.

Se encuentran en toda la Sabana de Bogotá (cuencas media y alta), en franjas de 1– 3 km de amplitud en sectores como Chía, donde están en general asociadas con rocas de composición predominantemente arcillolítica de las formaciones Bogotá y localmente Guaduas.

Se presentan con inclinaciones entre 10° y 30°, localmente menores que la disposición estructural de las rocas donde se encuentran. Es igualmente característico el alto grado de disección relacionado con la formación de surcos y la cobertura de conos y lenguas coluviales.

– Laderas de contrapendiente estructural Denudada (Dlcp)

Superficies en declive localizadas en zonas de piedemonte, con la inclinación de los estratos en contra de la pendiente del terreno. Son de longitud corta a larga, de forma cóncavo convexa y de pendientes abruptas, cuyo origen está relacionado con rocas blandas erosionadas intensamente y asociadas con depósitos de coluvión gruesos.

Este tipo de ladera de morfología alomada se presenta localmente como franjas de 1–2 km en la zona de piedemonte asociada a laderas de contrapendientes de sierra homoclinal. Presentan laderas cóncavas muy erosionadas y asociadas a conos y lóbulos coluviales.

Se encuentran en Chía, relacionadas con rocas de litología arcillosa de la Formación Guaduas.

Cuando las características litológicas se caracterizan por presentar intercalaciones de rocas duras y blandas por procesos de erosión diferencial se presentan:

– Planchas estructurales denudadas – Espolones estructurales (Dlpd)

Laderas y crestas simétricas de cimas agudas de morfología alomada y dispuestas transversales a las estructuras geológicas. Están constituidas por estratos delgados duros y blandos disectados profundamente en dirección perpendicular al rumbo de las capas, y que localmente definen salientes o crestas a manera de puentes entre espinazos estructurales.

Geoformas de estas características tiene una amplia distribución en la Sabana de Bogotá (cuencas media-alta) y se encuentran principalmente en los flancos de las grandes estructuras tales como sierras homoclinales y anticlinales que se disponen por lo general en dirección NNE a lo largo de la sabana. Las planchas estructurales denudadas se presentan tanto como espolones estructurales y como crestas perpendiculares entre espinazos estructurales.

Los espolones estructurales se presentan como salientes de morfología alomada, dispuestas perpendiculares a las laderas estructurales de sierra homoclinal o anticlinal.

Las crestas son irregulares de formas agudas a redondeadas, y asociadas a un drenaje subparalelo denso definido por la estratificación de capas areníticas y arcillolíticas, delgadas a gruesas principalmente de las formaciones Labor y Tierna del Grupo Guadalupe.

Su conformación está definida por la disección acentuada de los drenajes naturales y están asociados con conos de deyección, coluviones y localmente conos de deslizamiento. Las planchas estructurales cuando se encuentran confinadas entre espinazos se presentan como crestas de morfología alomada con fuerte disección y dispuestos a manera de puentes entre los espinazos estructurales.

Litológicamente están constituidas por intercalaciones de arcillolitas y areniscas de las formaciones Guaduas y Bogotá. En zonas donde las condiciones climáticas fueron diferentes a las actuales se encuentran en la sabana de Bogotá geoformas con las siguientes características:

– Cerros residuales (Dcr)

Cerros de morfología alomada o colinada de cimas redondeadas de laderas cortas convexas muy inclinadas asociadas con suelos residuales gruesos. Su origen se debe posiblemente a procesos de meteorización diferencial intensa en climas húmedos tropicales diferentes a los actuales. Este tipo de geoformas se presenta principalmente en el sector suroccidental de la Sabana.

Se encuentran asociados a rocas de las formaciones Labor y Tierna, localmente con suelos residuales y con desarrollo de drenaje radial poco denso. Son cerros irregulares de 2 – 4 Km<sup>2</sup> de extensión y 50 100 m de elevación, desarrollado en rocas arcillolíticas blandas de la formación Guaduas con suelos residuales arcillosos y localmente arenosos. Presentan drenaje radial denso y localmente con procesos de carcavamiento.

– Conos de Talus (Dct)

Geoforma localizados al pie de zonas escarpadas en forma de cono o lóbulos, de longitud muy corta a corta, de formas rectas a convexas, inclinadas a muy inclinadas. Se forman esencialmente por acumulación mecánica de bloques angulares desprendidos por meteorización acentuada del escarpe adyacente. Se incluyen igualmente las acumulaciones de bloques caídos por la acción de actividad sísmica y volcamiento. Se constituye de bloques angulares a subangulares de variado tamaño (0.5 – 3 m), clastosoportados y localmente con matriz arenosa o arcillosa. Presentan espesores de 5- 35 m.

Hacia el sureste de Zipaquirá y en flanco oeste que limita el valle de Teusacá (Suroeste de Sopó) igualmente se encuentran conos de estas características con bloques de arenisca subredondeados y meteorizados de 1 – 2 m clastosoportados y con matriz arenoarcillosa. Presentan pendientes del orden de los 15° – 20° y se encuentran hacia la base de un escarpe de línea de falla de 150 m de altura y 25° – 30° de inclinación.

– Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión (Dco)

Geoforma en forma de cono o lóbulos de longitudes cortas a largas, de formas convexas e inclinaciones suaves a abruptas. Se originan respectivamente por acumulación de materiales sobre las laderas tanto por procesos de escorrentía superficial como por flujo lento y viscoso de suelo saturado y no saturado. Se constituyen de bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebidos en material arcilloso en espesores del orden de 5 – 35 m.

Este tipo de geoforma son de amplia distribución en la base de las laderas de las sierras homoclinales que atraviesan de sur a norte la sabana de Bogotá. Presentan forma de cono en general de 3 – 5 ha y 5° – 15° de inclinación, que se interdigitan conformando franjas de 100 - 500 m en la base de las laderas. Hacia las zonas más elevadas, en los bordes de la sabana donde la humedad es muy alta desarrollan tamaños kilométricos y se asocian con procesos de solifluxión de suelos. Los conos coluviales se constituyen de bloques de variado tamaño (areniscas, arcillolitas) embebidos en una matriz arcillosa o arcilloarenosa que cubre parcialmente la base de las laderas.

Es importante notar la existencia de acumulaciones de estas mismas características, localmente sobre las laderas de cerros residuales y remanentes, sin embargo, su morfología ha sido modificada por levantamientos del terreno y procesos denudativos posteriores. Este rejuvenecimiento del paisaje indica los cambios sucedidos durante el levantamiento de la cordillera oriental, lo cual se ha comprobado igualmente con la presencia de suelos rojos típicos de climas tropicales diferentes a los actuales.

#### 4.2.2.1.2 Geoformas de Origen Antrópico

Son formas del terreno cuyo origen está ligado a las actividades humanas de explotación de recursos del subsuelo y al acondicionamiento del terreno tanto para la construcción de obras civiles como para la disposición de desechos tanto orgánicos como inorgánicos. En general se evidencian en la Sabana de Bogotá las siguientes formas:

– Canteras (Acn)

Excavación escarpada de 5 – 20 de altura de formas irregulares o en terrazas hechas en laderas para la extracción de materiales de construcción como piedra, arena y grava. Se incluyen en esta definición las excavaciones realizadas para la extracción de arcillas comúnmente llamadas chircales.

Las canteras se presentan en general a la ciudad de Bogotá y en cercanías de poblaciones principales de la sabana, donde se explotan arenas, recebo, gravas y arcillas (INGEOMINAS, 1995 - 1997). Las arcillas se obtienen de las formaciones Bogotá y Guaduas mientras los recibos y arenas se extraen de rocas de las formaciones Arenisca Dura, Pleaners, Labor y Tierna. Las gravas e igualmente arenas se obtienen de los sedimentos fluviales de las formaciones Tilatá y Tunjuelito.

– Promontorios de desecho de cantera (Acl)

Acumulaciones alomadas de 3 – 10 m de altura, formadas por la acumulación de materiales extraídos de una cantera por lo general bloques, arenas y gravas. Estas geoformas de poca extensión y en general no cartografiables a la escala de este trabajo se presentan localmente como una serie de montículos de baja altura y constituidos tanto por materiales procesados y listos para su distribución como por materiales de desecho producto del descapote de las canteras.

Como se indicó anteriormente localmente se han dispuesto en las zonas de drenaje que posteriormente por procesos denudativos y de socavación se deslizan.

#### 4.2.2.1.3 Geformas de Origen Fluvial y Lagunar

Las geformas de origen fluvial y lagunar están originadas por el efecto erosivo y acumulativo de las corrientes de los ríos y la sedimentación de materiales en cuencas restringidas respectivamente. Estas geformas están definidas principalmente en la parte central de la sabana de Bogotá, y particularmente asociadas a la acumulación de sedimentos de los cursos de los ríos.

##### – Cauce Activo (Fca)

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos. Cuando las corrientes fluyen en zonas semiplanas a planas (llanura aluvial), los cauces son de tipo meándrico o divagante, como producto del cambio súbito de la dirección del flujo. Dependiendo la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras unidades asociadas.

##### – Planicies y Deltas Lacustrinos (Fpla)

Planicies extensas de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes de 2 – 20 m de altura.

Se constituyen de arcillas grises con locales intercalaciones de arenas finas y delgados niveles de gravas y turbas en capas paralelas producto de la acumulación de materiales transportados por las corrientes locales hacia la cuenca ocupada por el antiguo lago de la Sabana de Bogotá. Espesores de 20 – 300 m.

Estas geformas son las de mayor expresión en la sabana de Bogotá con una cobertura de aproximadamente 2700 km<sup>2</sup>. Son de morfología plana y de aspecto aterrazado, suavemente ondulada de 3° – 5° de inclinación y con forma lobulada o de abanico principalmente en la desembocadura de los grandes cursos de agua que entregaron sus aguas en la antigua laguna de la sabana de Bogotá.

Estas geformas están limitadas por escarpes de 0.5 – 20 m de altura y 15° – 35° de inclinación, encontrándose las máximas alturas en los bordes de la cuenca y particularmente en la zona de la salida del río Bogotá en el sector suroeste de Soacha.

Las planicies lacustrinas de la Sabana de Bogotá localizadas en la parte central de la cuenca están constituidas predominantemente de arcillas grises con delgadas intercalaciones de arcillas turbosas. Las arcillas son de características plásticas y localmente expansivas lo cual se evidencia en la deformación de las vías particularmente en la vía que conduce hacia Tenjo.

Hacia los bordes de la cuenca como se indicó previamente la configuración es localmente en forma de abanico, definiendo los lóbulos de deltas lacustrinos constituidos de arcillas con intercalaciones frecuentes de arenas finas, arenas arcillosas y es igualmente evidente el incremento de arcillas turbosas y ligníticas (VANDER HAMMEN Y HELMENS, 1990).

Las planicies lagunares e igualmente planicies fluviales más antiguas han sido disectadas, dejando amplias planicies de inundación y terrazas fluviales.

– Planicie o llanuras de inundación (Fpi)

Franja de terreno plana baja de morfología ondulada de 0.05 – 5 km de extensión, eventualmente inundable. Se presenta bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. Se constituye de 3 - 5 m de arcillas y limos producto de la sedimentación durante eventos de inundación fluvial. Se incluyen los planos fluviales menores en formas de “U” o “V” y conos coluviales menores, localizados en los flancos de los valles intramontanos.

Las planicies o llanuras de inundación presentan un amplio desarrollo en la sabana de Bogotá y están asociadas evolutivamente a los últimos eventos de secado y los procesos de disección de las planicies lagunares por los principales ríos que la drenaron. Se destacan por su amplitud las llanuras de inundación de los ríos Bogotá y Frío.

Se constituyen de arcillas grises de inundación, localmente con intercalaciones de arenas muy finas a limosas de colores claros, dispuestos en capas delgadas horizontales de la llamada formación Chía.

#### 4.2.2.1.4 Geoformas de origen Morfoestructural Denudativo

Corresponde a las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural de las rocas aflorantes en la cuenca de estudio. Se presentan afectadas por procesos erosivos de maderada a baja intensidad y se caracterizan por su relieve montañoso a colinado de pendientes abruptas y escarpadas localmente.

Conforman el amazón estructural en dirección NNE de la CRB, dejando valles amplios colmatados posteriormente por sedimentos fluviales y lagunares que constituyen en la actualidad las amplias planicies, hoy localmente colonizadas. Entre las Unidades y Subunidades geomorfológicas se presentan:

– Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal denudada (Sshcp)

Laderas de contrapendiente denudadas (**Sshcp**), definida por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, de longitud moderada a larga, de formas cóncavas a irregulares escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas.

Las laderas de contrapendiente de las sierras homoclinales mencionadas son moderadas a largas de formas irregulares que en general son escarpadas y presentan forma festoneada asociada con la formación de espolones estructurales por efecto de procesos erosivos diferenciales intensos, definidos por un drenaje subparalelo profundo que disecta las laderas, afectadas por su base por fallamiento inverso y cuyo rumbo es paralelo a la estructura.

– Ladera estructural de sierra homoclinal denudada (Sshle)

Sierra simétrica o ligeramente simétrica elongada de morfología generalmente montañosa de cimas agudas y definida por una secuencia estratos o capas apilados e inclinados (> 35°) en una misma dirección por efecto de plegamiento intenso asociado localmente con fallamiento inverso.

Se conforman de laderas estructurales denudadas (**Sshle**), definidas por la inclinación de los estratos en favor de la pendiente (> 35°), de longitud corta a moderada larga de formas rectas a convexas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas.

En general se caracterizan por su morfología montañosa y colinada de crestas agudas asociadas con laderas estructurales rectas y localmente convexas con buzamientos de 30°–45° y pendientes

variables de 25°–45° que facilitan localmente la generación de procesos de deslizamientos traslacionales en general de suelos rocas de la Formación Pleaners sobre las areniscas de grano fino y consistentes de la Formación Arenisca Dura.

- Escarpe de línea de falla (Slfp)

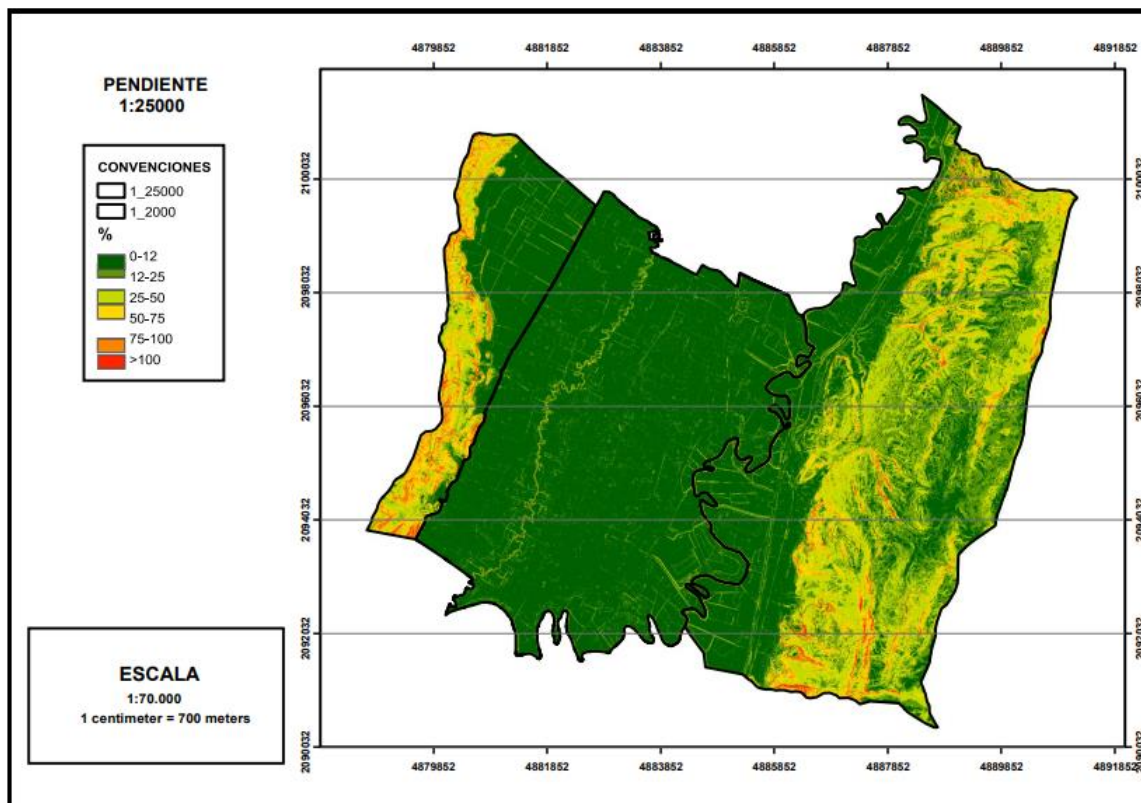
Escarpe muy corto, abrupto, cóncavo o convexo, originado por erosión acentuada a lo largo de una línea de falla definida por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas.

Se presentan localmente distribuidos tanto en dirección NNE como NW–SE. Se destacan por su expresión geomorfológica al norte de del municipio. Son escarpes abruptos de 10–50 m de altura, localmente con evidencia de drenajes descabezados.

#### 4.2.2.2 Morfometría – Pendientes

Como se observa en la **Figura 12** el municipio presenta principalmente pendientes planas sobre la mayor extensión territorial, también se presentan en menor proporción los rangos de pendiente abrupta a escarpada. El rango de pendiente plana a suavemente inclinada se presenta en el casco urbano y las veredas La Balsa y Bojacá; las cuales se caracterizan por tener una inclinación de 0° a 25%, lo que disminuye los efectos de desarrollarse movimientos en masa. El rango de pendiente muy inclinada a abrupta se observa en algunos puntos localizados las veredas Yerbabuena, Fusca y en los cerros de las veredas Cerca de piedra, Fonquetá, Tíquiza y Fagua; se caracteriza por presentar una inclinación entre 25 a >75%, lo que las hace más susceptible a presentar procesos de movimientos en masa.

Figura 12. Mapa de pendientes del municipio



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

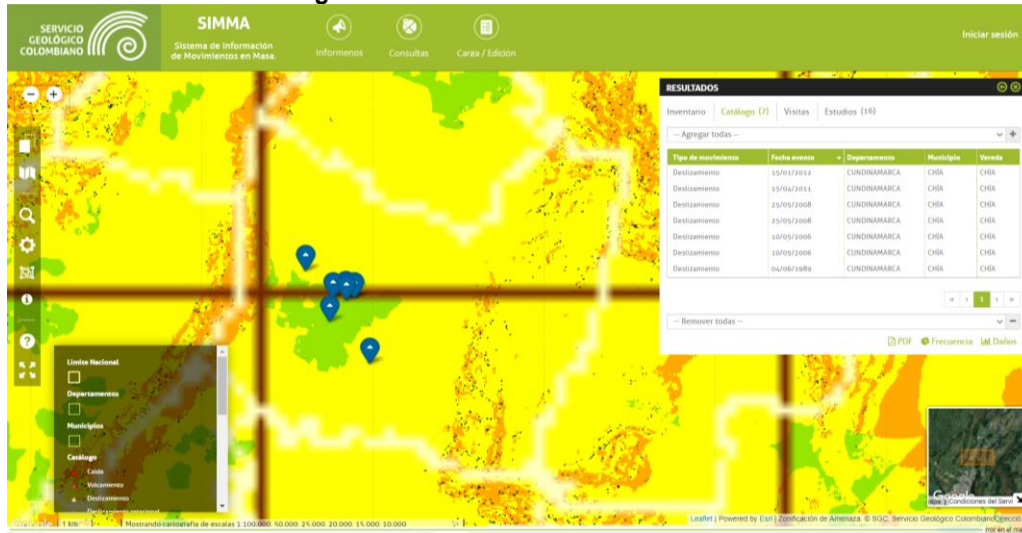
#### 4.2.3 Inventario de deslizamientos

Teniendo como referencia las bases de datos y visitas de campo con funcionarios de Planeación municipal, se identificaron los siguientes procesos.

En la **Figura 13** y **Figura 14** se observa el mapa de calificación para el inventario de deslizamientos presentes en el municipio.

#### 4.2.3.1 Base de datos SIMMA del Servicio Geológico Colombiano.

**Figura 13.** Base de datos consulta SIMMA



Fuente: Servicio Geológico Colombiano

**Figura 14.** Base de datos consulta SIMMA



Fuente: Servicio Geológico Colombiano

#### 4.2.3.2 Base de datos de las visitas de campo

En la **Tabla 9** se presenta el inventario y el registro fotográfico de algunos movimientos en masa evidenciados en campo.

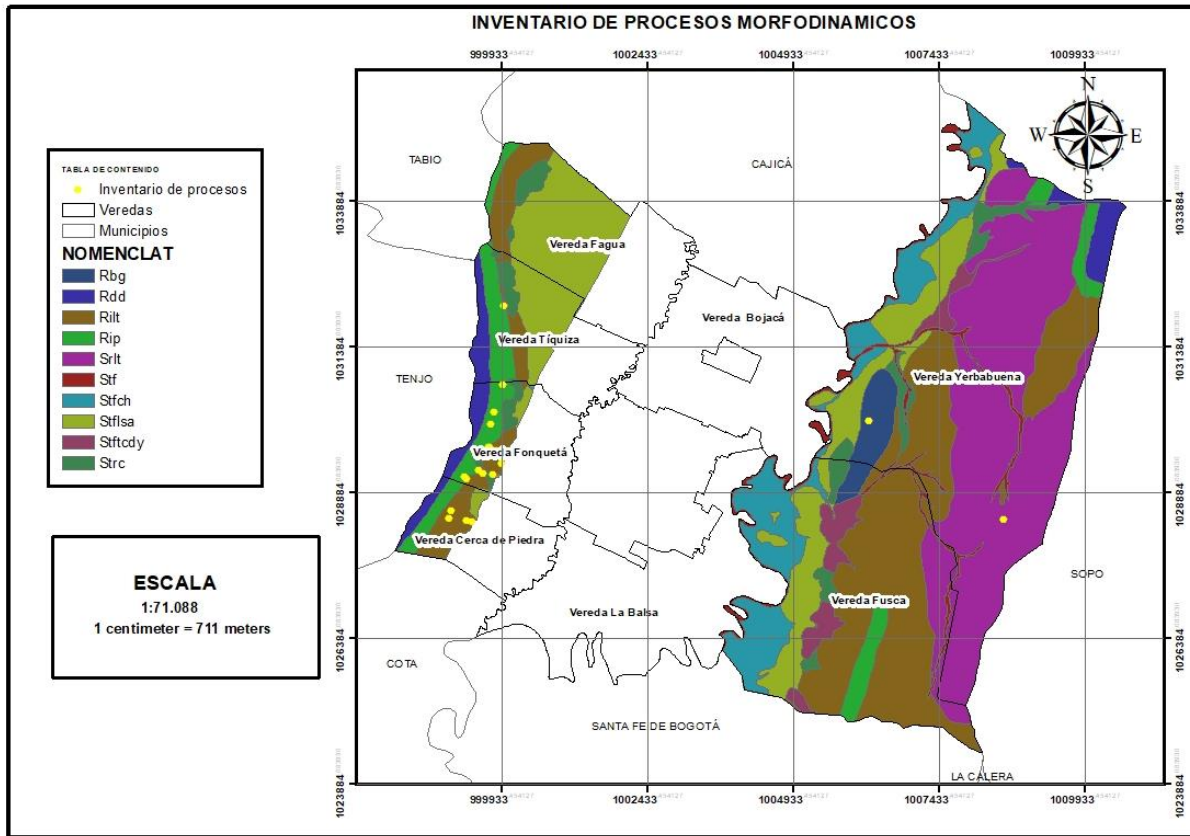
**Tabla 9.** Inventario de puntos de eventos evidenciados en campo

N°	Descripción	Tipo de evento	Y_ CTM12	X_ CTM12
1	Socavación, por ausencia de cobertura vegetal (Eucaliptos) desde el 2015	Deslizamiento	2094406,185	4879600,142
2	Viviendas construidas en zonas de alto riesgo, sin estudios de suelos	Deslizamiento	2094529,463	4879635,037
3	Zona de alto riesgo por movimiento en masa de tierra, las construcciones colindantes se ven en peligro debido a esta situación	Deslizamiento	2094354,082	4879908,344
4	Muro de cerramiento sin drenajes para el debido direccionamiento de agua de escorrentía, ya se presentan fallas en los muros construidos	Deslizamiento	2094337,047	4879987,245
5	Erosión y desprendimiento de materiales debido a la inestabilidad del talud creado para la construcción del polideportivo	Deslizamiento	2095146,200	4880349,921
6	Deslizamiento de tierra afectando la vivienda y servicio de suministro de agua colindante.	Deslizamiento	2095162,156	4880185,330
7	Casa abandonada, debido al desalojamiento por un deslizamiento previo.	Deslizamiento	2095220,629	4880109,267
8	Sistema de drenaje expuesto debido a la erosión por escorrentía, las viviendas construidas sobre la ladera presentan riesgo por deslizamiento	Deslizamiento	2095548,032	4880208,561
9	Cantera usada por la alcaldía para extracción de materiales de construcción (cantera de Tiquiza)	Deslizamiento	2098039,896	4880551,420
10	Zona de riesgo de caída de árboles debido al deslizamiento de tierras.	Deslizamiento	2096211,854	4880367,587
11	Caída de rocas, riesgo de deslizamiento	Deslizamiento	2096019,309	4880317,617
12	Desprendimiento de rocas y vegetación inclinada	Deslizamiento	2095076,837	4879910,832
13	Vía afectada en la banca debido al desprendimiento del suelo	Deslizamiento	2095109,857	4879856,345
14	sector tanque la caldera	Deslizamiento	2096684,379	4880525,196
15	Vereda Fonquetá la Valvanera viviendas en zona de alto riesgo y muro en llantas	Deslizamiento	2095614,006	4880279,501
16	Vereda Fonquetá viviendas construidas en zona de alto riesgo a la orilla de la carretera	Deslizamiento	2095520,990	4880602,930
17	Yerbabuena falla geológica se evidencia un hueco dentro de un predio	Creep (reptación)	2094357,607	4889108,243
18	Cantera yerbabuena bajo	Deslizamiento	2096052,988	4886797,441
19	vía hacia la iglesia con alto riesgo de árboles con inclinación sobre la vía	Deslizamiento	2095566,043	4880279,424
20	vivienda de 3 pisos construida en zona de alto riesgo	Deslizamiento	2095538,494	4880299,334
21	propietario de predio solicita permisos para construcción de vivienda en zona de alto riesgo	Deslizamiento	2095477,927	4880371,734
22	En la zona hay varias viviendas en zona de riesgo además están haciendo relleno de predio para construcción de locales comerciales	Deslizamiento	2095564,838	4880411,669
23	Vivienda en zona de alto riesgo	Deslizamiento	2095506,048	4880340,297
24	En la zona dueños de predio con una vivienda prefabrica de un piso instalo otra vivienda prefabricada encima	Deslizamiento	2095624,595	4880292,266
25	En el sector se encuentran varias viviendas en zona de riesgo además dueños de predio realiza escaleras artesanales para ingreso al predio donde según lo indagado se pretende construir más viviendas	Deslizamiento	2095331,608	4880509,845

**Fuente:** Levantamiento en campo Hydraulic and Enviromental Design SAS

De acuerdo con el histórico de eventos, se identificaron 25 eventos de deslizamientos la mayoría en el sector sur occidental del municipio en pendientes escarpadas y abruptas sobre unidades de origen denudacional como planchas estructurales y escarpes de línea de falla.

Figura 15. Mapa de inventario de procesos de movimientos en masa



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

A continuación, se detalla el registro fotográfico de cada uno de los puntos visitados en campo:

Fotografía 1. Punto 1



Fotografía 2. Punto 2



Fotografía 3. Punto 3



Fotografía 4. Punto 4



Fotografía 5. Punto 5



Fotografía 6. Punto 6



Fotografía 7. Punto 7



Fotografía 8. Punto 8



Fotografía 9. Punto 9



Fotografía 10. Punto 10



Fotografía 11. Punto 11



Fotografía 12. Punto 12



**Fotografía 13. Punto 13**



**Fotografía 14. Punto 14**



**Fotografía 15. Punto 15**



**Fotografía 16. Punto 16**



**Fotografía 17. Punto 17**



**Fotografía 18. Punto 18**



**Fotografía 19. Punto 19**



**Fotografía 20. Punto 20**



Fotografía 21. Punto 21



Fotografía 22. Punto 22



Fotografía 23. Punto 23



Fotografía 24. Punto 24



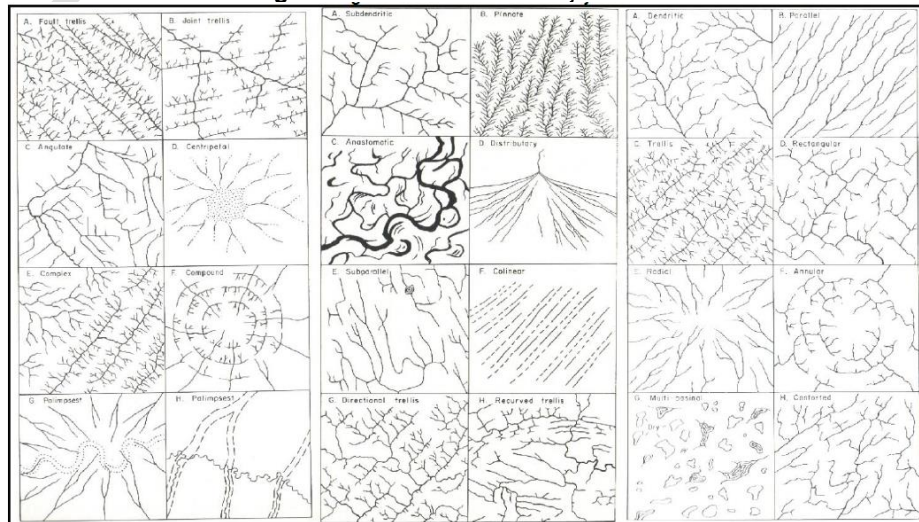
Fotografía 25. Punto 25



## 4.2.4 Drenaje

### 4.2.4.1 Patrón de drenaje

Figura 16. Patrones de drenaje



Fuente: Aerial photo interpretation in terrains analysis and geomorphologic map, Netherlands 1985.

Los patrones de drenaje son configuraciones en las redes hídricas que presentan ciertos arreglos geométricos o irregulares, que permiten relacionar su geometría con sus propiedades hidrológicas o geohidrológicas (superficial o subterráneo). Se refiere al arreglo, en vista aérea (en un mapa) de un río y sus tributarios. Presenta predominantemente un patrón de drenaje dendrítico y paralelo controlado por la estructura geológica.

– Densidad de drenaje

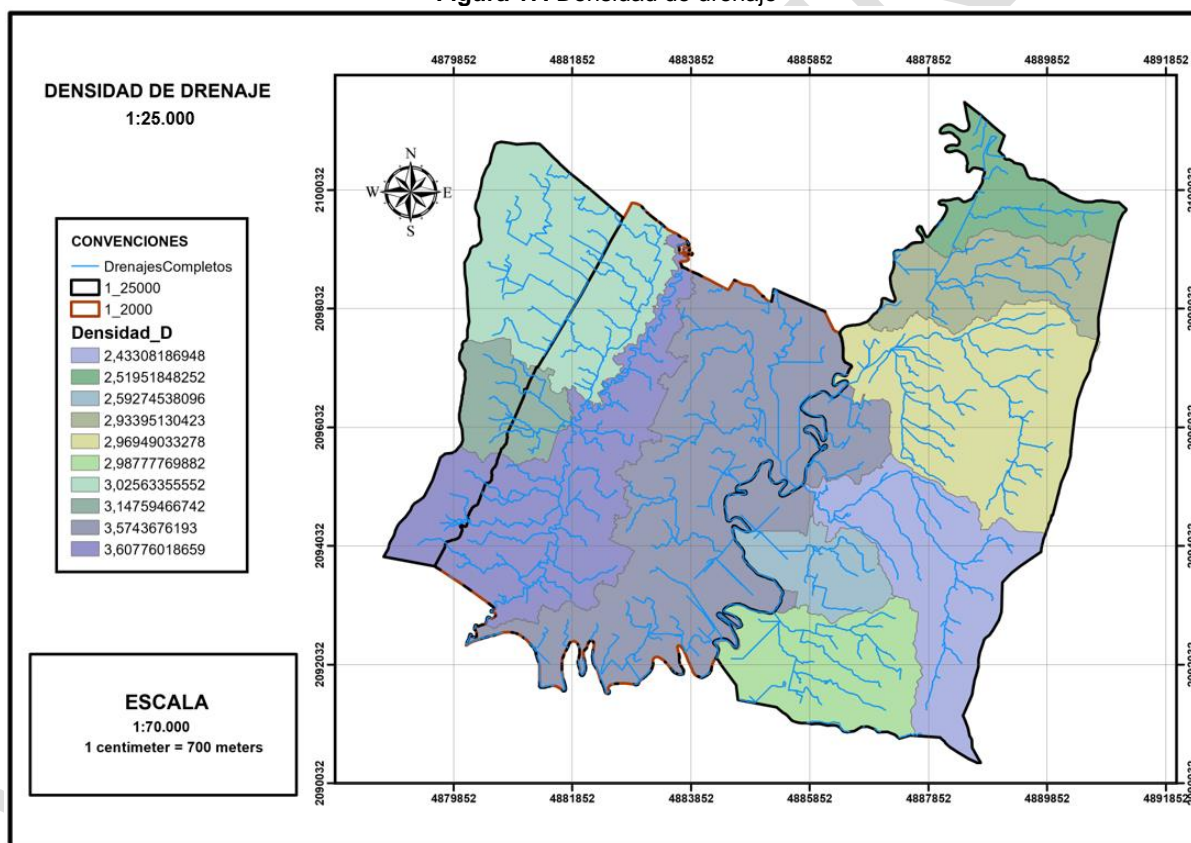
Indica la capacidad que presenta una cuenca para evacuar las aguas que discurren por su superficie. Este parámetro se expresa en Km/Km<sup>2</sup>. Está definido por la fórmula:

$$Dd = \frac{\sum Lc_i}{Ac}$$

Donde:

- Lc: Longitud total de los cursos de agua (perennes o intermitentes) en Km.
- Ac: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Figura 17. Densidad de drenaje



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Este es un índice importante, puesto que refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, en la cuenca hidrográfica, y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca. Una densidad de drenaje alta refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder, relativamente rápido, al influjo de la precipitación. Una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

En sitios donde los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables, y donde el relieve es suave, se presentan densidades de drenaje bajas. Los valores altos de la densidad de drenaje reflejan, generalmente, áreas con suelos fácilmente erosionables o relativamente impermeables, con pendientes fuertes, y escasa cobertura vegetal.

La densidad de drenaje está, generalmente, relacionada con la cantidad de precipitaciones, y la pendiente de la superficie del suelo. Por esta razón, los valores grandes de la densidad de drenaje indican mayor abundancia de escurrimiento y valores importantes de erosión.

A grandes valores de densidad de la red hidrográfica, corresponden velocidades mayores de desplazamiento de las aguas y un mejor drenaje, lo que se refleja en valores mayores de caudales máximos, subidas rápidas y duraciones totales de las avenidas, generalmente más reducidos.

En cuanto a la escorrentía mínima, la influencia de la densidad de drenaje tiene un carácter particular. En condiciones de pendiente grande, unos valores elevados de la densidad de drenaje indican torrencialidad, caudales mínimos muy reducidos y, posiblemente, falta temporal de escurrimiento superficial. En condiciones de pendiente reducida, unos valores elevados de la densidad de drenaje indican un buen drenaje de las capas de agua freáticas, más estabilidad del régimen de caudales, y una buena alimentación subterránea, en los períodos de estiaje. En la **Tabla 10** se encuentran los parámetros de calificación para la variable densidad de drenaje.

**Tabla 10.** Categorización de las clases para densidad de drenaje.

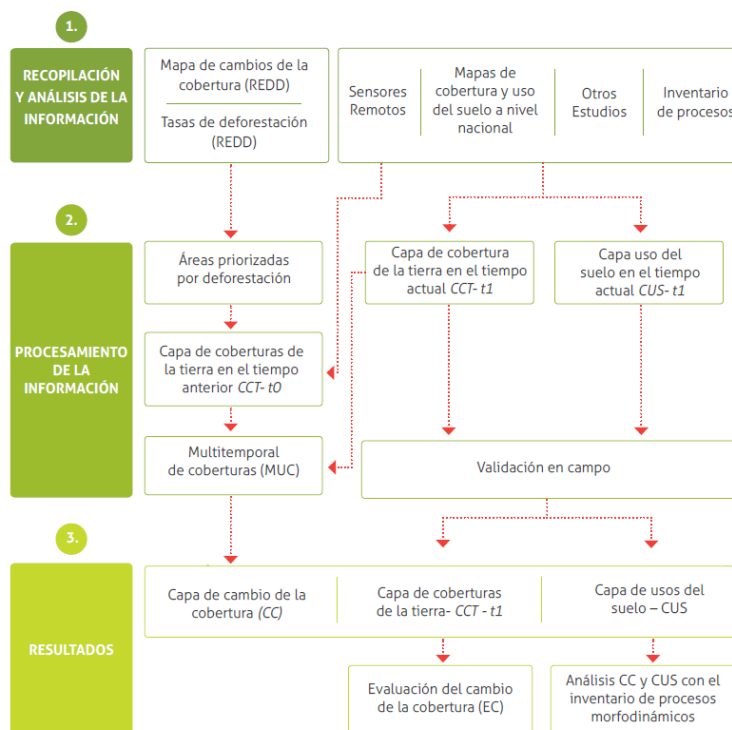
Densidad de Drenaje (Área de drenaje)	
$Dd = \frac{\sum Lc_i}{Ac}$	
Lc: Longitud de las corrientes de agua Ac: Área total de la hoya hidrográfica	
Categoría	Dd (Km/Km <sup>2</sup> )
Baja	<0,50
Media	0,50 – 1.0
Alta	>1,0

Fuente: INGEOMINAS 2011

## 4.2.5 Cobertura vegetal

### 4.2.5.1 Identificación General de Coberturas

**Figura 18.** Metodología para la generación de la variable cobertura de la tierra y uso del suelo.



Fuente: Tomado de Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000, SGC.

Las coberturas vegetales presentan un efecto directo sobre los procesos erosivos, disminuyen la escorrentía superficial porque reducen la cantidad y la velocidad del movimiento del agua en zonas de alta pendiente. También su sistema radicular presenta un entretejido que actúa como amarre a los horizontes superficiales del suelo y que tanto árboles como arbustos de raíz profunda facilitan el drenaje profundo, reduciendo en esta forma la probabilidad de deslizamientos y fallas superficiales.

Para el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa, como un factor condicionante relacionado con la cobertura de la tierra, se tomó como referencia lo dispuesto por el SGC en la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25000, para lo cual se ha considerado incluir las unidades de uso del suelo o el mapa de cambio de la cobertura referida al análisis comparativo entre dos épocas con coberturas distintas.

La cobertura de la tierra actual (análisis para los años 2016, 2018, 2019 y 2020) se obtuvo siguiendo los lineamientos temáticos y cartográficos definidos en la metodología Corine Land Cover (IDEAM et al., 2008). El mapa de cambio de la cobertura se definió de la comparación en función de la pérdida o ganancia del área de las coberturas identificadas en los periodos mencionados, es decir, cuatro periodos distintos y así se pudo relacionar el crecimiento urbano, intervenciones antrópicas, deforestación, minería y expansión agrícola) relacionada con el inventario de procesos morfodinámicos.

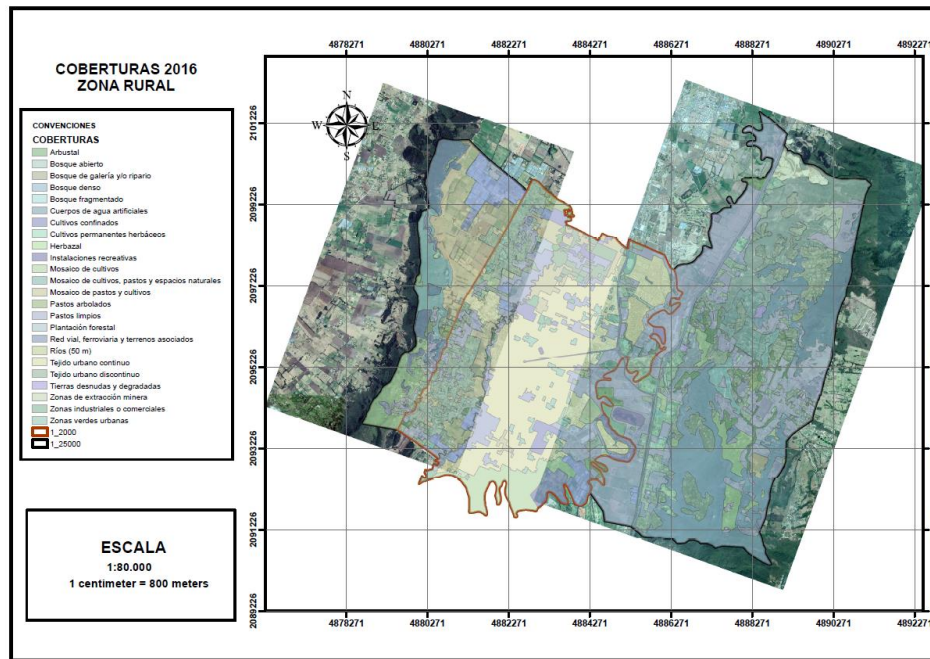
Tabla 11. Matriz cambio de coberturas

Coberturas		Coberturas Tiempo Actual																								
Nombre	Código N3	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tejido urbano continuo	111	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	211	221	231	241
Tejido urbano discontinuo	112	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92	102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222	232	242
Zonas industriales o comerciales	121	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93	103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223	233	243
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	122	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94	104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224	234	244
Zonas de extracción minera	131	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245
Zonas verdes urbanas	141	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96	106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226	236	246
Instalaciones recreativas	142	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227	237	247
Cultivos permanentes herbáceos	221	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98	108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218	228	238	248
Cultivos confinados	225	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239	249
Pastos limpios	231	10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
Pastos arbolados	232	11	111	211	311	411	511	611	711	811	911	1011	1111	1211	1311	1411	1511	1611	1711	1811	1911	2011	2111	2211	2311	2411
Mosaico de cultivos	241	12	12	22	32	42	52	62	72	82	92	102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222	232	242
Mosaico de pastos y cultivos	242	13	13	23	33	43	53	63	73	83	93	103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223	233	243
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	14	14	24	34	44	54	64	74	84	94	104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224	234	244
Bosque denso	311	15	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245
Bosque abierto	312	16	16	26	36	46	56	66	76	86	96	106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226	236	246
Bosque fragmentado	313	17	17	27	37	47	57	67	77	87	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227	237	247
Bosque de galería y/o ripario	314	18	18	28	38	48	58	68	78	88	98	108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218	228	238	248
Plantación forestal	315	19	19	29	39	49	59	69	79	89	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239	249
Herbazal	321	20	20	220	320	420	520	620	720	820	920	1020	1120	1220	1320	1420	1520	1620	1720	1820	1920	2020	2120	2220	2320	2420
Arbustal	322	21	21	221	321	421	521	621	721	821	921	1021	1121	1221	1321	1421	1521	1621	1721	1821	1921	2021	2121	2221	2321	2421
Tierras desnudas y degradadas	333	22	22	222	322	422	522	622	722	822	922	1022	1122	1222	1322	1422	1522	1622	1722	1822	1922	2022	2122	2222	2322	2422
Ríos (50 m)	511	23	23	223	323	423	523	623	723	823	923	1023	1123	1223	1323	1423	1523	1623	1723	1823	1923	2023	2123	2223	2323	2423
Cuerpos de agua artificiales	514	24	24	224	324	424	524	624	724	824	924	1024	1124	1224	1324	1424	1524	1624	1724	1824	1924	2024	2124	2224	2324	2424

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

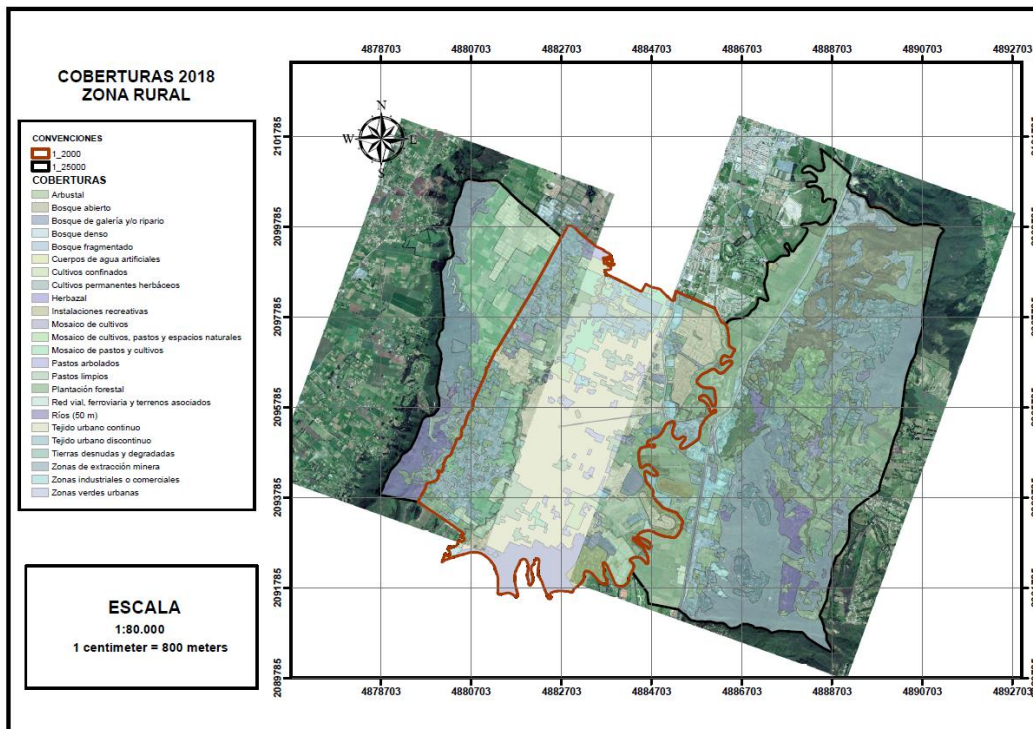
Por lo tanto, se hace importante la identificación de las coberturas encontradas en el Municipio y descritas en la **Figura 19**.

**Figura 19.** Mapa de coberturas para el tiempo anterior año 2016



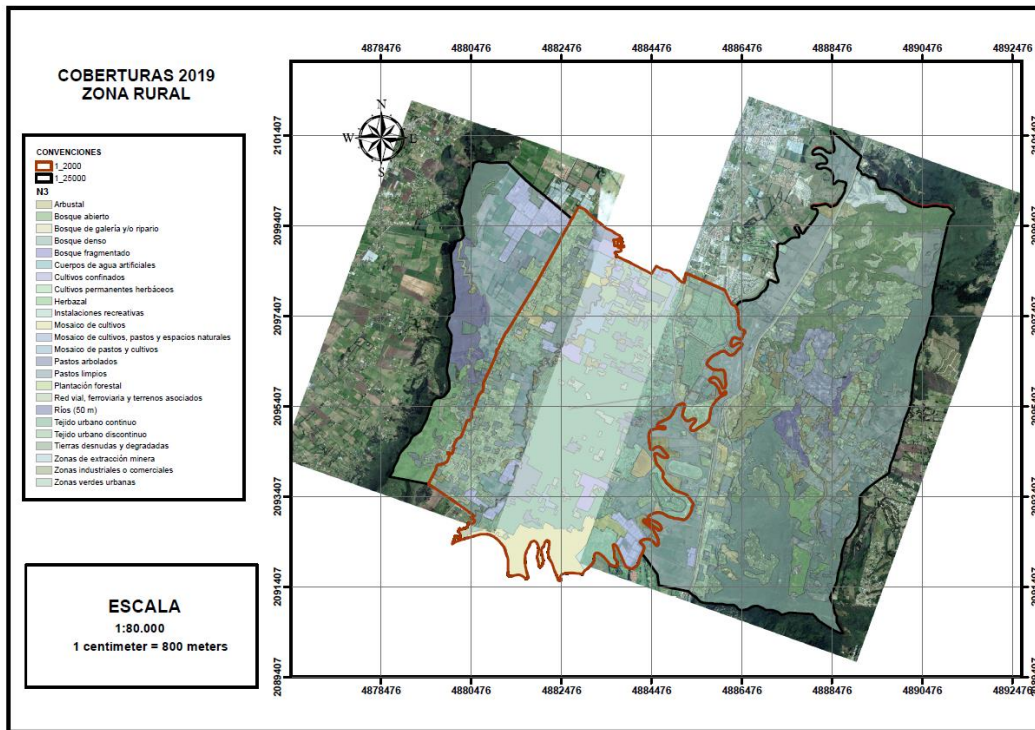
Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

**Figura 20.** Mapa de coberturas para el tiempo anterior año 2018



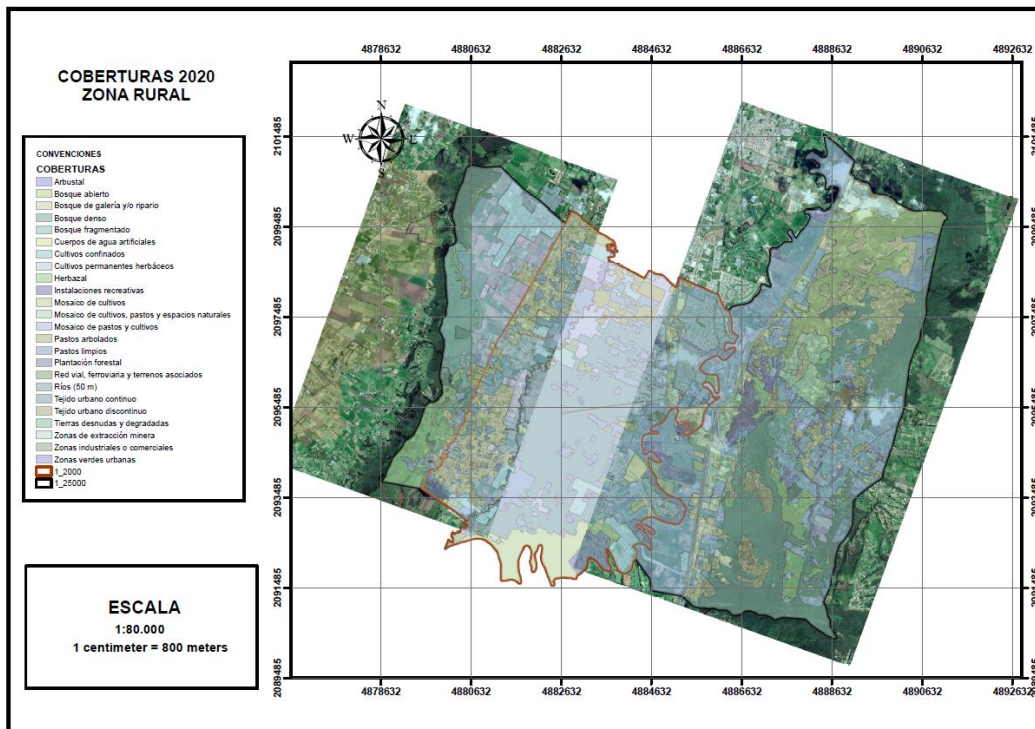
Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

Figura 21. Mapa de coberturas para el tiempo anterior año 2019



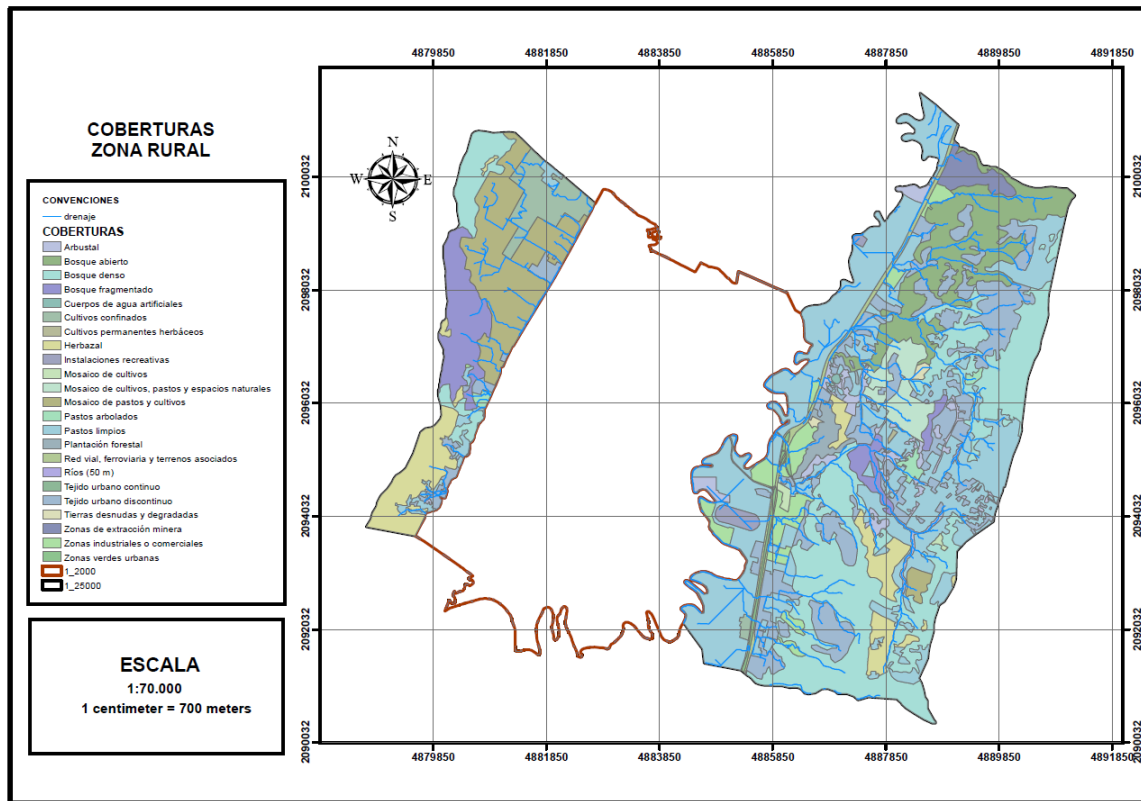
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 22. Mapa de coberturas para el tiempo anterior año 2020



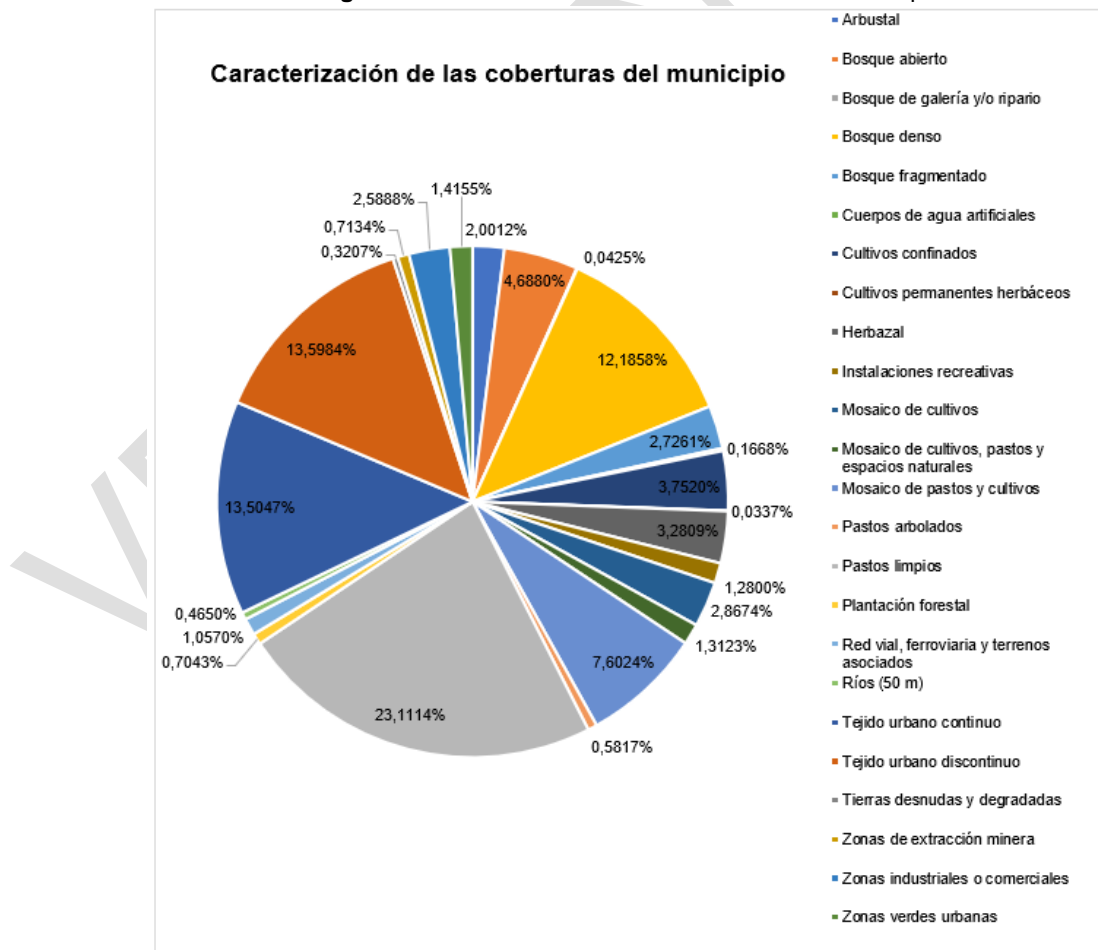
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 23. Mapa de coberturas para el tiempo actual año 2021



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 24. Caracterización de las coberturas del municipio



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

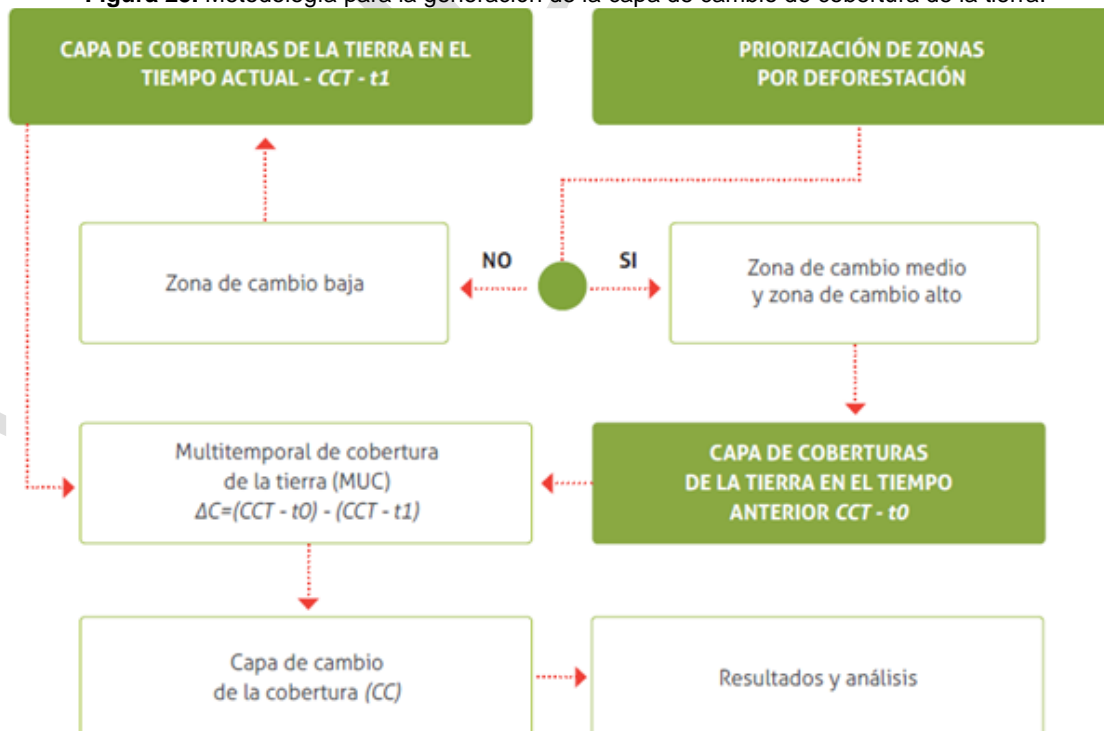
**Tabla 12.** Caracterización de las coberturas del municipio año 2021

Caracterización de las coberturas del municipio	Área	%
Arbustal	160.657589	2.0012%
Bosque abierto	376.361932	4.6880%
Bosque de galería y/o ripario	3.412369	0.0425%
Bosque denso	978.303919	12.1858%
Bosque fragmentado	218.855244	2.7261%
Cuerpos de agua artificiales	13.391141	0.1668%
Cultivos confinados	301.216202	3.7520%
Cultivos permanentes herbáceos	2.703062	0.0337%
Herbazal	263.398353	3.2809%
Instalaciones recreativas	102.763247	1.2800%
Mosaico de cultivos	230.203386	2.8674%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	105.357711	1.3123%
Mosaico de pastos y cultivos	610.337941	7.6024%
Pastos arbolados	46.697591	0.5817%
Pastos limpios	1855.43143	23.1114%
Plantación forestal	56.54457	0.7043%
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	84.857295	1.0570%
Ríos (50 m)	37.332661	0.4650%
Tejido urbano continuo	1084.19049	13.5047%
Tejido urbano discontinuo	1091.70785	13.5984%
Tierras desnudas y degradadas	25.7468	0.3207%
Zonas de extracción minera	57.276878	0.7134%
Zonas industriales o comerciales	207.833079	2.5888%
Zonas verdes urbanas	113.642795	1.4155%
<b>Total</b>	<b>8028.22353</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

Para elaborar el mapa de cambio de coberturas se presenta el esquema metodológico de la **Figura 25**.

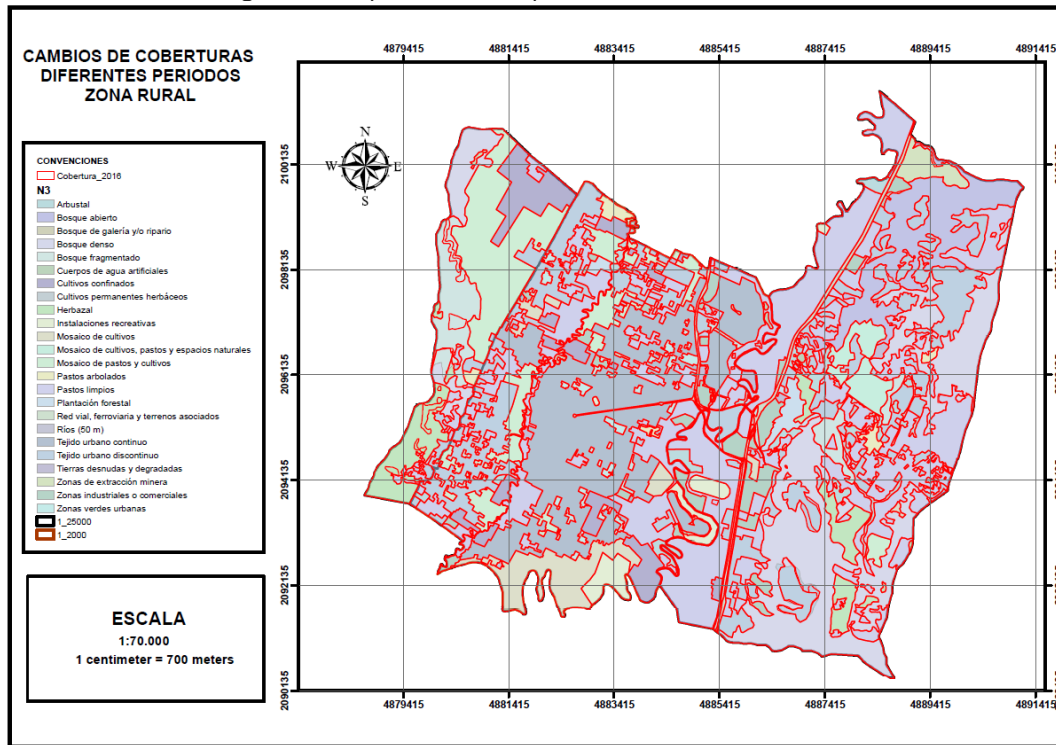
**Figura 25.** Metodología para la generación de la capa de cambio de cobertura de la tierra.



Fuente: Tomado de Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000, SGC.

Al hacer el análisis de los cambios de las coberturas de la tierra se pueden ver zonas afectadas por diferentes usos del suelo (**Figura 26**).

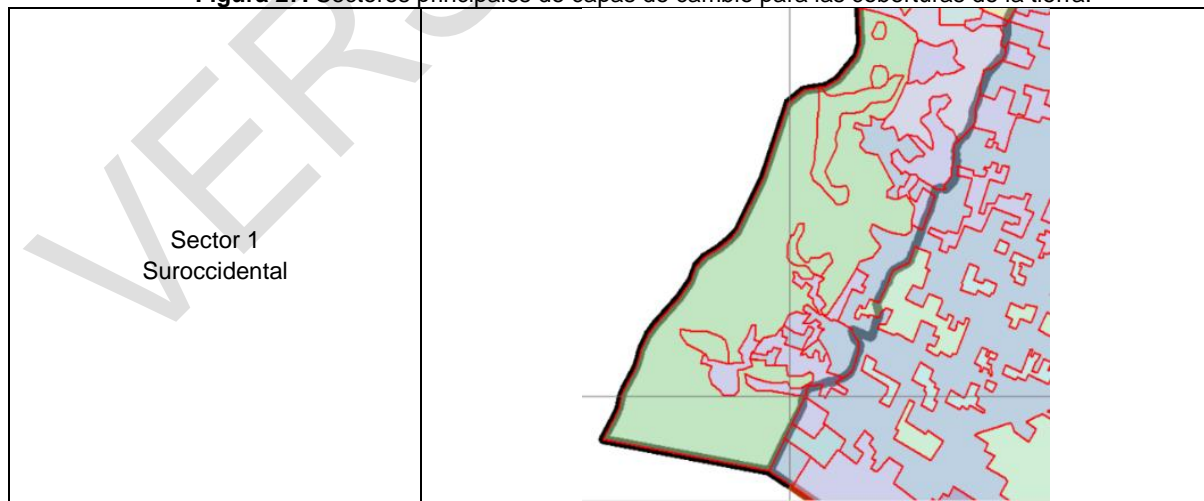
**Figura 26.** Capas de cambio para las coberturas de la tierra.



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Las principales zonas de cambio están en la parte sur y noroccidental y un sector suroriental, para lo anterior se revisaron los usos del suelo por grupo y uso actual tomando como referencia lo establecido por el SGC en la guía. Es importante mencionar que las líneas rojas indican las coberturas en un periodo antecedente y los diferentes colores de achurado se refieren a las coberturas actuales. La **Figura 27** muestra con más detalle los cambios generados en esos sectores.

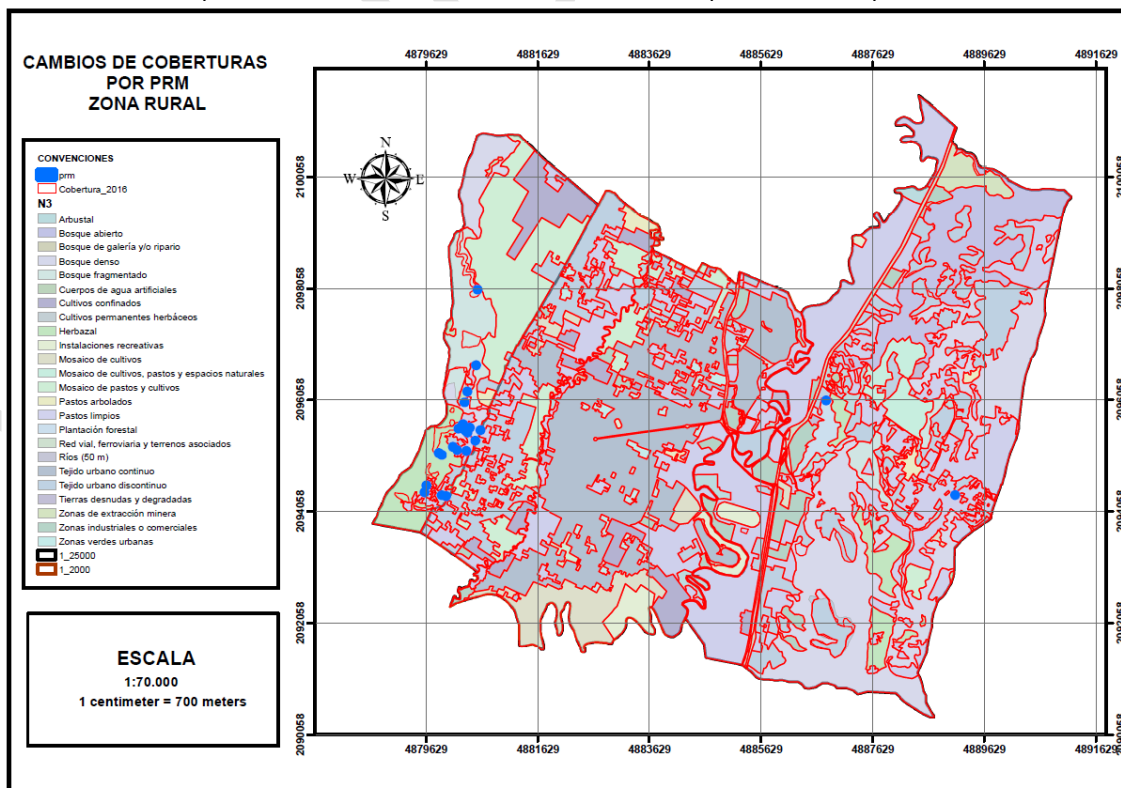
**Figura 27.** Sectores principales de capas de cambio para las coberturas de la tierra.





Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Figura 28. Inventario de procesos de movimientos en masa sobre las capas de cambio para las coberturas de la tierra.



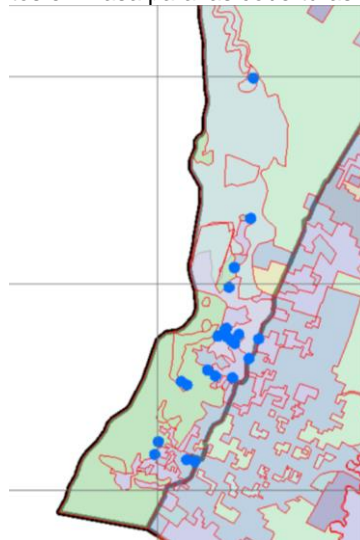
Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Finalmente se realizó una priorización de zonas por deforestación en la cual se definieron las áreas en las cuales se generaron cambios de la cobertura en el periodo de análisis multitemporal.

Estas zonas se obtienen a partir de las áreas de cambio y no cambio por deforestación, representando una de las muchas dinámicas antrópicas, de las cuales se tiene información espacial a nivel nacional en diferentes periodos de tiempo. Esta propuesta permite reducir las áreas en las cuales se van a definir los cambios de la cobertura de la tierra.

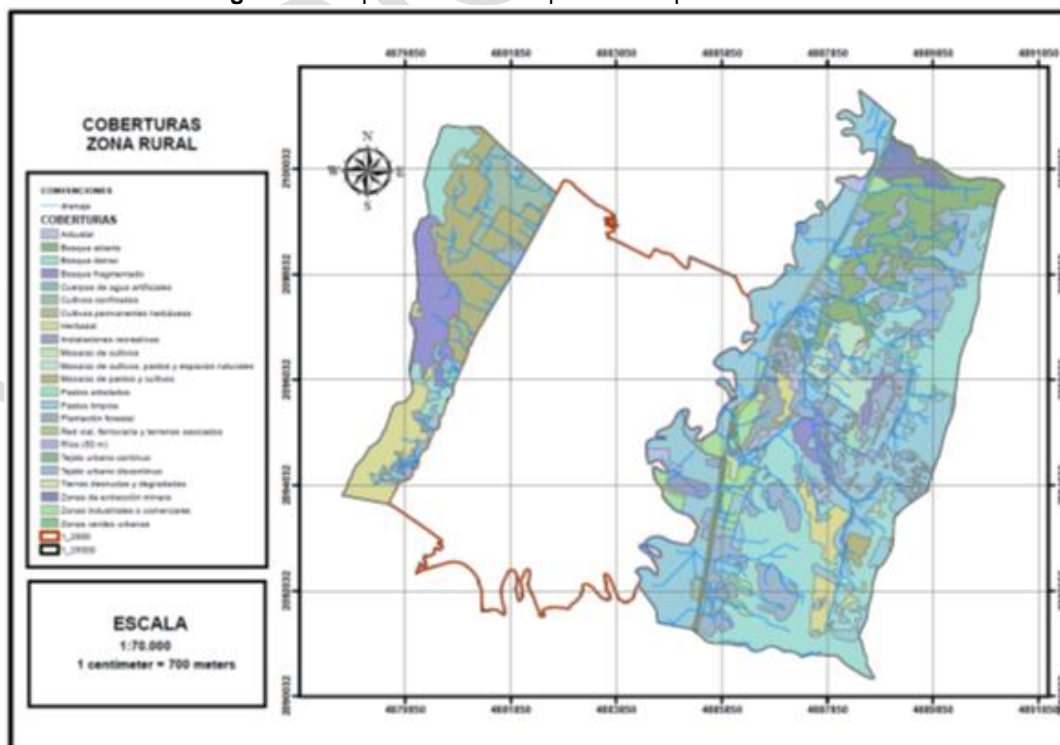
De acuerdo con el análisis se observan grado de cambio medio en zonas de bosque en el sector suroccidental, estas zonas coinciden con proceso de movimientos en masa identificados y aumento de cobertura de pastos y zonas urbanizadas.

**Figura 29.** Priorización de zonas por deforestación a partir de las capas de cambio y el inventario de procesos de movimientos en masa para las coberturas de la tierra



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

**Figura 30.** Mapa de coberturas para el tiempo actual año 2021



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

Teniendo en cuenta el análisis multitemporal y los procesos ocurrentes el mapa final de coberturas de la tierra para el periodo actual es utilizado en la metodología para la susceptibilidad por movimiento en masa. (**Figura 30**).

Para el análisis de capas de cambio de cobertura a lo largo del tiempo, se tomó en cuenta el inventario de procesos de movimientos en masa, del cual se cartografiaron 25 puntos identificados por diferentes tipos de procesos; esta cartografía permitió establecer áreas de cambio y no cambio por deforestación.

De acuerdo con la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 del Servicio Geológico Colombiano, el mapa de cambio de cobertura se obtuvo a partir de la pérdida o ganancia de áreas, para diferentes periodos, el año con mayor afectación en bosques fue el 2018.

Se definieron zonas de deforestación para áreas en las cuales se generaron cambios de la cobertura en el periodo de análisis descrito en la metodología; para el caso del municipio sectores en los cuales se presentaban bosques de diferentes tipos en la actualidad fueron modificados por factores antrópicos principalmente a la generación de pastos, herbazales y urbanizaciones o infraestructura.

Las zonas de deforestación coinciden con el inventario de procesos de movimientos en masa, en el sector suroriental, estos grados de cambio pueden contribuir a la generación explícita de cantidad de eventos por pérdida de vegetación espesa o reticulares, las cuales aportan en la resistencia de los suelos. Es así, que se evidenciaron zonas de erosión, cárcavamiento y en algunos casos socavación lateral.

El crecimiento en construcciones civiles, infraestructura y cambios en el uso del suelo, han generado a lo largo de los años disminución en coberturas de bosques; esto puede conllevar a que se produzca inestabilidad en las laderas por el aumento de escorrentía e infiltración cuando hay precipitaciones, teniendo en cuenta que estas especies sirven como reguladoras del ciclo hidrológico y las raíces como sistema reticular de estabilidad; así mismo debido al aumento en la deforestación por las dinámicas antrópicas en las zonas planas se pueden aumentar los procesos de encharcamiento hacia el casco urbano.

#### 4.3 Zonificación de Amenaza suelo rural escala 1:25000

Para la elaboración del mapa de zonificación de amenazas por procesos de inestabilidad en el área rural del municipio, se empleó el **Método Estadístico Bivariado**, que consiste en comparar el mapa de distribución del inventario movimientos en masa en el área estudiada, con cada uno de los otros mapas de factores de influencia, mediante la aplicación de la fórmula descrita a continuación en una ponderación para las variables estudiadas.

**Tabla 13.** Variables del método estadístico bivariado

No.	Variables
1	Unidades geológicas superficiales
2	Fábrica
3	Resistencia
4	Densidad de Fracturamiento
5	Unidades geomorfológicas
6	Pendiente
7	Densidad de drenaje
8	Coberturas de la tierra

**Fuente:** Hydraulic and Environmental Design SAS

Se calcula

- $A_T$  = área total de la zona
- $A_{pe}$  = área total afectada por procesos erosivos
- El área de cada una de las clases en los mapas empleados (UGI, geomorfológico, pendientes, etc)
- $A_{TC}$  = Área total de clase.
- $A_{pec}$  = área afectada por procesos erosivos en cada una de las clases de cada uno de los mapas de factores.
- La densidad de procesos erosivos en toda la zona y en cada clase de mapa de factores según la ecuación:
- $d_T = A_{pe} / A_T * 100$  , en donde:
- $d_T$  = Densidad de procesos erosivos en toda la zona
- $d_i = A_{pec} / A_{TC} * 100$ , en donde:
- $d_{ci}$  = Densidad de procesos erosivos en cada clase

- Los valores de peso para cada mapa de factores, mediante la fórmula

$$w_{ci} = d_{ci} - d_T$$

en donde:

$w_{ci}$  = Valor de peso para cada clase

$d_{ci}$  = Densidad de procesos erosivos en cada clase

$d_T$  = Densidad de procesos erosivos en toda la zona

Posteriormente se suman los valores de peso de los mapas individuales para obtener un único mapa de valores de peso y se reclasifica el mapa de valores de peso en grados de amenaza:

- Amenaza alta
- Amenaza media
- Amenaza baja

Por último, se obtiene el Mapa de zonificación de amenaza por Procesos de inestabilidad (Método estadístico Bivariado).

Resumiendo lo anterior se puede hacer mediante la implementación del SIG así:

$$\ln W_i = \ln \left( \frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}} \right) = \ln \left( \frac{\frac{N_{pix}(S_i)}{N_{pix}(N_i)}}{\sum \frac{N_{pix}(S_i)}{N_{pix}(N_i)}}}{\sum \frac{N_{pix}(N_i)}{N_{pix}(N_i)}} \right)$$

donde,

$W_i$  = La ponderación dada a una cierta clase de parámetro (p.e. un tipo de roca, o una clase de pendiente).

Densclas = el grado de deslizamiento dentro de la clase de parámetro.

Densmap = el grado de pendiente de todo el mapa.

$N_{pix}(S_i)$  = número de pixeles, los cuales contienen los deslizamientos, dentro de una cierta clase de parámetro.

$N_{pix}(N_i)$  = número total de pixeles dentro de una cierta clase de parámetro.

#### 4.3.1 Procedimiento para aplicar el método estadístico bivariado en el SIG

- Identificar el shapefile de inventario de procesos. Crear Campo de categorización, para movimientos activos =1 inactivos=0
- Ejecutar comando erase entre límites del proyecto y el shapefile del paso 1. (Input Feature = límite y erase Feature = Shape inventario)
- Ejecutar comando unión entre los Shape creados en el paso 1 y 2 respectivamente
- Editar el campo creado en el paso 1 para que en los espacios vacíos el campo categorización sea igual a cero.
- Ejecutar el comando polygon to ráster para generar layer para operar con las demás variables. Es de resaltar que dependiendo de la escala de trabajo, el tamaño del pixel debe ser proporcional. Por ejemplo para Chía escala 1:25000.

**Tabla 14.** Escalas de trabajo

Escala de Trabajo	Tamaño pixel (m)
1:25.000	25
1:10.000	10
1:5000	5
1:2000	2
1:1000	1
1:500	0.50

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

1. Categorizar cada variable dentro de clases representativas (por lo menos 2 clases por variable) generando un campo de tipo numérico en la tabla de atributos (1,2,3,...)
2. Superponer el ráster de inventario con cada variable utilizando la herramienta times, para calcular los respectivos pesos y generar un campo de atributos con estos pesos. Utilizar la herramienta lookup en el campo creado para formar un ráster con los pesos para cada variable
3. Utilizar la herramienta ráster calculator y sumar todos los ráster creados en el paso 7.
4. Clasificar la susceptibilidad o amenaza en tres rangos (alta, media y baja)
5. Calibrar el mapa final en función del inventario de procesos creado en el paso 3.
6. Reclasificar los ráster de susceptibilidad y amenaza en 3 unidades (1 =baja, 2 =media y 3= alta)
7. Generar mapa definitivo y leyenda de características físicas apropiadas.

Las clases están dadas por las unidades o rangos que tiene cada mapa con algunos ajustes generalizando la unidad, como se presenta en la **Tabla 15**.

**Tabla 15.** Variables

N°.	Variable	Descripción	Clase
1	Geología	Roca dura	C1
		Roca intermedia	C2
		Roca blanda	C3
		Suelo residual	C4
		Suelo trasportado	C5
2	Fabrica	Suelo	C1
		Cristalina	C2
		Clástica	C3
3	Resistencia	Blanda	C1
		Dura	C2
4	Densidad de Fracturamiento	Baja	C1
		Media	C2
		Alta	C3
5	Geomorfología	Ambiente antrópico	C1
		Ambiente Denudacional	C2
		Ambiente fluvial	C3

N°.	Variable	Descripción	Clase
		Ambiente estructural	C4
		Ambiente volcánico	C5
		Ambiente marino litoral	C6
		Ambiente glacial	C7
		Ambiente eólico	C8
		Ambiente cárstico	C9
6	Pendiente	0-25%	C1
		25-50%	C2
		50-100%	C3
		>100%	C4
7	Densidad de drenaje	<0.50	C1
		0.50-1.0	C2
		>1.0	C3
9	Coberturas	Pastos	C1
		Herbazal	C2
		Arbustal	C3
		Bosque	C4
		Cuerpos de agua	C5
		Redes viales	C6
		Tejido urbano	C7
		Cultivos	C8
		Explotación de material	C9
		Otras zonas	C10

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

Área total en m<sup>2</sup> de cada una de las clases de los mapas de factores.

- Geología

Tabla 16. Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Geología

Código	Clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
Roca dura	1	2703	0,00001	3.69959-09	-29.06683332
Roca intermedia	2	24452	219	0.008956323	-14.3671858
Roca blanda	3	1756	13	0.007403189	-14.5576346
Suelo residual	4	2321	11	0.000515923	-17.22213427
Suelo transportado	5	27616	9	0.000327082	-17.6770885
		<b>77748</b>			

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

- Fábrica

Tabla 17. Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Fabrica

Código	Clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
SUELO	1	48837	20	0.000409526	-17.963127
CLÁSICA	2	26208	232	0.008852259	-14.8896984
CRISTALINA	3	2703	0,00001	3.69959E-09	-29.5776588
		<b>77748</b>			

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

- Resistencia

Tabla 18. Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Resistencia

Código	Clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
Blanda	1	75045	252	0.003357985	-16.2644951
Dura	2	2703	0,00001	3.69959E-09	-29.9831239
		<b>77748</b>			

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

– Densidad de Fracturamiento

**Tabla 19.** Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Densidad de Fracturamiento

Código	Clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
Baja	1	33564	22	0.000655464	-17.4927827
Media	2	17875	0,00001	5.59441E-10	-31.4666997
Alta	3	26309	230	0.008742256	-14.9022029
		<b>76505</b>			

Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

– Geomorfología

**Tabla 20.** Pesos de variables para mapas de susceptibilidad- Geomorfología

Código	Clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
Antrópico	1	1243	21	0.01689461	-14.6327249
Denudacional	2	27108	176	0.006492548	-15.5890644
Fluvial	3	21195	0,00001	4.71809E-10	-32.0264102
Estructural	4	28202	55	0.001950216	-16.7917792
		<b>76505</b>			

Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

– Pendiente

**Tabla 21.** Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Pendiente

Código porcentaje	clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
0-25	1	59429833	89	1.49756E-06	-30.2277149
25-50	2	12919427	77	5.96002E-06	-28.8464817
50-100	3	73335336	87	1.18633E-05	-28.1581046
>100	4	702253	16	2.27838E-05	-27.5055047
		<b>80385049</b>			

Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

– Densidad de drenaje

**Tabla 22.** Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Densidad de drenaje

Código	Clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
>1	3	77765	252	0.003240532	-16.9934644
		<b>77765</b>			

Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

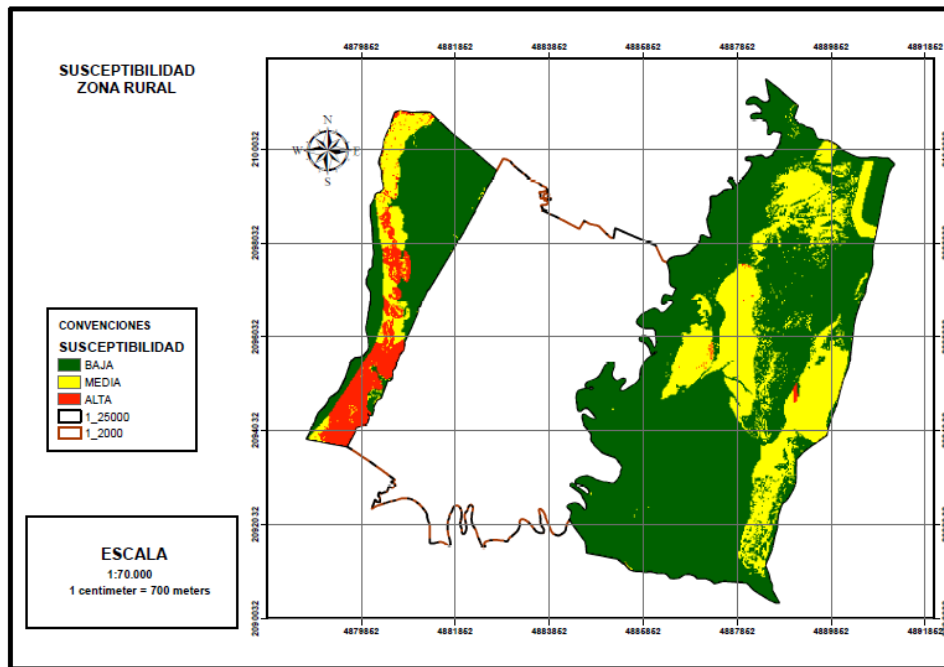
– Coberturas de la Tierra

**Tabla 23.** Pesos de variables para mapas de susceptibilidad – Coberturas de la tierra

Código	Clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
Pastos	1	41625	216	0.005189189	-14.7306465
Arbustal	3	23355	23	0.0009848	-16.3925408
Bosques	4	7085	143	0.001834862	15.7702544
Tejido urbano	7	99	0,00001	1.0101E-07	-25.577514
Cultivos	8	3994	0,00001	2.50376E-09	-29.2749426
Otras zonas	10	1590	0,00001	6.28931E-09	-28.3538834
		<b>77748</b>			

Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

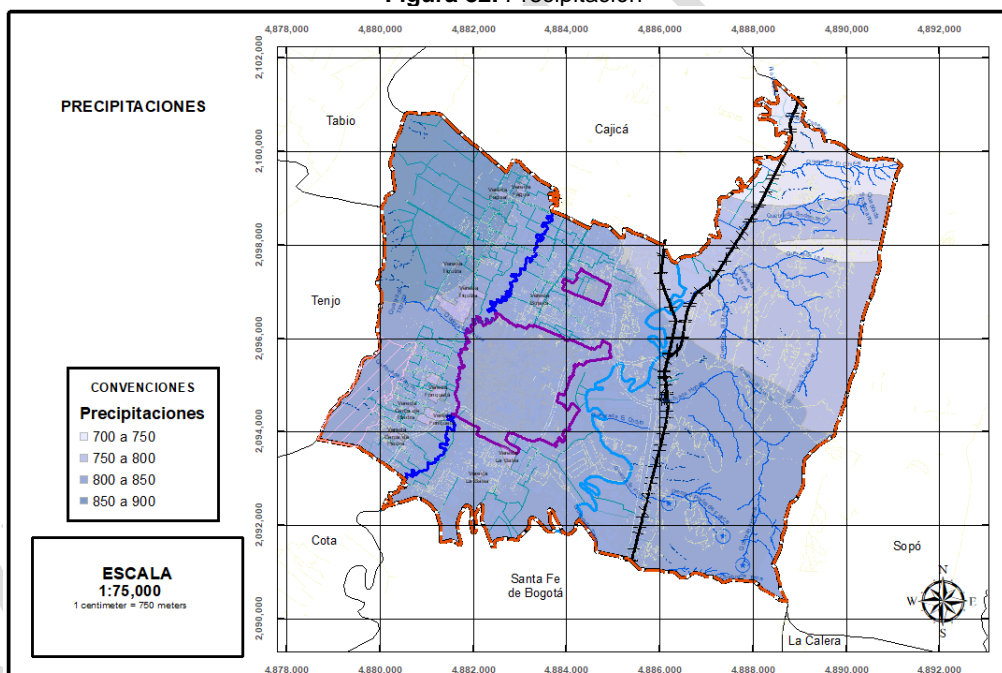
**Figura 31.** Mapa de susceptibilidad por procesos de movimientos en masa



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

- Clima (Lluvias)

**Figura 32.** Precipitación



Fuente: POMCA río Bogotá

**Tabla 24.** Pesos de variables para mapas de susceptibilidad

Código MM año	Clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
800-1000	1	77748	252	0,003241241	-16,9930271
		77748			

Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

Tomando en cuenta que las precipitaciones en relación con el inventario de procesos se encuentran ubicadas en el rango de 800 a 1000, se clasifican las precipitaciones detonantes con un intervalo de lluvias superiores a 800 mm, esto aunado a los sismos condiciona el costado oriental a que cambie considerablemente su clasificación.

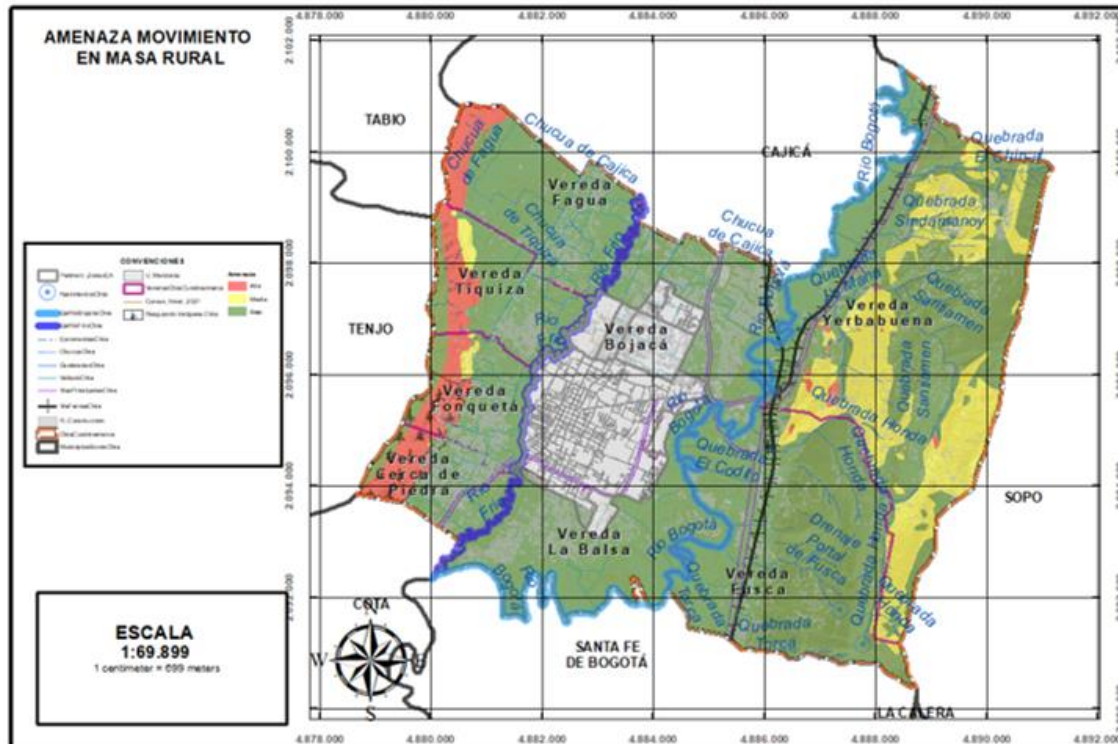
– Sismo

**Tabla 25.** Pesos de variables para mapas de susceptibilidad

Código	Clase	NPI(NI)	NPIX(SI)	NPIX(SI)/NPIX(NI)	Weight
No deslizamiento	0	77513	0,0001	0,00000001	-29,6823461
	1	269	269	1	-11,2616653
		77782			

Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

**Figura 33.** Mapa de amenaza por procesos de movimientos en masa zona rural



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

- **Amenaza Alta:** Zonas en la cuales se presentan limolitas y liditas de la formación Planeers que a nivel estructural están afectadas por el anticlinal de Bogotá con alta densidad de fracturamiento en rocas de origen clástico y procesos morfogenéticos de origen denudacional como deslizamiento traslacional o cerros residuales y estructural como Ladera estructural de sierra homoclinal denudada, con pendientes mayores a 25° escarpadas a abruptas y con presencia de cambios de cobertura de bosques por pastos, construcciones o cultivos. Se presenta alta densidad de drenaje y de procesos de movimiento en masa identificados y activos.
- **Amenaza Media:** Zonas en la cuales se presentan areniscas cuarzosas, gris claro, de grano medio a grueso de la formación Labor y Tierna con alta densidad de fracturamiento y procesos morfogenéticos de origen denudacional como conos y lóbulos coluviales y de soliflucción y estructural como Escarpe de línea de falla, con pendientes entre 12° y 25° inclinadas a escarpadas, con presencia de cambio de cobertura de pastos por construcciones. Se presenta alta densidad de drenaje y algunos procesos de movimiento en masa identificados, suspendidos, latentes y activos.
- **Amenaza Baja:** Zonas en la cuales se presentan arcillas de inundación de color gris claro, oscuro y amarillo con contenido de limos y arcillas orgánicas de la Formación Chía, con bajo y medio densidad de fracturamiento y procesos morfogenéticos de origen fluvial como Cauce Activo o Planicie o llanuras de inundación y antrópico como Promontorios de desecho de cantera, pendientes menores a 12° entre planas e inclinadas, sin presencia de

cambios de cobertura significativos. Se presenta alta densidad de drenaje y pocos procesos de movimiento en masa identificados los cuales son asociados a cortes o rellenos de origen antrópico que están suspendidos o inactivos.

## 5. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA CASCO URBANO CENTROS POBLADOS Y POSIBLES ZONAS DE EXPANSIÓN URBANA.

Para la evaluación de la amenaza por procesos de movimientos en masa se partió del levantamiento topográfico, el mapa geológico detallado, las perforaciones mecánicas y ensayos de laboratorio adelantadas en el presente estudio. Dentro de este mapa se tienen en cuenta aspectos tales como: inclinación del terreno, parámetros de resistencia, permeabilidad del suelo (variaciones del nivel freático) y sismicidad de la zona.

El mapa de amenazas depende básicamente de los agentes detonantes lluvia y sismo, así como la combinación de estos. El mapa de amenazas que se presenta corresponde a la condición más desfavorable, es decir, lluvia y sismos.

Es importante destacar por otro lado, que el mapa de amenaza está basado en conceptos determinísticos a partir del modelo de equilibrio límite desarrollado a partir del talud infinito, con celdas de tamaño 2X2 metros, las cuales pueden representar de manera adecuada fenómenos locales de inestabilidad.

El desarrollo de un mapa probabilístico de amenaza por deslizamiento toma como referencia el artículo desarrollado por los ingenieros del servicio geológico de los Estados Unidos donde manejan la siguiente expresión para el cálculo del factor de seguridad:

$$FS = \frac{c' + (\gamma h \cos^2 \beta - \alpha h \gamma \sin \beta \cos \beta - m \gamma_w h \cos^2 \beta) \tan \phi'}{\gamma h \sin \beta \cos \beta + \alpha \gamma h \cos^2 \beta}$$

Dónde:

C' = Cohesión efectiva

Φ = Angulo efectivo de fricción

β = Pendiente del terreno

γ = Peso unitario del suelo

γ<sub>w</sub> = Peso unitario del agua

h = Espesor de estrato deslizante

m = Proporción del estrato deslizante que se encuentra saturado

α = Coeficiente de aceleración horizontal

Para realizar un mapa de amenaza haciendo uso de la expresión se necesita desarrollar varias matrices todas de igual tamaño (m x n) las cuales son: matriz de elevación (se obtiene de la topografía desarrollando un modelo digital de elevación), matriz de pendientes (se desarrolla haciendo uso de las herramientas de ArcGIS), matrices de valores de cohesión, ángulo de fricción y peso unitario del suelo.

Una vez obtenidas las matrices y con los valores de t y h se hace uso de la expresión, integrando las diferentes matrices en un código desarrollado en ARCGIS donde se genera una matriz de tamaño (m x n) con los valores de factor de seguridad para cada pixel del mapa.

## 5.1 Obtención de variables

### 5.1.1 Parámetros geomecánicos

Para la determinación de los parámetros geomecánicos empleados en la modelación, se utilizaron los ensayos de laboratorio tomados de proyectos urbanísticos recientes, disponibles en la Dirección de Urbanismo, para caracterizar los materiales según las unidades geológicas superficiales los cuales se resumen en la **Tabla 26**:

**Tabla 26.** Sondeos disponibles en la zona de estudio

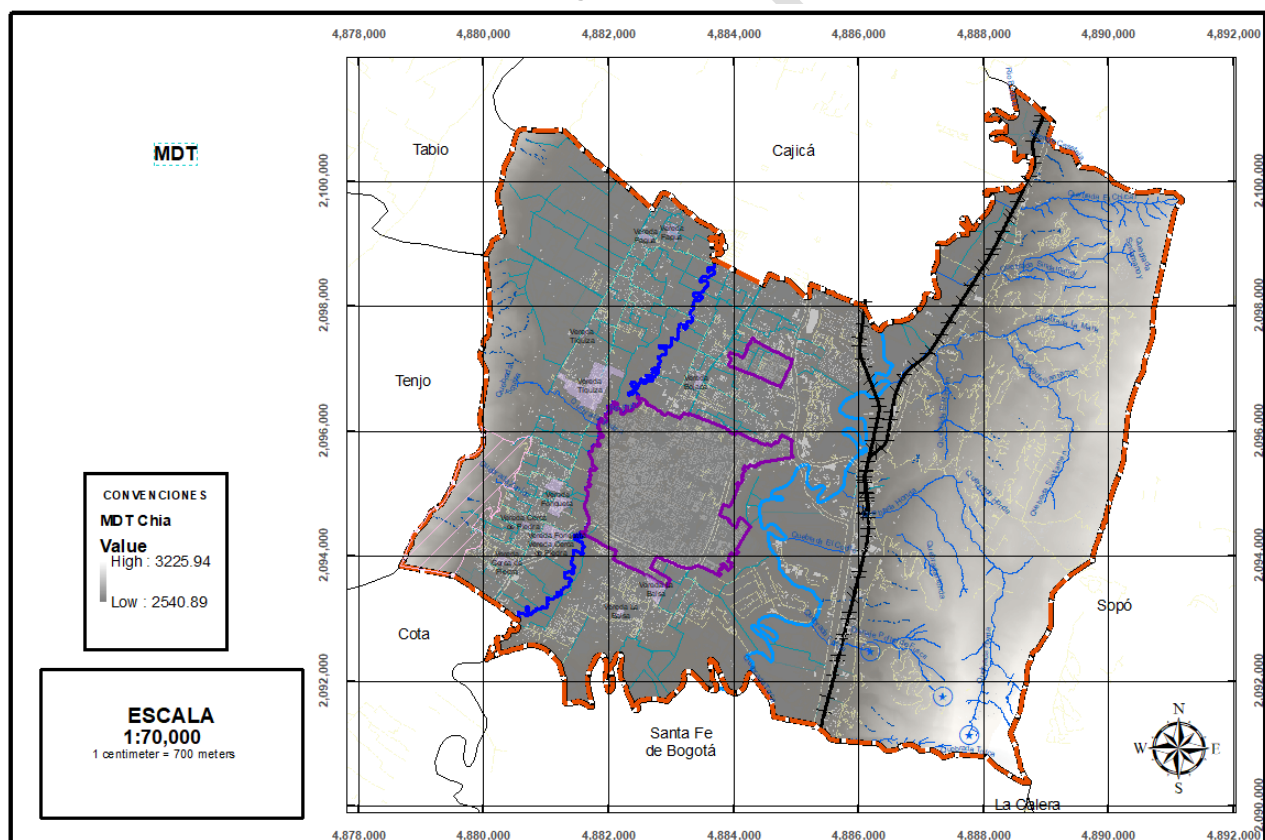
No	Estudio	X	Y
1	Proyecto Santorini	4882270.674	2095914.008
2	Portobari Condominio	4881930.838	2096891.207
3	Condominio Tabuco	4882308.765	2093753.670
4	Urbanización Lindaraja	4885640.372	2097942.584
5	Proyecto La Campiña	4880491.737	2094923.634
6	Villa Leonor	4882764.826	2099148.078
7	El Cairo	4886334.454	2096702.198

Fuente: Sondeos disponibles consulta Dirección de Urbanismo Chía, 2021

### 5.1.2 Pendientes

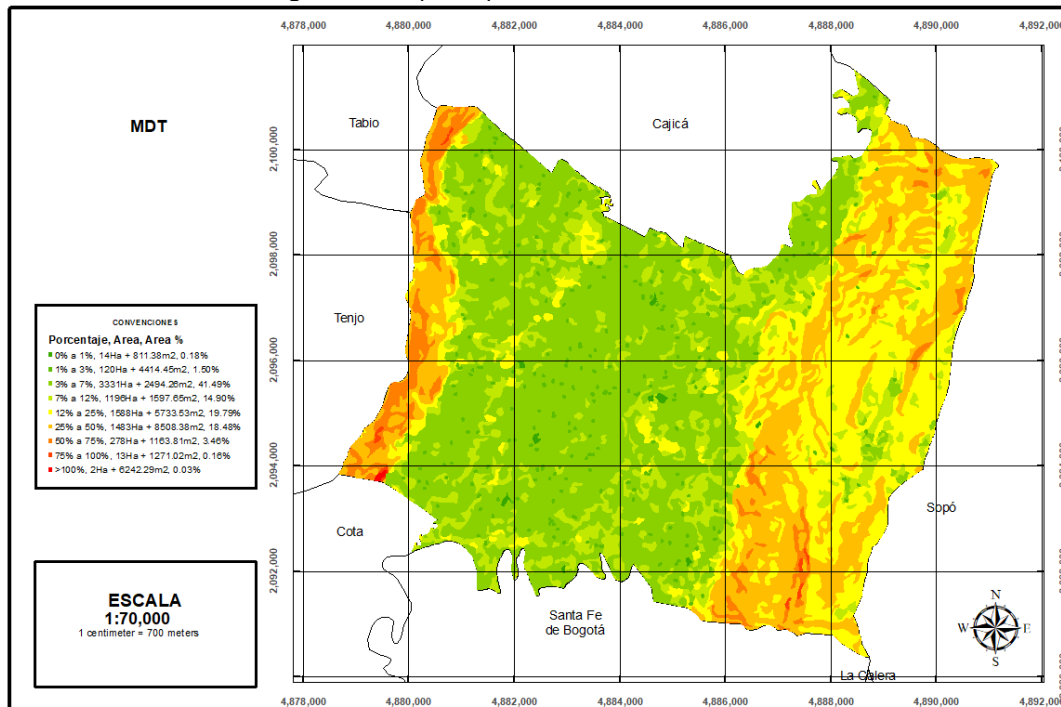
La pendiente se obtuvo a partir de DEM suministrado por la alcaldía.

**Figura 34.** MDT



Fuente: Municipio.

**Figura 35. Mapa de pendiente zona escala 1:2000.**



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

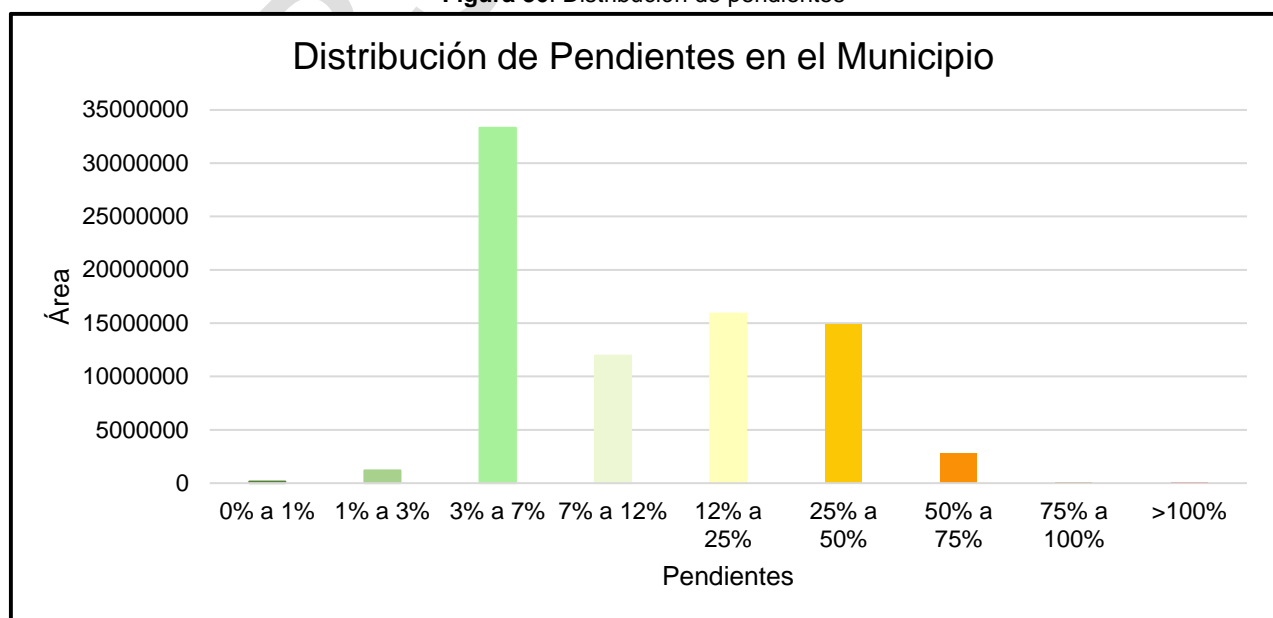
Los rangos de pendientes son establecidos de acuerdo con las curvas de nivel a escala 1:2000 y teniendo en cuenta la **Tabla 27**.

**Tabla 27. Rangos establecidos de la variable pendiente**

Descripción	Porcentaje (%)
Plana	0-12
suavemente inclinada	12-25
Inclinada	25-50
Muy inclinada	50-75
Abrupta	75-100
Escarpada	>100

Fuente: Tomado y ajustado de SGC (INGEOMINAS) 2011.

**Figura 36. Distribución de pendientes**



Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

### 5.1.3 Geología regional

La geología oficial que corresponde al municipio fue publicada por el Servicio Geológico Colombiano, a escala 1:100.000, bajo el nombre de Plancha No.209 Zipaquirá y ajustada en la actualización del POMCA del río Bogotá por la CAR a escala 1:25000. Las unidades aflorantes de esta región están compuestas principalmente por depósitos de sabana, areniscas y rocas sedimentarias, las cuales se encuentran en las formaciones Labor y Tierna.

#### 5.1.3.1 Formación Labor y Tierna (K2t)

Esta unidad fue definida por Renzoni en 1968. Al igual que las dos unidades anteriores y como unidad superior del Grupo Guadalupe, constituye la mayor parte de los cerros que bordean La Sabana de Bogotá.

Litológicamente consta de tres conjuntos: a) uno inferior conformado por areniscas cuarzosas, de color gris claro, de poco espesor, de grano fino a medio, ligeramente friables; b) un conjunto intermedio donde predominan arcillolitas y limolitas silíceas, y c) el conjunto superior constituido por areniscas cuarzosas, gris claro, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, moderadamente friables, y en estratos de 0,2 a 3,0 m de espesor.

El espesor total de la unidad es variable, así: para la región Suroriental de la Sabana de Bogotá oscila entre 235 y 290 m, mientras que para la región Occidental y Noroccidental oscila entre 166 y 300 m. Se considera que se depositó en un ambiente litoral durante el Maastrichtiano temprano a medio.

El contacto inferior es concordante y se ubicó en la base de la capa más baja de arenitas de cuarzo, la cual suprayace una secuencia de limolitas silíceas; el contacto superior igualmente concordante, y se localizó en el techo de la capa más alta de arenitas, que infrayace una secuencia de arcillolitas

#### 5.1.3.2 Formación Chía (Q2ch)

Corresponde a sedimentos fluviales de inundación, y de los cauces actuales, localizados a lo largo de los ríos principales que cruzan la Sabana de Bogotá, algo por debajo de la planicie general. Los sedimentos de la Formación Chía se pueden interpretar como arcillas de inundación, de una edad Pleistoceno Tardío a Holoceno.

Litológicamente está constituida principalmente por arcillas de color gris claro, oscuro y amarillo; localmente puede contener limos y arcillas orgánicas. Su espesor máximo puede alcanzar los 5.00 m.

#### 5.1.3.3 Formación Sabana (Q2s)

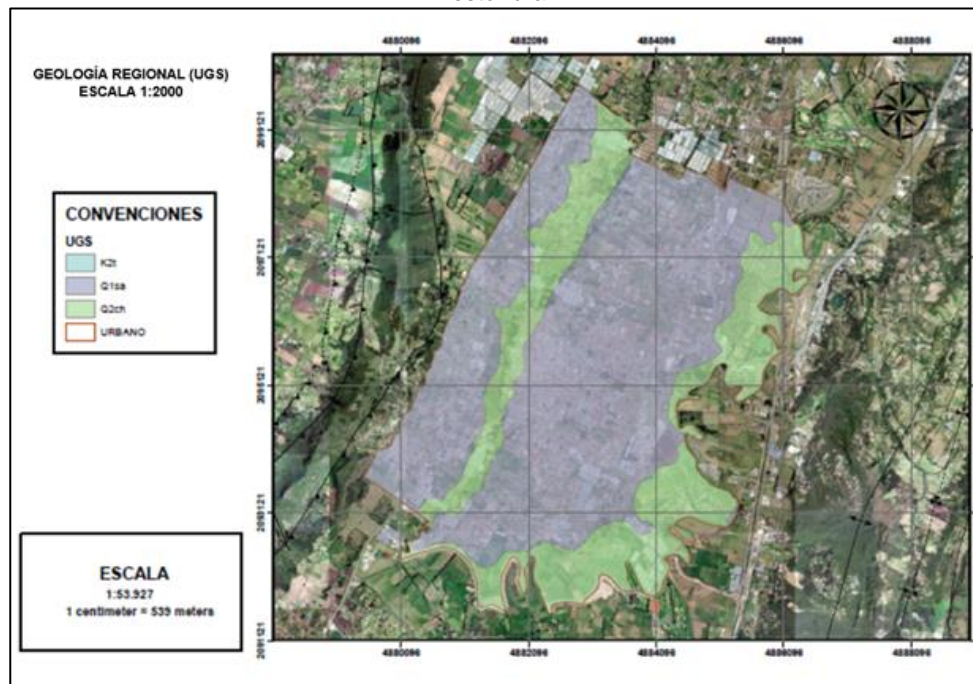
Unidad referenciada inicialmente por Hubach (1957). Se encuentra básicamente en el propio altiplano y cubre la parte más o menos plana de la Sabana de Bogotá, suprayaciendo a la Formación Subachoque y otras unidades.

Comprende sedimentos lacustres, constituidos principalmente por arcillas. Hacia los márgenes de la cuenca existe un incremento en las intercalaciones de arcilla orgánica, turba, arcillas arenosas, arenas arcillosas y en sectores puntuales gravas, gravillas y arenas. En el centro de la cuenca representa aproximadamente 300 m de espesor, disminuyendo hacia los bordes. La edad es inferior a 1 millón de años, perteneciendo al Pleistoceno Medio a Tardío.

Los datos palinológicos indican que fue depositada en un lago (ambiente lacustre) con fluctuaciones del nivel de agua, mostrando una relación estrecha con los cambios de las condiciones climáticas y de vegetación. La deposición cesó hace cerca de 30.000 (A.P.) años con la desaparición del lago de la Sabana.

Los contactos, tanto inferior como superior de la Formación Sabana son discordantes.

**Figura 37.** Unidades geológicas escala 1:5.000 zona urbana, centros poblados, posibles zonas de expansión urbana y resto rural



Fuente: POMCA río Bogotá. CAR

#### 5.1.4 Geología local

Para el desarrollo y aplicación de la temática de las UGS (geología aplicada a la ingeniería) dentro del proyecto, se tomó como referencia el documento denominado “Propuesta metodológica para la cartografía geológica aplicada a ingeniería”, desarrollada dentro del “Proyecto: Compilación y levantamiento de la Información Geomecánica”, elaborado por PADILLA, J. y otros, INGEOMINAS, (2004).

Para la caracterización, definición y clasificación de las unidades geológicas superficiales se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros geológico-ingenieriles.

La cartografía de las unidades de roca y suelo mostrados en los mapas geológicos de ingeniería deben delimitar estas unidades teniendo en cuenta que representen un cierto grado de homogeneidad en cuanto a las propiedades básicas de geología para ingeniería.

Las Unidades Geológicas Superficiales son rocas y suelos y comprenden:

- Rocas y sus estructuras.
- Suelos residuales y Saprolitos.
- Depósitos transportados en cualquier ambiente, o depósitos de gravedad.
- Depósitos antropogénicos.
- Depósitos de origen volcánico.

**Tabla 28.** Unidades Geológicas para la ingeniería (UGI) según su origen

Origen de la UGS	Tipo de UGS
Derivadas de roca In situ	- Roca inalterada
	- Saprolito
	-Suelos Residual
Depósitos aluviales	- Aluviones recientes o de lecho de río
	- Llanuras aluviales
	- Abanicos o conos aluviales
	- Terrazas aluviales
	- Depósitos fluvio-torrenciales.
Depósitos lacustres y pludales	-
Depósitos de ladera, de vertiente o coluviales	-Colusiones
	- Talus
	- Flujos (de lodo, tierra y de escombros)
	- Derrubios de pendiente
Depósitos costeros	- Deltas, Barras, Playas, etc.
Depósitos volcánicos	- Tetras
	- Surges
	- Flujos de Piroclastos
	- Ignimbritas
	- Flujos de lodos Volcánicos
Depósitos volcánicos	- Lahares
	- Cenizas
	- Coladas de Lava.
Depósitos eólicos	- Dunas, Medanos
	- Loess
	- Cenizas volcánicas
Depósitos glaciares	- Morrenas y Tillitas
	- Fluvioglaciares
Depósitos antrópicos	- Rellenos sanitarios o de basuras
	- Rellenos de excavaciones
	- Escombreras o botaderos

Fuente: Padilla, J. y otros (2004)

Para la definición de las unidades geológicas para ingeniería se tienen en cuenta las siguientes variables, parámetros y factores geológicos:

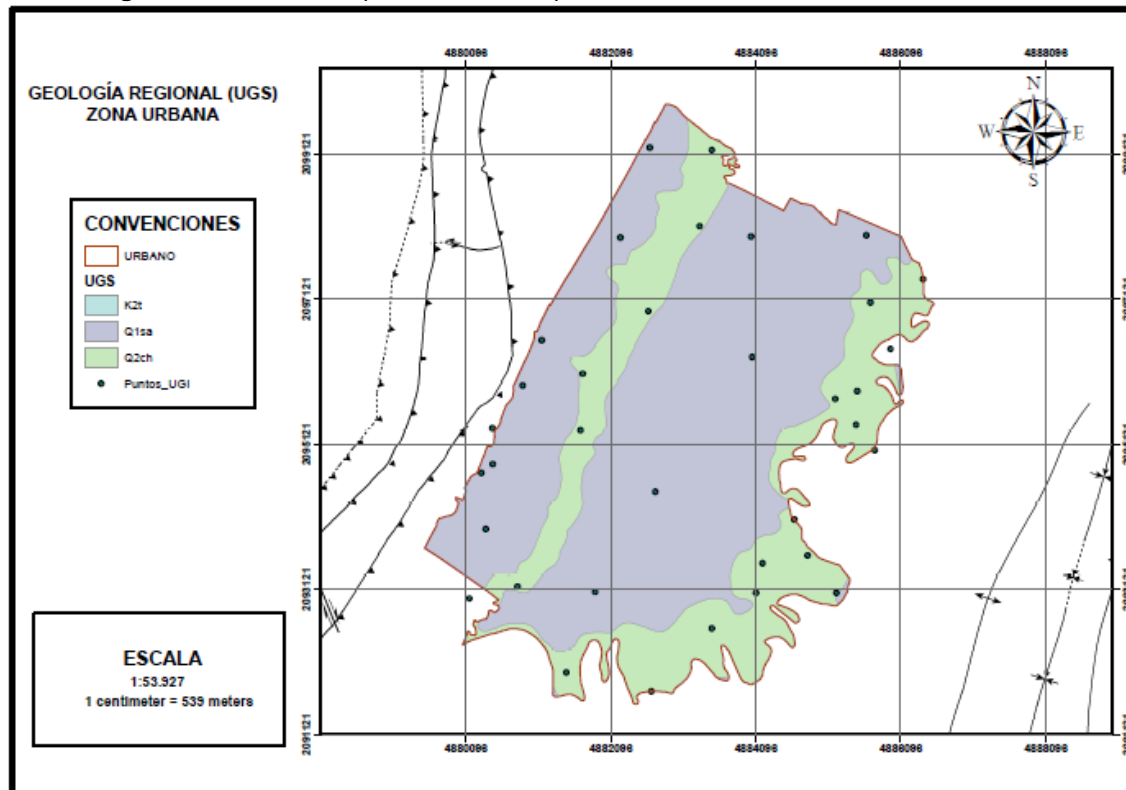
**Tabla 29.** Variables, parámetros y factores usados para evaluar los materiales rocosos

VARIABLES	Parámetros o atributos	Factores que evaluar
Geológicas	Tipo de material del área	Roca Origen, color composición, textura y estructura, litología, dureza meteorización; condición de fracturamiento.
		Suelo residual Origen, tipo de suelo, litología, espesor y condición in situ
Geológicas	Características estructurales del área	Suelo transportado Origen, tipo de suelo, textura, consistencia, densidad, estructura, espesor y humedad.
		Suelo translocado Origen, tipo de suelo, textura, consistencia, densidad, espesor, y humedad.
		Macizo rocoso Definición de las discontinuidades, condición y características. , JV y RQD

Fuente: Padilla, J. y otros (2004).

Estas características se obtienen mediante la descripción de perfiles de afloramientos rocosos, exploración del subsuelo, muestreo de suelos y rocas, ensayos in situ y análisis de laboratorio.

**Figura 38.** Ubicación de puntos de control para obtención de UGI en zona escala 1:2000.



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

**Tabla 30.** Unidades geológicas de ingeniería UGI en los puntos de control

Punto	X	Y	Nomenclatura	Observación
1	4880691.98	2094411.17	Strc	Suelo Transportado Coluvial
2	4880846.95	2094528.92	Strc	Suelo Transportado Coluvial
3	4880843.5	2095027.95	Strc	Suelo Transportado Coluvial
4	4881260.79	2095615.13	Stflsa	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana
5	4881521.36	2096241.07	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
6	4882087.31	2095778.24	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
7	4882060.72	2095000.14	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
8	4882996.88	2096640.58	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
9	4883707.11	2097813.02	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
10	4882607.29	2097656.16	Stflsa	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana
11	4883872.65	2098864.72	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
12	4881188.25	2092842.58	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
13	4881863.06	2091657.4	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
14	4883872.85	2092267.47	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
15	4883093.41	2094150.6	Stflsa	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana
16	4884428.5	2096009.27	Stflsa	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana
17	4885009.13	2093769.45	Stf	Suelo Transportado Aluvial
18	4884572.06	2093165.04	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
19	4886786.57	2097084.02	Stf	Suelo Transportado Aluvial
20	4886006.49	2097687.8	Stflsa	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana
21	4885876.24	2095541.8	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
22	4886117.76	2094723.29	Stf	Suelo Transportado Aluvial
23	4885865.45	2095072.04	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
24	4885575.28	2095428.33	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
25	4885589.09	2092755.32	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
26	4884482.57	2092753.22	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
27	4885193.78	2093272	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
28	4883040.05	2091401.23	Stf	Suelo Transportado Aluvial
29	4880529.84	2092678.92	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
30	4884411.57	2097671.52	Stflsa	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana
31	4886059.49	2096763.92	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
32	4886337.6	2096120.68	Stfch	Suelo Transportado Aluvial Formación Chía
33	4883017.9	2098900.14	Stflsa	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana
34	4882263.93	2092769.24	Stflsa	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana
35	4880751.25	2093634.33	Stflsa	Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana

Fuente: Hydraulic and Environmental Design SAS

#### 5.1.4.1 Suelo Transportado Aluvial (Stf)

Corresponden a los sedimentos fluviales de cauces actuales y llanuras de inundación de los drenajes principales que atraviesan la CRB, como son los ríos: Bogotá, Frío y afluentes principales de estos. En general presentan una morfología plana a ligeramente inclinada. Se caracterizan por tener materiales no consolidados, areno limoso con gravas, cantos y bloques.

Fotografía 25. Punto 17



Fotografía 26. Punto 19



Fotografía 27. Punto 22



Fotografía 28. Punto 28



Fuente: Trabajo de Campo Hydraulic and Enviromental Design SAS

#### 5.1.4.2 Suelo Transportado Aluvial Formación Chía (Stfch)

Materiales correspondientes a las cuencas media y alta, conformados por materiales de granulometría fina a media gruesa: arcillas, limos, arenas finas, gravas, gravillas y ocasionalmente bloques redondeados; los materiales de granulometría media y gruesa se presentan hacia el techo de la secuencia y especialmente en los sectores de confluencia de los afluentes principales del río Bogotá, poco consolidados, densidad baja y deleznable, con un índice. El espesor de los depósitos fluviales es de aproximadamente 5 m, (Van der Hammen y González (1963, 1965).

**Fotografía 29. Punto 5**



**Fotografía 30. Punto 6**



**Fotografía 31. Punto 7**



**Fotografía 32. Punto 8**



Fotografía 33. Punto 9



Fotografía 34. Punto 11



Fotografía 35. Punto 12



Fotografía 36. Punto 13



Fotografía 37. Punto 14



Fotografía 38. Punto 18



**Fotografía 39. Punto 21**



**Fotografía 40. Punto 23**



**Fotografía 41. Punto 24**



**Fotografía 42. Punto 25**



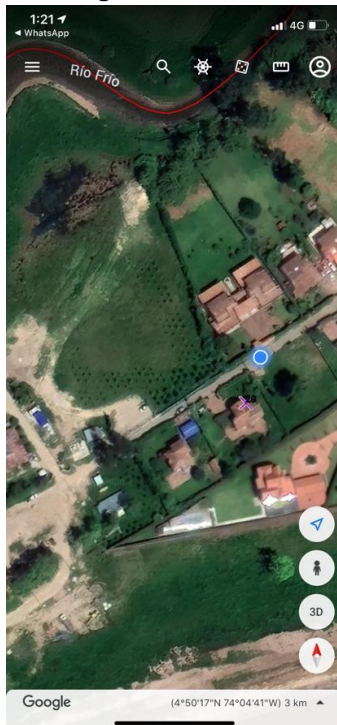
**Fotografía 43. Punto 26**



**Fotografía 44. Punto 27**



Fotografía 45. Punto 29



Fotografía 46. Punto 31



Fotografía 47. Punto 32



Fuente: Trabajo de Campo Hydraulic and Enviromental Design SAS

#### 5.1.4.3 Suelo Transportado Fluvio Lacustre Formación Sabana (Stflsa)

Presentan una morfología en general plana a ligeramente inclinada y corresponden a los materiales formados por la sedimentación de un antiguo lago que cubrió los terrenos de la parte central de la denominada Sabana de Bogotá. Están constituidos principalmente por arcillas y limos; de color gris, amarillo pálido y naranja por meteorización, de consistencia blanda. Hacia los márgenes de la cuenca se presenta un incremento de intercalaciones lenticulares de arcillas orgánicas, turba, arcillas arenosas, arenas arcillosas, y en las áreas de confluencia, de los ríos principales (Tunjuelito, Subachoque, Frío, Fucha, y San Cristóbal), se presentan materiales de granulometría fina – media, representados por gravas, gravillas y arenas, poco consolidados, densidad media a baja y localmente se presentan algunas fisuras.

**Fotografía 48. Punto 4**



**Fotografía 49. Punto 10**



**Fotografía 50. Punto 15**



**Fotografía 51. Punto 16**



**Fotografía 52. Punto 20**



**Fotografía 53. Punto 30**



**Fotografía 54. Punto 33**



**Fotografía 55. Punto 34**



**Fotografía 56. Punto 35**



Fuente: Trabajo de Campo Hydraulic and Environmental Design SAS

#### 5.1.4.4 Suelo Transportado Coluvial (Strc)

Corresponden a los materiales depositados o acumulados en sitios puntuales y aislados, principalmente en la base de las laderas montañosas, colinas, lomas y escarpes rocosos que rodean la cuenca del río Bogotá. Son el resultado principalmente de la acción de los fenómenos de movimientos en masa en los cuales ha habido translocación de detritos por acción gravitacional e hidro gravitacional, tales como: flujos terrosos, deslizamientos, derrumbes, desprendimientos, etc.

Igualmente comprende las acumulaciones de materiales de texturas finas y homogéneas, procedentes de la resultante de fenómenos de erosión fluvial y reptación de suelos. Dependiendo del mecanismo de formación. Los depósitos coluviales presentan características variadas así: los materiales coluviales procedentes de deslizamientos, derrumbes, flujos terrosos, desprendimientos, etc., presentan, una composición litológica relacionada con las rocas de las laderas superiores adyacentes, de donde proceden sus materiales, distribución irregular, en forma caótica, con material de suelo y fragmentos de roca, angulares a subangulares, cuyo tamaño varía desde gravillas hasta bloques de gran tamaño, dentro de una matriz de arena y limos.

**Fotografía 57. Punto 1**



**Fotografía 58. Punto 2**

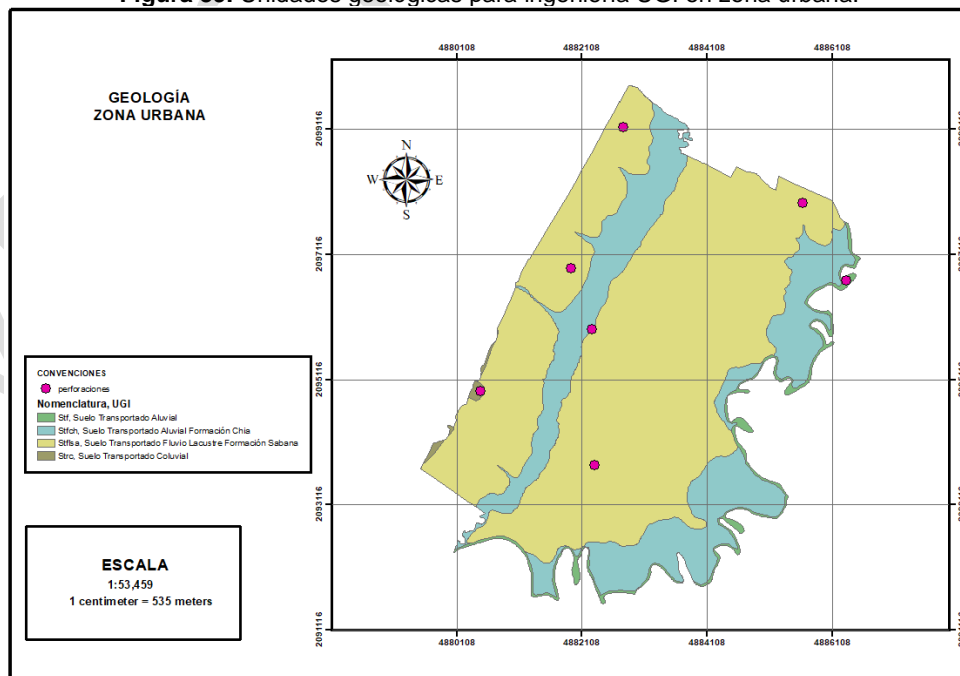


**Fotografía 59. Punto 3**



**Fuente:** Trabajo de Campo Hydraulic and Enviromental Design SAS

**Figura 39. Unidades geológicas para ingeniería UGI en zona urbana.**



**Fuente:** Hydraulic and Enviromental Design SAS

En cada unidad geológica para ingeniería se realizó la búsqueda en la Dirección de Urbanismo como mínimo de un sondeo, con base en estos se clasificaron física y mecánicamente las propiedades, en la **Tabla 31** se presentan los parámetros obtenidos. Para la determinación de los parámetros geomecánicos empleados en la modelación, se utilizaron los ensayos de laboratorio del presente estudio, para caracterizar los materiales según las unidades geológicas superficiales.

**Tabla 31** Sondeos realizados en la zona de estudio- obtención de parámetros geomecánicos.

No	Estudio	X	Y	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> ) Peso unitario	C (t/m <sup>2</sup> ) Cohesión	$\phi$ (°) Angulo de Fricción	NF (m) Nivel Freático	UGI Unidad geológica para ingeniería
1	Proyecto Santorini	4882270.674	2095914.008	1.80	5.70	0.00	N/A	Stfch
2	Portobari Condominio	4881930.838	2096891.207	1.76	4.50	0.00	2.00	Staflsa
3	Condominio Tabuco	4882308.765	2093753.670	1.34	4.25	0.00	0.80	Staflsa
4	Urbanización Lindaraja	4885640.372	2097942.584	1.60	5.20	0.00	N/A	Staflsa
5	Proyecto La Campiña	4880491.737	2094923.634	1.70	3.00	0.00	N/A	Strc
6	Villa Leonor	4882764.826	2099148.078	1.20	4.17	0.00	N/A	Staflsa
7	El Cairo	4886334.454	2096702.198	1.60	5.20	0.00	N/A	Stf

Respecto de la zona 1:2000 el municipio presenta unidades geológicas asociadas a la formación Chía, producto del paso de los ríos Frío y Bogotá y entre los dos cauces se puede evidenciar sedimentos lacustres, constituidos principalmente por arcillas, incremento en las intercalaciones de arcilla orgánica, turba, arcillas arenosas, arenas arcillosas y en sectores puntuales gravas, gravillas y arenas de la Formación Sabana.

Una vez obtenidos 35 puntos de control para encontrar unidades geológicas para ingeniería, se encontraron suelos transportado-aluviales compuestos por sedimentos fluviales de cauces actuales y llanuras de inundación de los drenajes principales que atraviesan la cuenca del río Bogotá y con una morfología plana a ligeramente inclinada, suelos transportados aluviales de la Formación Chía y suelos transportados Coluviales hacia sectores con pendientes considerables.

Dichas unidades fueron caracterizadas geotécnicamente mediante el uso de sondeos y ensayos de laboratorio obtenidos con base en información secundaria, en las cuales se obtuvieron los parámetros de resistencia físico-mecánica, encontrando ángulo de fricción nulos y cohesiones altas.

### 5.1.5 Geomorfología

A continuación, se hará una descripción de la **UNIDAD** de acuerdo con su sub ambiente y se describirá la génesis y algunos atributos relacionados con la morfometría y la dinámica teniendo en cuenta la pendiente, depósitos superficiales, litología, drenaje disección y los procesos actuales en su orden.

#### 5.1.5.1 Geformas de Origen Denudativo

Se incluyen las geformas 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 geformas morfoestructurales preexistentes y además crean nuevas geformas por acumulación de sedimentos.

Su origen obedece a los procesos de plegamiento y deformación intensa, durante la formación de las sierras homoclinales y la afectación posterior por procesos de meteorización y de denudación diferenciales intensos que generaron la formación local de suelos residuales y conos coluviales con los que generalmente se asocian.

Morfológicamente presentan las siguientes características generales:

- Glacis de acumulación (Dga)

Superficie de acumulación de longitudes moderadamente largas de formas cóncavas y suavemente inclinadas. Su génesis se asocia a la acumulación del material fino en zonas bajas por procesos de erosión laminar. Se incluyen igualmente los planos adyacentes, formados por rellenos de material coluvial fino con bloques, producto de la erosión laminar de las laderas circundantes y presentan espesores de 3 - 10 m.

Presentan su máxima expresión en la región de Chía. Se constituyen de material arenoso y arcilloso y no se descarta la interdigitación con sedimentos de origen lagunar en los bordes de la sabana.

- Planchas estructurales denudadas – Espolones estructurales (Dlpd)

Laderas y crestas simétricas de cimas agudas de morfología alomada y dispuestas transversales a las estructuras geológicas. Están constituidas por estratos delgados duros y blandos disectados profundamente en dirección perpendicular al rumbo de las capas, y que localmente definen salientes o crestas a manera de puentes entre espinazos estructurales.

Geoformas de estas características tiene una amplia distribución en la Sabana de Bogotá (cuencas media-alta) y se encuentran principalmente en los flancos de las grandes estructuras tales como sierras homoclinales y anticlinales que se disponen por lo general en dirección NNE a lo largo de la sabana. Las planchas estructurales denudadas se presentan tanto como espolones estructurales y como crestas perpendiculares entre espinazos estructurales.

Los espolones estructurales se presentan como salientes de morfología alomada, dispuestas perpendiculares a las laderas estructurales de sierra homoclinal o anticlinal.

Las crestas son irregulares de formas agudas a redondeadas, y asociadas a un drenaje subparalelo denso definido por la estratificación de capas areníticas y arcillolíticas, delgadas a gruesas principalmente de las formaciones Labor y Tierna del Grupo Guadalupe.

Su conformación está definida por la disección acentuada de los drenajes naturales y están asociados con conos de deyección, coluviones y localmente conos de deslizamiento. Las planchas estructurales cuando se encuentran confinadas entre espinazos se presentan como crestas de morfología alomada con fuerte disección y dispuestos a manera de puentes entre los espinazos estructurales.

Litológicamente están constituidas por intercalaciones de arcillolitas y areniscas de las formaciones Guaduas y Bogotá. En zonas donde las condiciones climáticas fueron diferentes a las actuales se encuentran en la sabana de Bogotá geoformas con las siguientes características:

- Conos y lóbulos coluviales y de soliflucción (Dco)

Geoforma en forma de cono o lóbulos de longitudes cortas a largas, de formas convexas e inclinaciones suaves a abruptas. Se originan respectivamente por acumulación de materiales sobre las laderas tanto por procesos de escorrentía superficial como por flujo lento y viscoso de suelo saturado y no saturado. Se constituyen de bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebidos en material arcilloso en espesores del orden de 5 – 35 m.

Este tipo de geoforma son de amplia distribución en la base de las laderas de las sierras homoclinales que atraviesan de sur a norte la sabana de Bogotá. Presentan forma de cono en general de 3 – 5 ha y 5° – 15° de inclinación, que se interdigitan conformando franjas de 100 - 500



m en la base de las laderas. Hacia las zonas más elevadas, en los bordes de la sabana donde la humedad es muy alta desarrollan tamaños kilométricos y se asocian con procesos de soliflucción de suelos. Los conos coluviales se constituyen de bloques de variado tamaño (areniscas, arcillolitas) embebidos en una matriz arcillosa o arcilloarenosa que cubre parcialmente la base de las laderas.

Es importante notar la existencia de acumulaciones de estas mismas características, localmente sobre las laderas de cerros residuales y remanentes, sin embargo, su morfología ha sido modificada por levantamientos del terreno y procesos denudativos posteriores. Este rejuvenecimiento del paisaje indica los cambios sucedidos durante el levantamiento de la cordillera oriental, lo cual se ha comprobado igualmente con la presencia de suelos rojos típicos de climas tropicales diferentes a los actuales.

#### 5.1.5.2 Geformas de Origen Antrópico

Son formas del terreno cuyo origen está ligado a las actividades humanas de explotación de recursos del subsuelo y al acondicionamiento del terreno tanto para la construcción de obras civiles como para la disposición de desechos tanto orgánicos como inorgánicos. En general se evidencian en la Sabana de Bogotá geformas como Azupi y Azupla.

- Planicie o llanuras de inundación en zonas urbanas (Azupi) Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales que se encuentran en el casco urbano.
- Azupla corresponde a Zona urbana en altiplanicie.

#### 5.1.5.3 Geformas de Origen Fluvial y Lagunar

Las geformas de origen fluvial y lagunar están originadas por el efecto erosivo y acumulativo de las corrientes de los ríos y la sedimentación de materiales en cuencas restringidas respectivamente. Estas geformas están definidas principalmente en la parte central de la sabana de Bogotá, y particularmente asociadas a la acumulación de sedimentos de los cursos de los ríos.

- Cauce Activo (Fca)

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos. Cuando las corrientes fluyen en zonas semiplanas a planas (llanura aluvial), los cauces son de tipo meándrico o divagante, como producto del cambio súbito de la dirección del flujo. Dependiendo la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras unidades asociadas.

- Planicies y Deltas Lacustrinos (Fpla)

Planicies extensas de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes de 2 – 20 m de altura.

Se constituyen de arcillas grises con locales intercalaciones de arenas finas y delgados niveles de gravas y turbas en capas paralelas producto de la acumulación de materiales transportados por

las corrientes locales hacia la cuenca ocupada por el antiguo lago de la Sabana de Bogotá. Espesores de 20 – 300 m.

Estas geoformas son las de mayor expresión en la sabana de Bogotá con una cobertura de aproximadamente 2700 km<sup>2</sup>. Son de morfología plana y de aspecto aterrazado, suavemente ondulada de 3° – 5° de inclinación y con forma lobulada o de abanico principalmente en la desembocadura de los grandes cursos de agua que entregaron sus aguas en la antigua laguna de la sabana de Bogotá.

Estas geoformas están limitadas por escarpes de 0.5 – 20 m de altura y 15° – 35° de inclinación, encontrándose las máximas alturas en los bordes de la cuenca y particularmente en la zona de la salida del río Bogotá en el sector suroeste de Soacha.

Las planicies lacustrinas de la Sabana de Bogotá localizadas en la parte central de la cuenca están constituidas predominantemente de arcillas grises con delgadas intercalaciones de arcillas turbosas. Las arcillas son de características plásticas y localmente expansivas lo cual se evidencia en la deformación de las vías particularmente en la vía que conduce hacia Tenjo.

Hacia los bordes de la cuenca como se indicó previamente la con figuración es localmente en forma de abanico, definiendo los lóbulos de deltas lacustrinos constituidos de arcillas con intercalaciones frecuentes de arenas finas, arenas arcillosas y es igualmente evidente el incremento de arcillas turbosas y ligníticas (VANDER HAMMEN Y HELMENS, 1990).

Las planicies lagunares e igualmente planicies fluviales más antiguas han sido disectadas, dejando amplias planicies de inundación y terrazas fluviales.

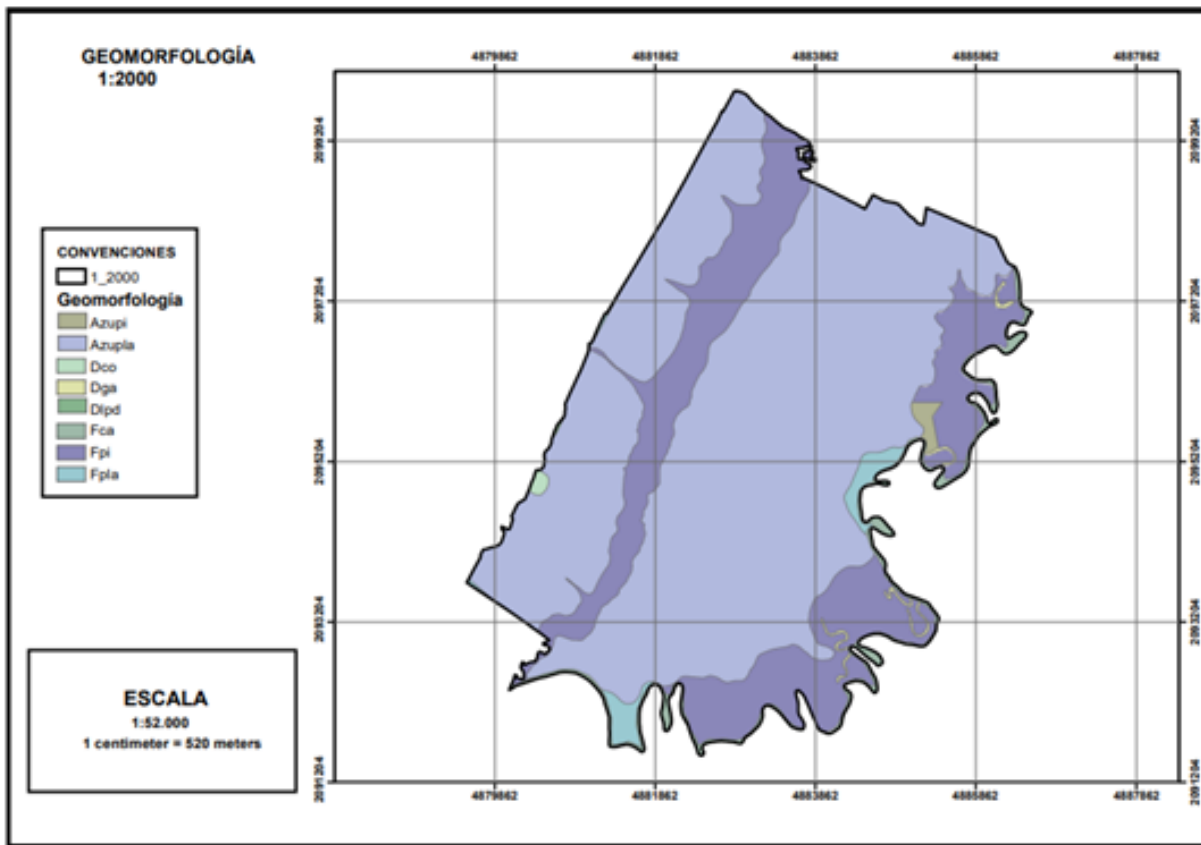
- Planicie o llanuras de inundación (Fpi)

Franja de terreno plana baja de morfología ondulada de 0.05 – 5 km de extensión, eventualmente inundable. Se presenta bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. Se constituye de 3 - 5 m de arcillas y limos producto de la sedimentación durante eventos de inundación fluvial. Se incluyen los planos fluviales menores en formas de “U” o “V” y conos coluviales menores, localizados en los flancos de los valles intramontanos.

Las planicies o llanuras de inundación presentan un amplio desarrollo en la sabana de Bogotá y están asociadas evolutivamente a los últimos eventos de secado y los procesos de disección de las planicies lagunares por los principales ríos que la drenaron. Se destacan por su amplitud las llanuras de inundación de los ríos Bogotá y Frío.

Se constituyen de arcillas grises de inundación, localmente con intercalaciones de arenas muy finas a limosas de colores claros, dispuestos en capas delgadas horizontales de la llamada formación Chía.

**Figura 40.** Geomorfología a nivel de elementos geomorfológicos zona 1:5.000

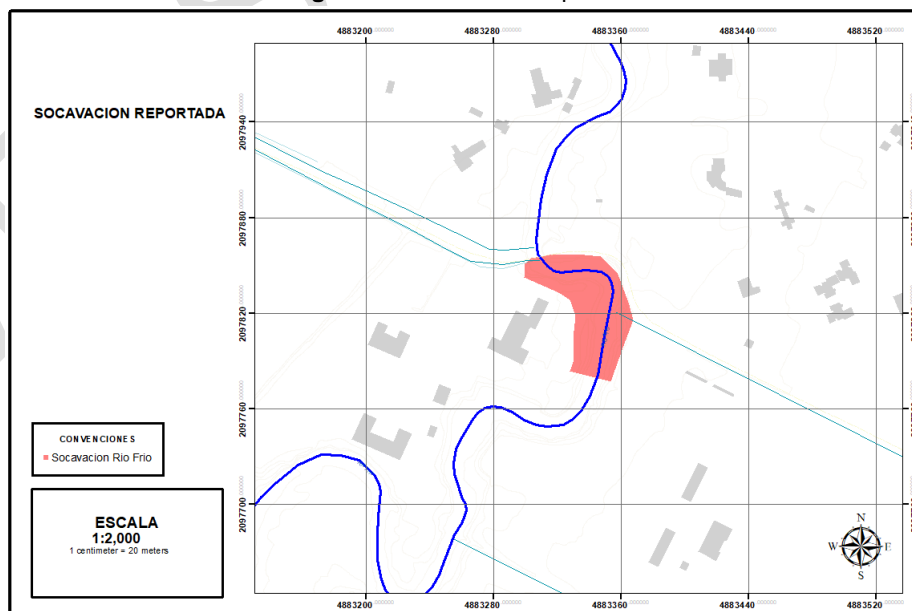


Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

### 5.1.6 Inventarios de procesos morfodinámicos

Para la escala de trabajo urbana se pudo identificar un registro de socavación producto del paso de la corriente del Río Frio a través de un meandro, este no es incidente o condicionante para el desarrollo del modelo, sin embargo, es de importancia recalcar esta situación.

**Figura 41.** Socavación reportada



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

## 5.2 Zonificación de amenaza Movimientos en Masa escala 1:2.000 Zona urbana, posibles zonas de expansión, centros poblados y resto rural

Para la generación del mapa de amenaza se analizaron los siguientes escenarios:

- Parcialmente Saturado con Sismo
- Talud Saturado con Sismo

**Escenario 1 - Talud Parcialmente Saturado con Sismo.** Este escenario se representa un periodo normal de lluvias, correspondiente a los análisis de niveles piezométricos detectados en campo, pero en el que adicionalmente se presenta un sismo.

**Escenario 2 - Talud saturado con sismo.** Este escenario corresponde a la condición más desfavorable y la probabilidad que se presente un sismo con el terreno saturado es realmente baja.

Teniendo en cuenta las condiciones de amenaza sísmica obtenida de la aplicación de la normatividad nacional vigente NSR-10 Título A, para el cual se considera para análisis de tipo pseudo-estático con un valor de Aa de 0.15g valor el cual se ilustra., en los análisis de estabilidad para la evaluación de amenaza por movimientos en masa para la condición con sismo, el coeficiente de aceleración usado fue de 0.80 Aa, siendo el coeficiente sísmico de diseño (kh) de 0.12g para la zona de estudio. De los análisis presentados de los anteriores escenarios, se tomó como el escenario más representativo y mapa de amenaza por fenómenos de movimientos en masa, la condición de talud saturado con sismo.

**Tabla 32.** Tabla para parametrizar la amenaza de un talud ante deslizamientos.

Departamento de Cundinamarca						
Municipio	Código municipio	Aa	Av	Zona de amenaza sísmica	Ae	Ad
Chaguani	25168	0,15	0,20	Intermedia	0,16	0,06
Chía	25175	0,15	0,20	Intermedia	0,09	0,05
Chipaque	25178	0,20	0,25	Alta	0,11	0,05

Fuente: NSR10

La clasificación de la amenaza a deslizamiento se define para suelos con base en el factor de seguridad y para rocas con base en el valor del SRM. A partir del factor de seguridad y el SMR obtenido se establecen tres niveles de amenaza ante deslizamiento, clasificados como alto, medio y bajo. Por último, a partir de los resultados de los factores de seguridad en formato ráster se clasifican según la **Tabla 33**, la cual fue tomada de la guía propuesta por el SGC en el año 2015, para parametrizar la amenaza de un talud ante deslizamientos.

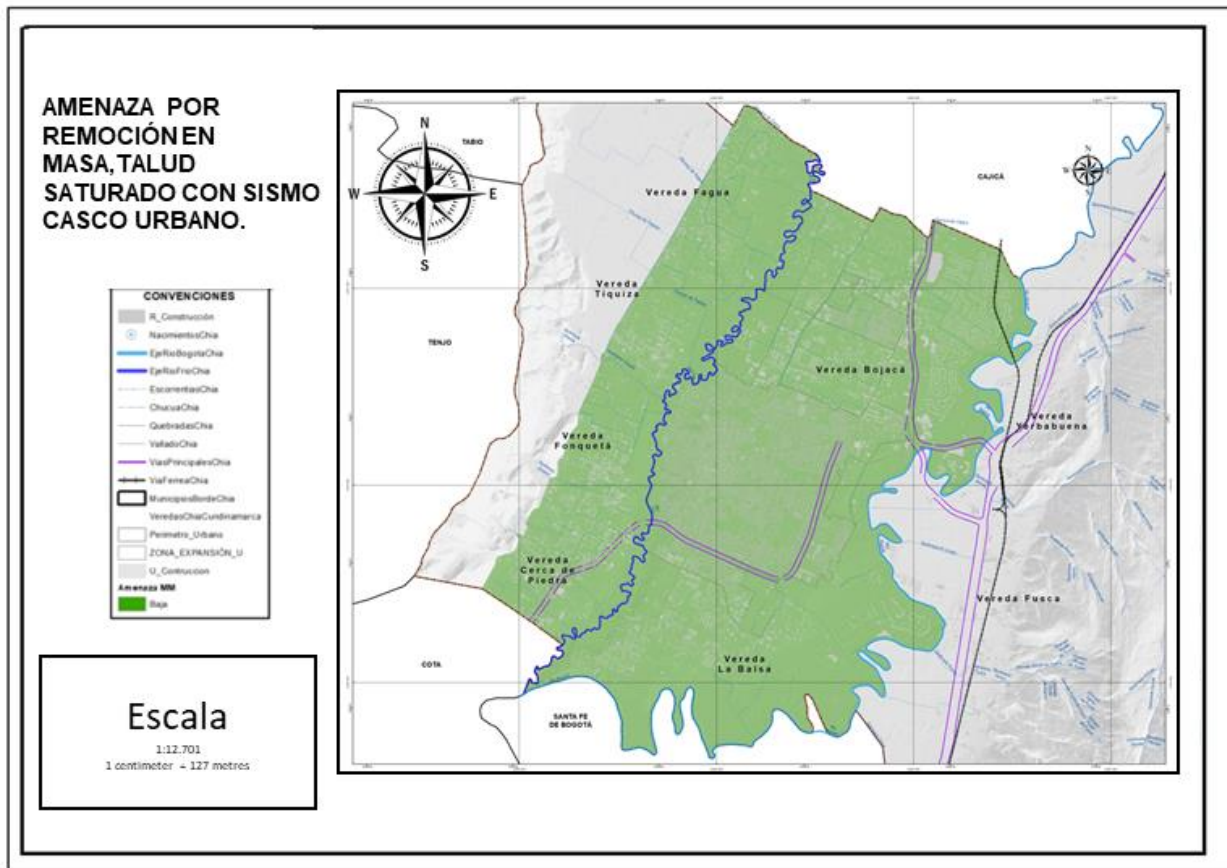
**Tabla 33.** Rangos de clasificación de amenaza de un talud ante deslizamiento. Fuente: Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Servicio Geológico Colombiano (2015)

Nivel de amenaza	Factor de seguridad	Valor de smr	Color del mapa
Alta	<1,1	<40	Rojo
Media	1,1-1,5	41-60	Amarillo
Baja	>1,5	>60	Verde

Fuente: Metodología del servicio geológico colombiano p 61

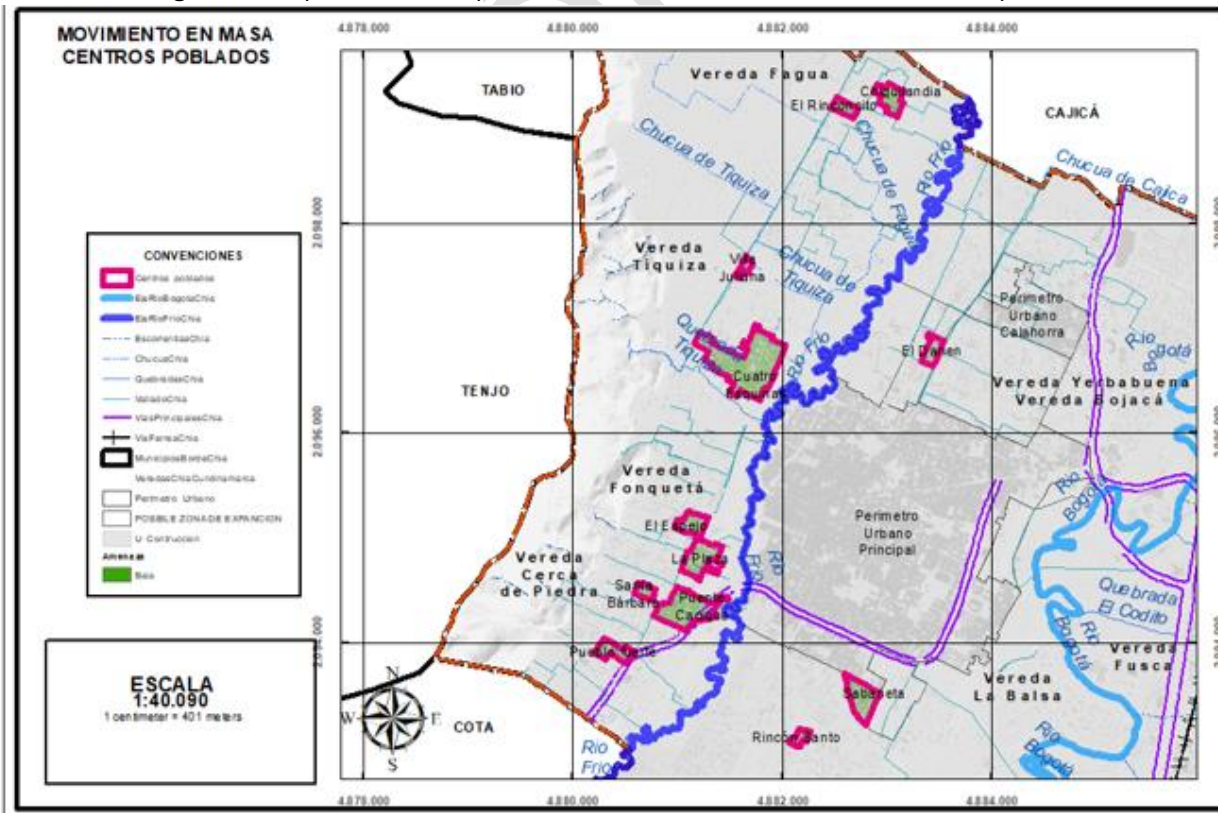
Con base en los factores de seguridad y en los valores de SMR logrados en cada celda, así como en el criterio de clasificación de la tabla anterior (tabla 3-11), se puede representar el nivel de amenaza en la zona de estudio; así se obtiene el mapa de amenaza, en cuya leyenda se deben incluir la descripción de las características físicas de las unidades según la categoría establecida, los tipos de procesos predominantes y los posibles daños que pueden ocasionar. Las zonas afectadas por procesos activos deben quedar categorizadas como de amenaza alta.

Figura 42. Mapa de amenaza por movimientos en masa escala 1:5.000 Talud saturado con sismo casco urbano.



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

Figura 43. Mapa de amenaza por movimientos en masa escala 1:2000 centros poblados.



Fuente: Hydraulic and Enviromental Design SAS

De acuerdo con los resultados obtenidos es importante mencionar que teniendo en cuenta las condiciones de pendientes tendientes a ser planas, la ecuación de talud infinito tiene un factor

denominado espesor de falla, para la cual esta condición no permite la generación de factores de seguridad menores a 1.0; es decir que el territorio urbano de Chía al ser plano no es susceptible a la generación de movimientos en masa debido a que no hay probabilidad de desplazamiento de una masa sobre las laderas o taludes.

Adicionalmente, el territorio presenta zonas con unidades geológicas asociadas a la formación Chía, producto del paso de los ríos Frío y Bogotá con sedimentos lacustres, constituidos principalmente por arcillas, suelos transportado-aluviales compuestos por sedimentos fluviales de cauces actuales y llanuras de inundación, se presenta morfología plana a ligeramente inclinada con pendientes menores a 5° o 12°, unidades geomorfológicas de origen antrópico, asociadas a zonas urbana en altiplanicie y de origen fluvial producto de los ríos Río Frío y Río Bogotá.

Los centros poblados analizados en el polígono 1:5.000 con amenaza baja brindan condiciones seguras por fenómeno de movimiento en masa y no existe condición de amenaza ni condición de riesgo.

## 6. CONCLUSIONES

Se encontraron rocas de areniscas y algunas zonas con arcillolitas y limolitas así como hacia el casco urbano sedimentos fluviales de inundación, y de los cauces actuales y sedimentos lacustres, constituidos principalmente por arcillas, incremento en las intercalaciones de arcilla orgánica, turba, arcillas arenosas, arenas arcillosas y en sectores puntuales gravas, gravillas y arenas de la Formación Sabana; unidades geomorfológicas de planicies o llanuras de inundación en el casco urbano y geformas de origen Denudacional como escarpes de falla en zonas de pendientes abruptas y escarpadas.

Las principales zonas de cambio de coberturas del suelo están en la parte sur y noroccidental y un sector suroriental el cual pasó de tener cobertura de bosques a pastos con una pérdida total en algunos sectores.

En el análisis morfodinámico es evidente que los procesos identificados se encuentran en su gran mayoría en la zona suroccidental, donde se determinaron eventos de remoción en masa tipo deslizamientos con un registro en campo de 25 puntos; estos eventos se deben a proceso antrópicos en su mayoría sobre unidades geomorfológicas de origen Denudacional.

Para la zona rural se aplicó la metodología estadístico bivariado, mediante la evaluación de patrones de asociación entre los factores condicionantes (evidencias) y las áreas inestables mediante pesos (movimientos en masa); para lo anterior, se consideraron las variables de unidades geológicas superficiales, resistencia, fábrica, densidad de fracturamiento, geomorfología, morfometría (pendiente), densidad de drenaje y coberturas, así como el inventario de procesos de remoción en masa y para factores detonantes las precipitaciones y el sismo.

En la zona rural arrojaron zonas de amenaza alta aquellas en las cuales se presentan limolitas y liditas de la formación Planeers que a nivel estructural están afectadas por el anticlinal de Bogotá con alta densidad de fracturamiento en rocas de origen clástico y procesos morfogenéticos de origen denudacional como deslizamiento traslacional o cerros residuales y estructural como Ladera estructural de sierra homoclinal denudada, con pendientes mayores a 25° escarpadas a abruptas y con presencia de cambios de cobertura de bosques por pastos, construcciones o cultivos. Se presenta alta densidad de drenaje y de procesos de movimiento en masa identificados y activos.



El casco urbano del municipio presenta una morfometría plana con pendientes menores a 5° o 12%, lo cual es un indicativo de susceptibilidad a procesos de inundación y precaria a procesos de remoción en masa. De acuerdo con los resultados obtenidos es importante mencionar que teniendo en cuenta las condiciones de pendientes tendientes a ser planas y la metodología aplicada no hay probabilidad de desplazamiento de una masa sobre las laderas o taludes.

El análisis escala 1:25.000 para la zona rural de los estudios básicos reafirma y precisa los resultados del POMCA a nivel de amenaza alta y media del POMCA del Río Bogotá, dando cuenta en particular de la necesidad de realizar análisis de mayor detalle hacia los cerros del sector occidental en particular hacia las zonas que sufren presiones por construcciones e intervenciones, generando cambios en la cobertura vegetal y modificación de las condiciones fisicoambientales que sumados a los factores detonantes pueden agravar las alertas de amenaza identificadas en la escala 1:25.000.

VERSIÓN FINAL



## 7. NOTA LEGAL – MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

La responsabilidad total de la información presentada en el documento, así como la de sus insumos, anexos y cartografía asociada corresponde a los profesionales firmantes, quienes fueron responsables de su elaboración y en grado mayor para la empresa consultora Hydraulic and Enviromental Design S.A.S., quien aprueba y refrenda con su firma la calidad y pertinencia de los análisis realizados.

Lo anterior de conformidad con lo previsto en el artículo 27 del Decreto 1807 de 2014, compilado en el artículo 2.2.2.1.3.4.1 del Decreto nacional 1077 de 2015, que señala *“Los estudios técnicos señalados en la presente sección deben ser elaborados y firmados por profesionales idóneos en las materias, quienes son responsables de los mismos sin perjuicio de la responsabilidad por la correcta ejecución de los diseños y obras de mitigación”* y con las obligaciones derivadas del contrato de consultoría No 663 de 2020 cuyo objeto es *“la prestación de servicios de consultoría para la elaboración de los estudios básicos de riesgos por fenómenos de movimientos en masa, inundación y avenida torrencial en el Municipio de Chía – Cundinamarca conforme a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015”*, específicamente lo descrito en la cláusula primera”

Se deja constancia que la revisión realizada por el municipio de Chía, mediante los supervisores del contrato corresponde a una verificación del cumplimiento de los requisitos mínimos contractuales y a los establecidos en los decretos nacionales en materia de estudios básicos de gestión del riesgo, pero en ningún caso constituye una aprobación al estudio con ocasión de la aplicación metodológica, ni al empleo de las actividades científicas y profesionales a cargo de los profesionales de la consultoría, por cuanto, el contenido de los mismos es responsabilidad exclusiva del consultor, tal como se prevé en el artículo previamente referido y las obligaciones derivadas del contrato de consultoría No 663 de 2020.

JUAN SEBASTIÁN SALINAS UYABÁN  
C.C. 1.014.271.752  
TP No 25202-408162 CND  
Formación académica: Ingeniero civil  
Representante Legal Consultoría

LIBARDO ADOLFO LÓPEZ RAMÍREZ  
C.C. 71.741.75  
TP No 15202-091715  
Formación académica: Ingeniero civil  
Cargo: Ingeniero Experto Riesgos