



DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE

“EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:5000 PARA EL SUELO RURAL DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA CHIGUAZA”

Elaborado por:

Consuelo Sánchez Vargas - csanchez@idiger.gov.co
Giovani Cuervo – rcuervo@idiger.gov.co
Geimy Urrego – gurrego@idiger.gov.co

Supervisión por:

Carolina Castañeda Jiménez - acastaneda@idiger.gov.co
Pilar del Rocío García García - pgarcia@idiger.gov.co

SUBDIRECCIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

GRUPO DE ESTUDIOS Y DISEÑOS

DICIEMBRE 2022



ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 OBJETIVO GENERAL	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. ALCANCE.....	7
4. LOCALIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO	8
5. METODOLOGÍA.....	10
6. REVISIÓN DE ANTECEDENTES	1
6.1 INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO	1
6.1.1 POT - Decreto 555 de 2021	1
6.1.2 Documentos Técnicos.....	4
6.2 INSUMOS CARTOGRÁFICOS	7
6.3 INSUMOS DEL PROYECTO “EVALUACIÓN POR AVENIDAS TORRENCIALES Y/O CRECIENTES SUBITAS PARA LA CUENCA DE LA QUEBRADA CHIGUAZA”	9
6.4 NORMATIVIDAD	10
7. INSUMOS REQUERIDOS POR EL DECRETO 1807 DE 2014.....	10
7.1 GEOLOGÍA.....	10
7.1.1 Geología regional antecedente	11
7.1.2 Geología Estructural.....	12
7.1.3 Unidades geológicas superficiales (UGS)	14
7.2 GEOMORFOLOGÍA.....	22
7.2.1 Morfometría.....	23
7.2.2 Morfogénesis.....	24
7.2.3 Morfodinámica.....	41
7.3 HIDROGEOLOGIA.....	46
7.4 EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL	47
7.5 SISMOLOGIA	48
7.6 COBERTURA VEGETAL	49
7.7 USO DEL SUELO	50
7.8 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	50
7.8.1 Parámetros Geotécnicos	52
7.9 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.....	53
8. DETONANTES DE LA AMENAZA.....	53

8.1 PRECIPITACIÓN	54
8.2 SISMO	55
9. ANÁLISIS DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	55
9.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR TALUD INFINITO.....	55
9.1.1 Escenarios de análisis.....	56
9.1.2 Criterios de Clasificación de amenaza.....	57
9.1.1 Resultados	57
10. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA	58
11. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD	59
11.1.1 Morfometría.....	59
11.2 CARACTERIZACIÓN POR VARIABLE	60
11.3 ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....	62
12. EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN SUELO RURAL	63
13. MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO.....	65
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
15. ANEXOS.....	66
16. BIBLIOGRAFÍA.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de suelos para la cuenca de la quebrada Chiguaza de acuerdo con el Decreto 555 de 2021.....	8
Figura 2. Localización general del área rural de la cuenca de la Quebrada Chiguaza.	9
Figura 3 Esquema metodológico evaluación de amenaza por movimientos en masa para el área de estudio.	1
Figura 4. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de acuerdo con el Decreto 555 de 2021.....	2
Figura 5. Antecedentes Técnicos para en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza	4
Figura 6. Ortofomosaico del área rural de la Quebrada Chiguaza.....	7
Figura 7. Modelo digital del terreno área de estudio.....	8
Figura 8. Cartografía Convencional del área de estudio	8
Figura 9. Construcciones localizadas en el área de estudio.....	9
Figura 10. Unidades geológicas presentes según (POT, 2021)	11
Figura 11. Fallas y lineamientos identificados en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza	13
Figura 12. Panorámica de afloramiento rocoso de la formación Arenisca Dura	14
Figura 13. Panorámica de afloramiento rocoso de la formación Arenisca labor y Tierna .	15
Figura 14. Morfología ondulada generada a partir de materiales arcillosos de la formación Bogotá	16

Figura 15. Perfil de meteorización según Dearman (1995)	18
Figura 16. Apariencia en campo de suelos residuales de la formación Bogotá	19
Figura 17. Suelos de origen fluvio-glaciar de la formación Río Siecha	19
Figura 18. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales para el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza.....	22
Figura 19. Modelo de pendientes para el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza	23
Figura 20. Modelo de pendientes para el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza	26
Figura 21. Vista en planta y perfiles topográficos de Escarpe de terraza de erosión (Ftee)	27
Figura 22. Vista en planta de Cono coluvial (Dco)	28
Figura 23. Vista en planta de Cono de talus (Dct).....	28
Figura 24. Vista en planta de Conos o lóbulos de deslizamiento traslacional (Ddtr) sobre modelo de pendientes y ortomosaico.....	29
Figura 25. Vista en planta de Escarpe de erosión menor (Deeme) sobre modelo de sombras y pendientes.....	29
Figura 26. Vista en planta de lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc), sobre modelo de pendientes y aspecto	30
Figura 27. Vista en planta de Ladera denudada (Dlden), sobre modelo de pendientes y ortomosaico	31
Figura 28. Vista en planta de Lomeríos disectados (Dldi) sobre modelo de pendientes y aspecto	31
Figura 29. Vista en planta de Ladera disectada (Dldis) sobre modelo de pendientes y aspecto	32
Figura 30. Vista en planta y perfil topográfico de Cono o lóbulo de flujo de detritos (Dlfd) 32	
Figura 31. Vista en planta de Ladera ondulada (Dlo) sobre modelo de pendientes y aspecto	33
Figura 32. Vista en planta de Terraza o berma de fallamiento (Sbf).....	34
Figura 33. Vista en planta de Contraescarpe (Scep) sobre modelo de pendientes y aspecto.....	34
Figura 34. Vista en planta y perfil topográfico de Escarpe de roca (Ser)	35
Figura 35. Vista en planta y perfil topográfico de Ladera de contrapendiente escarpada (Slce)	35
Figura 36. Vista en planta y perfil topográfico de Ladera estructural (Sle).....	36
Figura 37. Vista en planta de Lomo de falla (Slf).....	36
Figura 38. Vista en planta de Escarpe de línea de falla (Slfe)	37
Figura 39. Vista en planta y perfil topográfico de Lomeríos estructurales (Sloe)	37
Figura 40. Vista en planta de Canteras (Ac) sobre modelo de pendientes y ortomosaico 38	
Figura 41. Vista en planta y perfil topográfico de Superficie de explanación (Asp).....	40
Figura 42. Vista en planta de Planos y conos de sobrelavado glaciar (Gpcs) sobre modelo de pendientes y ortomosaico	41
Figura 43. Vista en planta y perfil topográfico de Valle glacial (Gvg).....	41
Figura 44. Antecedentes y tipos de movimientos en masa documentados en la zona rural de la cuenca Chiguaza	43
Figura 45. Caída de bloques de roca y detritos aledaños a la quebrada El Zuque	44
Figura 46. Movimientos en masa de tipo deslizamiento desarrollados sobre la ladera derecha de la quebrada Verejones	45

Figura 47. Movimiento en masa de tipo flujo asociado al curso de la quebrada Seca sobre ortomosaico y modelo de pendientes.....	45
Figura 48. Movimiento en masa identificados en el área de estudio	46
Figura 49. Evidencia de la inexistencia de obras hidráulicas de captación en las vías de acceso.	47
Figura 50. Respuesta Sísmica.....	48
Figura 51. Mapa de cobertura del suelo para el área de estudio.....	49
Figura 52. Ubicación de la exploración del subsuelo ejecutada en la cuenca de la quebrada Chiguaza.	51
Figura 53. Ubicación de la exploración del subsuelo en el área de estudio.....	52
Figura 54. Curva IDF Estación Moralba.	54
Figura 55. Parámetros para análisis de amenaza básica en unidades tipo suelo.....	56
Figura 56 Zonificación de amenaza – modelo determinístico.....	58
Figura 57 Mapa de direcciones de ladera para la zona rural de la Cuenca Chiguaza	60
Figura 58. Zonificación de Susceptibilidad a Movimientos en la zona de estudio.....	63
Figura 59. Categoría de amenaza por movimiento en masa.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas delimitación del área de estudio.....	9
Tabla 2. Extensión de la Amenaza por Movimientos en Masa para el área de estudio – Decreto 555 de 2021	1
Tabla 3. Descripción categorías de amenaza	2
Tabla 4. Documentos Técnicos emitidos por el IDIGER para el área de estudio.....	5
Tabla 5. Descripción de rocas y depósitos en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza (POT, 2017).	12
Tabla 6. Estructuras con incidencia en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza	13
Tabla 7. Clasificación de los macizos rocosos según su estructura y composición. Tomado y modificado de (SGC, 2017).....	16
Tabla 8. Unidades geológicas superficiales de roca en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza	17
Tabla 9. Unidades geológicas superficiales (UGS) para el área rural de la quebrada Chiguaza	21
Tabla 10. Ambientes geomorfológicos y porcentaje de incidencia sobre el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza.....	25
Tabla 11. Diagnósticos Técnicos emitidos por el IDIGER para el área rural de la cuenca Chiguaza	42
Tabla 12. Área afectada y cantidad de movimientos en masa según el tipo y subtipo	44
Tabla 13. Áreas y porcentajes de las coberturas de la zona rural Cuenca Chiguaza	50
Tabla 14. Áreas y porcentajes de uso del suelo en la zona rural Cuenca Chiguaza	50
Tabla 15. Exploración del subsuelo realizada para la cuenca de la quebrada Chiguaza..	51
Tabla 16 Parámetros de resistencia suelos para análisis de estabilidad	53
Tabla 17. Categorización de la Amenaza por Rangos de Factor de Seguridad (FS) – Condición Normal.	57
Tabla 18. Categorización de la Amenaza por Rangos de Factor de Seguridad (FS) – Condición Extrema.	57



Tabla 19 Resultados de Amenaza con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Critico (Sismo y Agua)	57
Tabla 20 Resultados de Amenaza con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Con Sismo y Sin Agua	57
Tabla 21 Resultados de Amenaza con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Sin Sismo y Con Agua	58
Tabla 22 Resultados de Amenaza con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Sin Sismo y Con Agua	58
Tabla 23 Rangos de clasificación pendiente área de estudio.....	59
Tabla 24. Peso para cada factor	61
Tabla 25. Incidencia de Factores	62
Tabla 26. Leyenda de la categorización de la Amenaza	65

Versión Inicial



1. INTRODUCCIÓN

Teniendo como base el principio de gradualidad, fundamental para la orientación de la gestión del riesgo establecido en la Ley 1523 de 2012, el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático – IDIGER, ha elaborado la **“EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:5000 PARA EL SUELO RURAL DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA CHIGUAZA”**, teniendo en cuenta los insumos técnicos disponibles en la entidad y con el fin de mejorar la resolución de la zonificación de amenaza por movimientos en masa en el sector rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza e incrementar el conocimiento del comportamiento de los movimientos en masa presentes en el territorio.

El presente corresponde al Documento Técnico de Soporte de la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:5000, descrita como la escala de detalle para la zona rural de acuerdo con el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015. Se aclara que este documento no incluye análisis de vulnerabilidad ni riesgo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la amenaza por movimientos en masa para la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza a escala 1:5000.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar la metodología para la evaluación detallada para la zona rural de la amenaza por movimientos en masa de acuerdo con el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015 desarrollada por el IDIGER.
- Mejorar el detalle de las zonificaciones de amenaza existentes en la zona rural, utilizando los insumos técnicos desarrollados en el marco del proyecto **“EVALUACIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES Y/O CRECIENTES SÚBITAS PARA LA CUENCA DE LA QUEBRADA CHIGUAZA”** que se encuentra en elaboración por el IDIGER, con el propósito de ampliar el conocimiento del riesgo en la temática de movimientos en masa.
- Definir las medidas de reducción de la amenaza por movimientos en masa para la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza.

3. ALCANCE

Este estudio será desarrollado para el área rural de la quebrada Chiguaza de acuerdo con los requerimientos establecidos en el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015 referidos para estudios de detalle por movimientos en masa. La escala en la cual se realizará la evaluación será 1:5000 y se ejecutará un estudio detallado del área de estudio para el componente de amenaza por movimientos en masa. Se aclara que la evaluación realizada no está exigida estrictamente en el Decreto 1807 de 2014; sin

embargo, orientado por el principio de gradualidad el IDIGER considera de gran importancia mejorar el conocimiento del territorio.

4. LOCALIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca de la quebrada Chiguaza tiene un área total de 1825.34 Ha, está compuesta por dos tipos de suelo, urbano y rural, en la Figura 1 se presenta la clasificación del suelo. El área rural corresponde con 418.57 Ha y está ubicada en la localidad de San Cristóbal al Suroriente de la ciudad de Bogotá D.C.

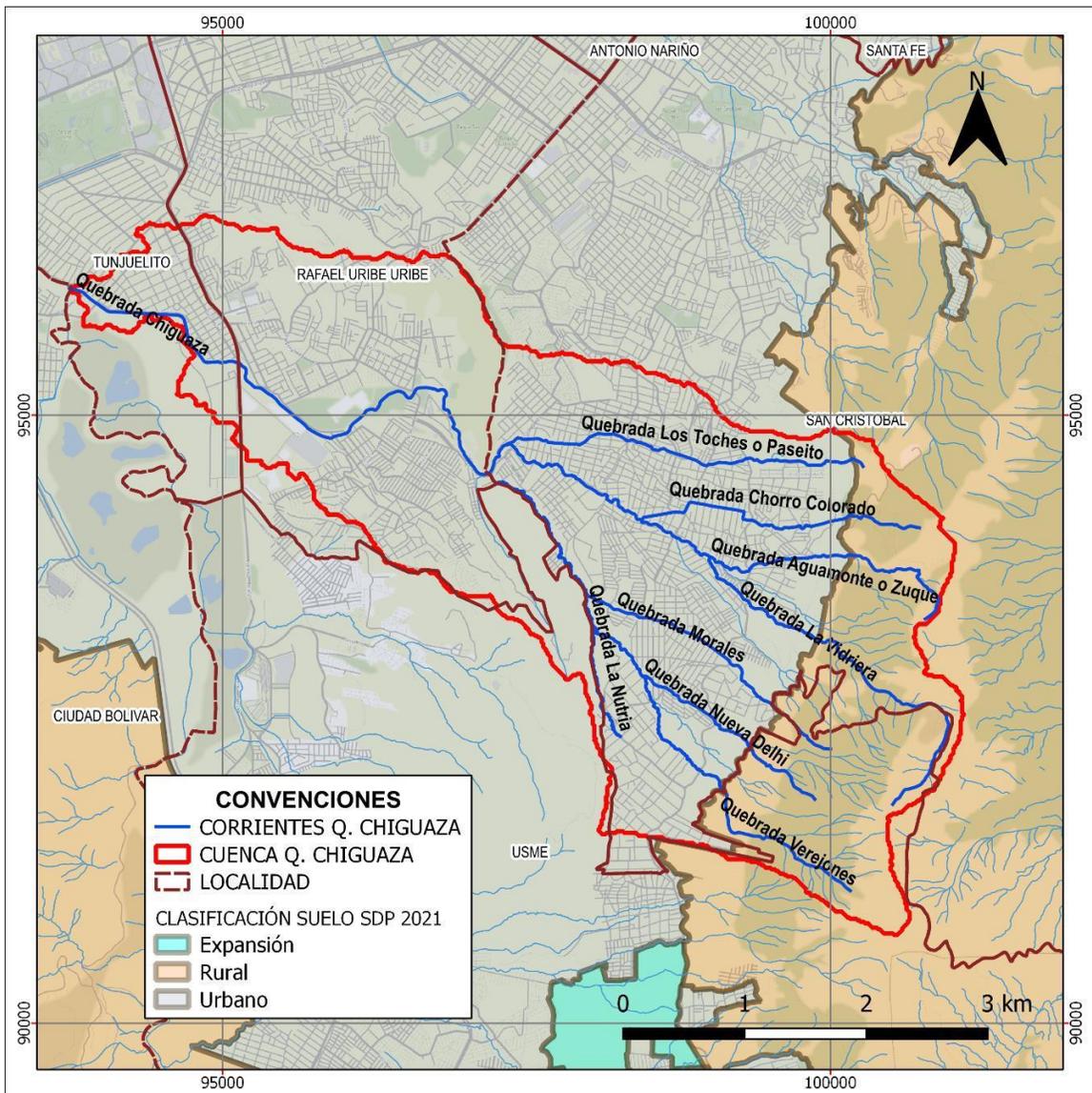


Figura 1. Clasificación de suelos para la cuenca de la quebrada Chiguaza de acuerdo con el Decreto 555 de 2021.

En la Tabla 1 se presentan las coordenadas de sus límites del área de estudio.

Tabla 1. Coordenadas delimitación del área de estudio

ID	Norte	Este	ID	Norte	Este
1	94399,843	100602,208	12	92034,614	99220,546
2	94063,737	100902,361	13	92134,532	99228,070
3	93331,438	100842,407	14	92194,355	99290,370
4	92803,238	100962,505	15	92300,710	99347,650
5	92034,926	100914,559	16	92474,172	99517,024
6	91650,731	100482,422	17	92715,905	99636,861
7	90762,385	100590,550	18	93037,859	99771,697
8	91002,421	99954,272	19	93749,553	100128,522
9	91338,497	99341,995	20	94252,0683	100144,1677
10	91527,570	99118,760	21	94855,9843	100169,9917
11	91928,353	99119,792			

En la Figura 2 se presenta la localización del área de estudio que corresponde con el polígono del área rural de la Quebrada Chiguaza.

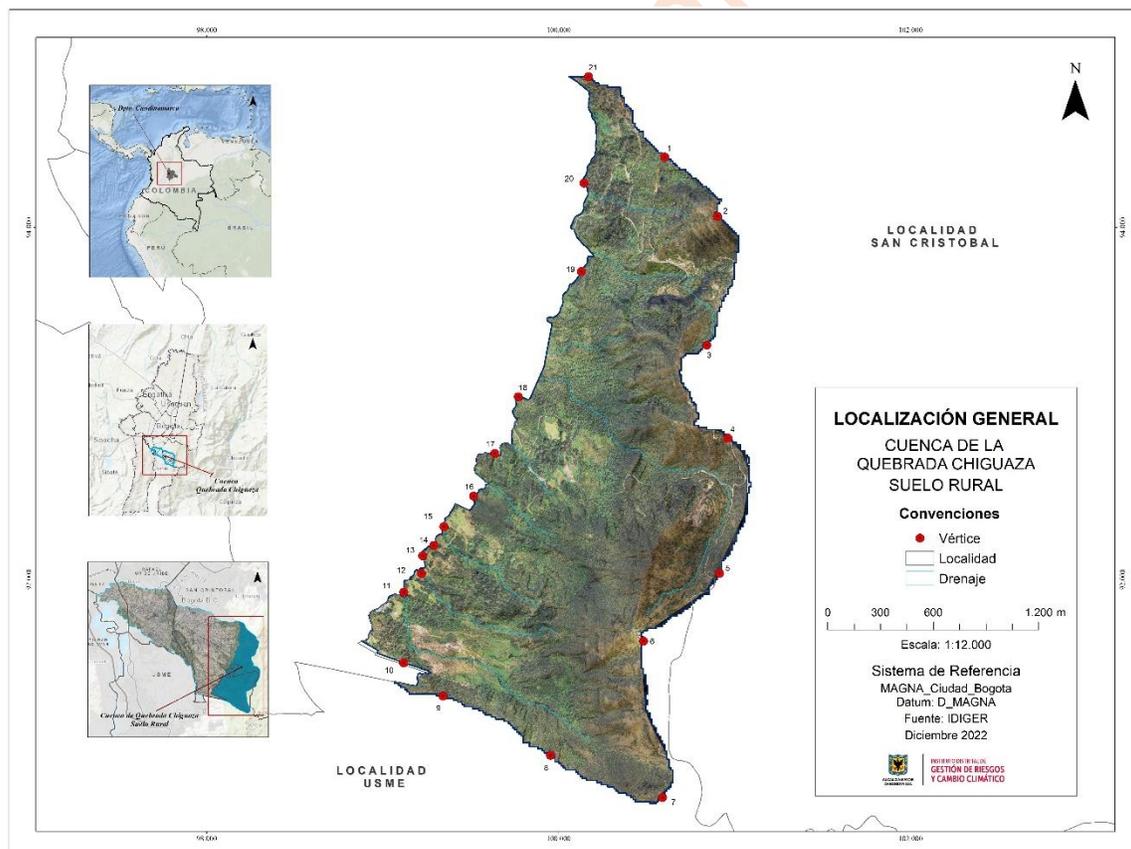


Figura 2. Localización general del área rural de la cuenca de la Quebrada Chiguaza.

5. METODOLOGÍA

En la Figura 3, se presenta un diagrama de flujo con la metodología utilizada para la evaluación de amenaza para la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza. La metodología en general presenta los siguientes pasos:

- Se realiza revisión de antecedentes, en los cuales se incluyen los instrumentos de gestión de riesgo establecidos en el Decreto 555 de 2021, la verificación de documentos técnicos emitidos por el IDIGER para el área de estudio y sus alrededores, entre los que se incluyen diagnósticos, conceptos y estudios técnicos.
- De acuerdo con el artículo 15 del Decreto 1807 de 2014, se elaboran y evalúan los insumos requeridos para estudios detallados que incluyen geología para ingeniería, geomorfología a nivel de elementos, hidrogeología, evaluación del drenaje superficial, sismología, usos del suelo, exploración del subsuelo y levantamiento topográfico.
- Se realizan visitas de reconocimiento de campo que permitan verificar y calibrar las diferentes temáticas desarrolladas.
- Teniendo en cuenta los insumos con los que se cuenta se realiza la zonificación por susceptibilidad por movimientos en masa, la que posteriormente servirá para calibrar la categorización de amenaza realizada por métodos determinísticos.
- Con base en la exploración geotécnica realizada en el área de estudio y complementada con la información de investigación geotécnica realizada en los alrededores, se establece la caracterización de los parámetros de resistencia de los materiales presentes en área de estudio.
- Se realiza el análisis de las características de los factores detonantes identificados, la precipitación, el sismo y los factores antrópicos, los cuales se incluyen en la evaluación realizada a través de los escenarios de análisis desarrollados.
- Se realiza el análisis de estabilidad por talud infinito mediante el uso de herramientas SIGs y se realiza la categorización de amenaza correspondiente.
- Se realiza el análisis de susceptibilidad por método heurístico, que permita identificar cuáles son las variables con mayor peso y así tener una línea de comparación.
- Se compara visualmente el mapa de Amenaza y el mapa de susceptibilidad, que permita establecer sectores en los cuales se considere necesario complementar el análisis con estabilidad por equilibrio límite.
- Se realiza comparación final con el mapa de proceso morfodinámico con el fin de calibrar los modelos utilizados y realizar retroalimentación al análisis realizado.
- Se realiza la categorización de amenaza por movimientos en masa para el área de estudio.

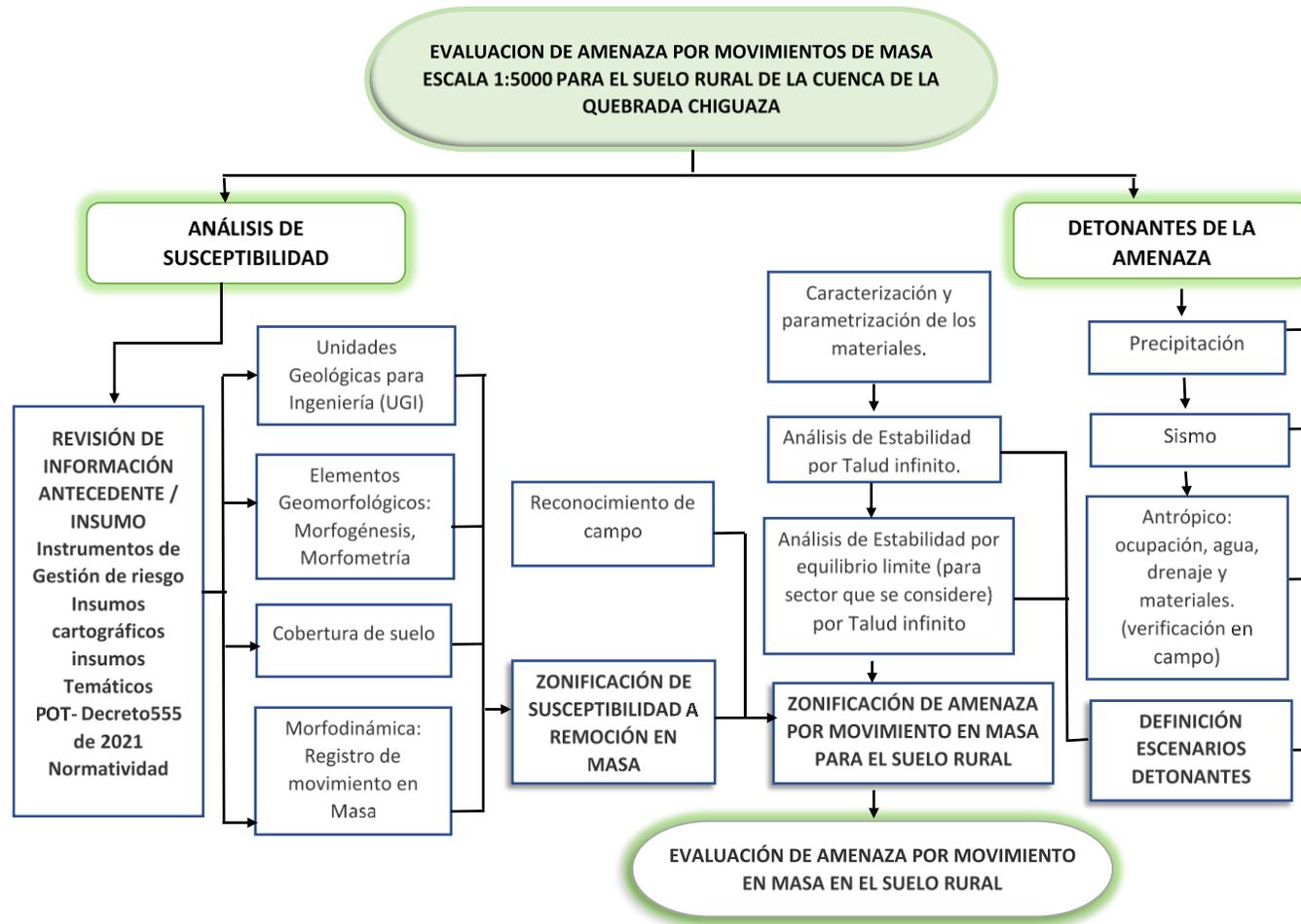


Figura 3 Esquema metodológico evaluación de amenaza por movimientos en masa para el área de estudio.

6. REVISIÓN DE ANTECEDENTES

La información con la que se cuenta corresponde principalmente a los insumos y resultados intermedios para el componente de geotecnia y movimientos en masa desarrollados en el proyecto “EVALUACIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES Y/O CRECIENTES SÚBITAS PARA LA CUENCA DE LA QUEBRADA CHIGUAZA”, que se encuentra actualmente en elaboración por el IDIGER y de la cual se cuenta con información a la escala necesaria para la elaboración del presente estudio, buscando la optimización de los recursos y aplicando el principio de gradualidad en el conocimiento del riesgo.

Es importante resaltar que dicha información es aplicable en la medida que fue desarrollada con una línea de gestión de riesgo de multiamenaza, es decir que no sólo incluyó aspectos locales sino también generales e integrados, de tal forma que ha sido usada para los escenarios de avenidas torrenciales y ahora para movimientos en masa, con la debida revisión y complementación que aplique.

6.1 INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO

A continuación, se presenta la información relevante que corresponde con los instrumentos de gestión del riesgo que el IDIGER ha desarrollado para el área de estudio.

6.1.1 POT - Decreto 555 de 2021

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial vigente sobre la amenaza por movimientos en masa para el área de estudio se cuenta con el siguiente mapa normativo:

- CR-2.2.1 Amenaza por movimientos en para el Suelo Rural a escala **1:25.000**.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la categorización de amenaza de acuerdo con el mapa normativo mencionado para el área de estudio y en la Tabla 2 se muestran las áreas correspondientes a cada nivel de amenaza por movimientos en masa para el suelo rural de la quebrada Chiguaza.

Tabla 2. Extensión de la Amenaza por Movimientos en Masa para el área de estudio – Decreto 555 de 2021

Amenaza MM	Rural
	Área (Ha)
Alta	68.30
Media	311.15
Baja	39.12
Total	418.57

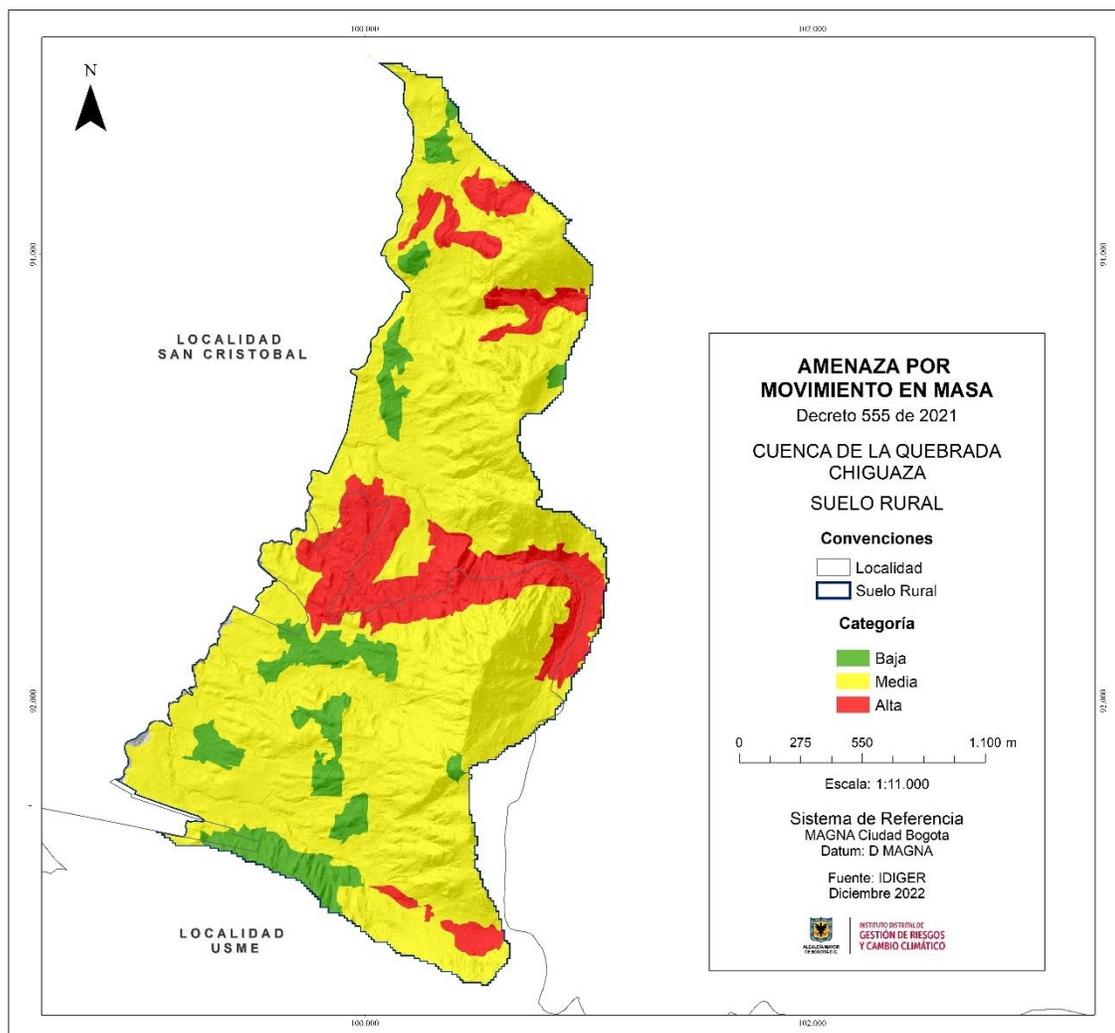


Figura 4. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de acuerdo con el Decreto 555 de 2021.

Las categorías de amenaza son descritas de acuerdo a lo presentado en la Tabla 3, descripciones desarrolladas a una escala 1:25.000, de acuerdo a la metodología e insumos presentados en el anexo técnico No. 1A de Estudios Básicos “Amenaza por movimientos en Masa para la zona Rural” (IDIGER, 2021).

Tabla 3. Descripción categorías de amenaza

CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;">Baja</p>	<p>Zonas de muy baja susceptibilidad a movimientos en masa por su baja a media pendiente, poca curvatura, baja rugosidad, media a muy alta densidad de drenaje, así como rocas de mayor dureza y menor fracturamiento, que, combinadas con una baja influencia antrópica, menor lluvia y aceleración sísmica generar un escenario de buena estabilidad. Se recomienda mantener las condiciones actuales del terreno para evitar aumento de la susceptibilidad y amenaza.</p>

CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN
	<p>Zonas que actualmente no evidencian movimientos en masa activos o latentes, presentan una susceptibilidad baja de inestabilidad de las laderas. En general las pendientes van de bajas a medias. Presentan una incidencia baja a moderada de los factores detonantes lluvia, sismo y antrópico. La probabilidad espacial de ocurrencia de movimientos en masa es baja, con Índices de Amenaza Relativa menores a 0,43.</p>
Media	<p>Zonas de susceptibilidad media a alta por su media a alta pendiente del terreno, concavidad de la ladera, media a alta rugosidad y baja a media densidad de drenaje, así como depósitos fluvio-glaciares, rocas blandas o intermedias y fracturamiento medio a alto, que combinadas con una incidencia media de la lluvia y sismo y alta intervención antrópica generar un escenario de estabilidad intermedio.</p> <p>Ya que la susceptibilidad de las laderas y los materiales es media a alta, se reconoce la importancia de controlar la intervención antrópica como variable detonante que sensibiliza el cambio de amenaza de media a alta, así como la necesidad de controlar los efectos del agua en el terreno, lo cual permitiría mantener las laderas en la misma categoría o incluso reclasificarlas a Amenaza Baja.</p> <p>En particular, la categoría de amenaza media está marcada por las áreas de pendientes medias a altas con uso del suelo agrícola o con presencia de pastos (vegetación no protectora), para lo cual se recomienda compatibilizar los usos del suelo con la aptitud de uso del suelo y verificar con ello si las condiciones de amenaza se mantienen o se revalúan.</p> <p>Zonas que actualmente no evidencian movimientos en masa activos pero que presentan una susceptibilidad media de inestabilidad de las laderas, en algunos casos con presencia de procesos erosivos desde moderados hasta intensos. En general las pendientes van de medias a muy altas. Presentan una incidencia moderada de los factores detonantes lluvia, sismo y antrópico. La probabilidad espacial de ocurrencia de movimientos en masa es media, con Índices de Amenaza Relativa entre 0,43 y 0,54.</p>
Alta	<p>Zonas de susceptibilidad alta por su pendiente del terreno, mayor concavidad, alta rugosidad y baja densidad de drenaje que dificulta la escorrentía y favorece la infiltración e inexistencia de coberturas vegetales protectoras, así como depósitos cuaternarios de baja resistencia y rocas blandas o intermedias altamente fracturadas, que combinadas con intervención antrópica y alta presencia de eventos lluviosos generan zonas inestables o metaestables.</p> <p>Se destacan en alta amenaza las zonas con intervención antrópica por efectos viales y que en alrededores se presentan actividades económicas que han generado cambios en el uso del suelo, retirando las coberturas vegetales protectoras y facilitando la actuación de la lluvia; además, las áreas con la mayor pluviosidad de la zona como el oriente y extremo sur de la localidad de Sumapaz tienen una mayor probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa por la mayor intensidad y recurrencia del evento detonante.</p> <p>Para las zonas incluidas en esta categoría se recomienda detallar los efectos de la intervención antrópica (conflicto o no de uso del suelo) a fin de revisar su recategorización o el planteamiento de los condicionamientos del suelo a que haya lugar, especialmente porque la zonificación plantea un escenario de continuación de la intervención antrópica.</p> <p>Zonas que actualmente presentan movimientos en masa activos y zonas con alta susceptibilidad de inestabilidad de las laderas. Presentan una incidencia alta a moderada de los factores detonantes lluvia, sismo y antrópico. La probabilidad espacial de ocurrencia de movimientos en masa es alta, con Índices de Amenaza Relativa mayores a 0,54.</p>

Fuente: Tomado y adaptado de (IDIGER, 2021)

Es importante mencionar que en el área de estudio no se encuentran localizados centros poblados ni nodos de equipamientos y servicios, razón por la cual no se presentan Áreas con Condición de Amenaza (ACA) por movimientos en masa y por lo tanto tampoco se presentan Áreas con Condición de Riesgo (ACR) por movimientos en masa de acuerdo con el plano normativo del Decreto 555 de 2021. Lo anterior, debido a que las ACA y ACR para

la zona rural fueron establecidas asociadas a los centros poblados y los nodos de equipamientos y servicios en mencionado decreto. Adicionalmente, en el área de estudio no se identifican suelos de protección por riesgo (SPPR).

6.1.2 Documentos Técnicos

En la Tabla 4 se muestran los documentos técnicos emitidos por el IDIGER para el área de estudio, la información se encuentra registrada en el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y Cambio Climático de Bogotá D.C. – SIRE y esta información se georreferencian en la Figura 5.

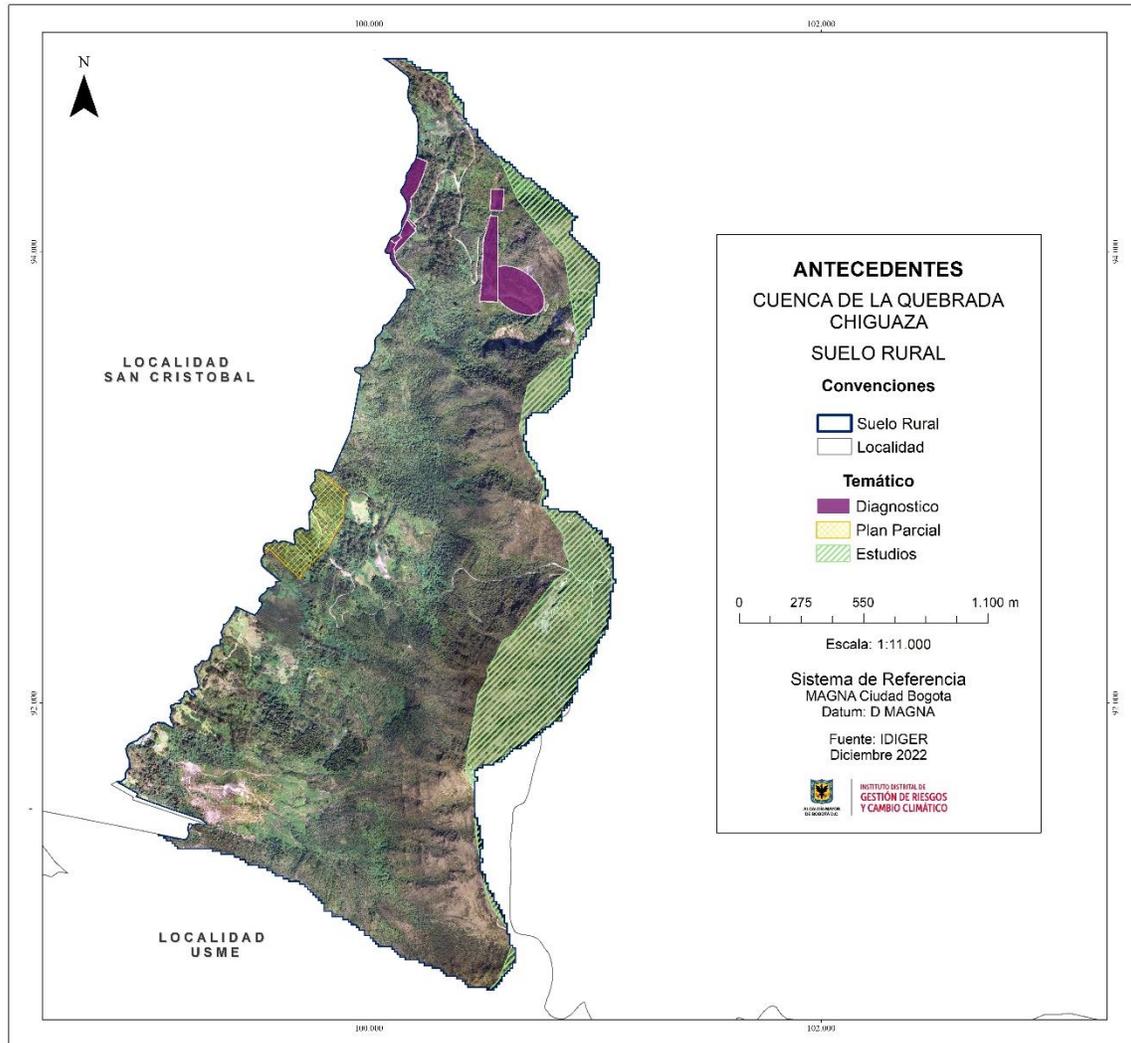


Figura 5. Antecedentes Técnicos para en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza

Tabla 4. Documentos Técnicos emitidos por el IDIGER para el área de estudio

Documento	Descripción
<p>Diagnóstico Técnico DI - 4079 Abril de 2009</p>	<p>Se realizó visita técnica a la cantera El Zuque, la cual se encontraba inactiva y está ubicada en la Zona de Reserva forestal protectora – Bosque Oriental de Bogotá, sobre el costado occidental de la serranía El Zuque, 2. La antigua zona de explotación está comprendida en la cabecera de la Quebrada El Zuque. La Cantera El Zuque, se encuentra localizada estructuralmente en el flanco occidental (invertido) del anticlinal de Bogotá, dentro de la Formación Arenisca Labor. Está conformada por areniscas y arcillolitas grises, cuarzosas, grano medio a fino subangular a subredondeado, bien sorteada, dura a ligeramente friable, de fracturados a muy fracturados con estratos de 0.1 a 3.0 metros de espesor; Los niveles de la formación Arenisca, definen la expresión topográfica abrupta de la zona y específicamente de la cantera, en donde estos materiales fueron la fuente de la explotación minera en el sector.</p> <p>De acuerdo con la inspección visual se estableció que los taludes se encontraban estables debido a que el buzamiento de los estratos es en sentido contrario a la pendiente y a que el patio de la antigua explotación y/o terraza era bastante amplia para amortiguar la caída de bloques que se pudieran desprender.</p>
<p>Diagnóstico Técnico DI-7720 Diciembre de 2014</p>	<p>Se realizó visita al sector donde se localiza el tanque de abastecimiento de agua del barrio Londres, se observó erosión y desprendimiento de material en los taludes de corte realizados para el emplazamiento del tanque y algunos puntos de la ladera localizados aguas abajo del mismo, estos taludes no contaban con medidas de estabilización ni manejo de aguas de escorrentía superficial y subsuperficial.</p> <p>Se recomendó realizar seguimiento periódico a la estabilidad del tanque y al terreno aledaño al mismo.</p>
<p>Diagnóstico Técnico DI -10769 Julio de 2017</p>	<p>Se realizó visita técnica al sector denominado Parque Natural El Zuque, ubicado en una zona de ladera con pendiente menor a 40°, se evidencia un movimiento en masa de carácter rotacional, localizado sobre la vía de acceso a la cantera El Zuque, la cual se encuentra inactiva. La vía de acceso a la Cantera El Zuque, presenta un alineamiento curvilíneo con algunos tramos rectos y con un ancho promedio de banca de 6m, sin medidas de drenaje superficial y subsuperficial, su rasante presenta tramos con una capa de fresado asfáltico deteriorado y en algunos sectores en afirmado. El movimiento en masa generó afectaciones en el terreno, generando depresiones y hundimientos y caída y/o pérdida de verticalidad de árboles.</p> <p>Se consideró como detonante la carencia de sistemas para el manejo de aguas de escorrentía superficial y subsuperficial sumado a la interacción entre las variables asociadas a las características geomorfológicas, geotécnicas y geológicas del terreno (pendientes fuertes, tipo de material, etc.) y las lluvias que se presentaron en el sector.</p> <p>Se recomendó mantener la condición de restricción parcial de uso para la totalidad de la vía de acceso a la Cantera El Zuque, hasta</p>

Documento	Descripción
	tanto se garanticen las condiciones seguras de transitabilidad y se recomendó a la Secretaría Distrital de Ambiente como administradora del sector, adelantar las intervenciones y análisis necesarias para mitigar el riesgo de la caída de material.
<p>Diagnóstico Técnico DI - 10769 Julio de 2017</p>	<p>Se realizó visita técnica de inspección al sector denominado Parque Natural El Zuque, encontrando un movimiento en masa de tipo rotacional localizada en la vía de acceso a la cantera El Zuque</p>
<p>Diagnóstico Técnico DI - 15124 Noviembre de 2020</p>	<p>Se realizó visita de inspección a la vía principal de acceso a la Serranía El Zuque, que corresponde con una vía en afirmado, a lo largo de la vía se evidencian movimientos en masa. Se recomendó restringir el uso de 300 m de un tramo de la vía evaluada hasta que se implementen las acciones que garanticen la estabilidad, de estabilidad, protección y manejo de aguas del macizo rocoso que presenta desprendimiento de material</p>
<p>Diagnóstico Técnico DI - 16484 Julio de 2021</p>	<p>Sobre la vía vehicular de acceso, conocida como camino ancestral puente piedra, que conduce a la parte alta en la cual se localizan unas antenas de telecomunicaciones, la vía no cuenta con obras hidráulicas ni sistemas de escorrentía superficial, se describe un movimiento en masa localizado en un tramo de la vía en sentido norte-sur, de aproximadamente 30m de longitud y 5m de ancho, se identificó una corona de aproximadamente 20m de longitud, que abarcaba al menos 1m de ancho del costado occidental de la vía. Adicionalmente, se menciona que el movimiento en masa involucraba aproximadamente 200 m³ de suelo y cobertura vegetal. Adicionalmente, se menciona la presencia de un patrón de grietas de tracción en continuidad con la corona del movimiento y al costado sur de la misma, estas grietas identificadas presentaban una longitud aproximada de 12m con abertura de 20cm.</p> <p>Se identificaron como riesgos asociados, nuevos desprendimientos del material de la ladera, desde el tramo evaluado y en las zonas con presencia de grietas de tracción y se concluyó que la funcionalidad y estabilidad del tramo de vía evaluado se encontraba comprometido ante el riesgo de aumento o aparición de nuevos desprendimientos de material de ladera. Se recomendó a la Alcaldía Local de San Cristóbal y a los responsables del predio privado adelantar las acciones necesarias para implementar las medidas de estabilización y manejo de aguas en el tramo vial evaluado para garantizar la estabilidad y funcionalidad.</p>
<p>Concepto Técnico CT-4153 Plan Parcial Bosques de San José y Serranías del Diamante Junio de 2005</p>	<p>En este documento técnico se categoriza la zona en amenaza alta y media por movimientos en masa, por lo cual se recomienda realizar estudios detallados de amenaza y riesgo para solicitar Licencia de Urbanismo, no se evidenciaron unidades habitacionales localizadas en el área de influencia del proceso. Se recomendó mantener la restricción total de uso de la vía de acceso a la cantera El Zuque hasta tanto se garanticen las condiciones de transitabilidad.</p>

Adicionalmente, se identifica que en el sector occidental del área de estudio se encuentra una pequeña área cubierta por el Estudio desarrollado para la Cuenca Alta del Río San Cristóbal desarrollado por la Universidad Nacional en el año 2007.

6.2 INSUMOS CARTOGRÁFICOS

Los insumos cartográficos y topográficos se toman de la información de referencia recopilada de la “EVALUACIÓN DE RIESGO DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA CHIGUAZA” (IDIGER, 2022) son los desarrollados mediante el Contrato 225 de 2021:

1. Ortofotografía con 4 bandas RGB (3 bandas) y NIR (1) con resolución espacial o GSD de 8 cm. Formato ECW.
2. Modelos Digital de Terreno (DTM) y de Superficie (DTS), generados a partir de la captura y procesamiento de datos LIDAR con malla regular de 50 cm. Formato .TIFF.
3. Cartografía Convencional, con escala de captura espacial detallada y generada a partir de procesos de restitución fotogramétrica. Información dispuesta en GDB (Estructura de datos IGAC) con Sistema de Referencia UTM.

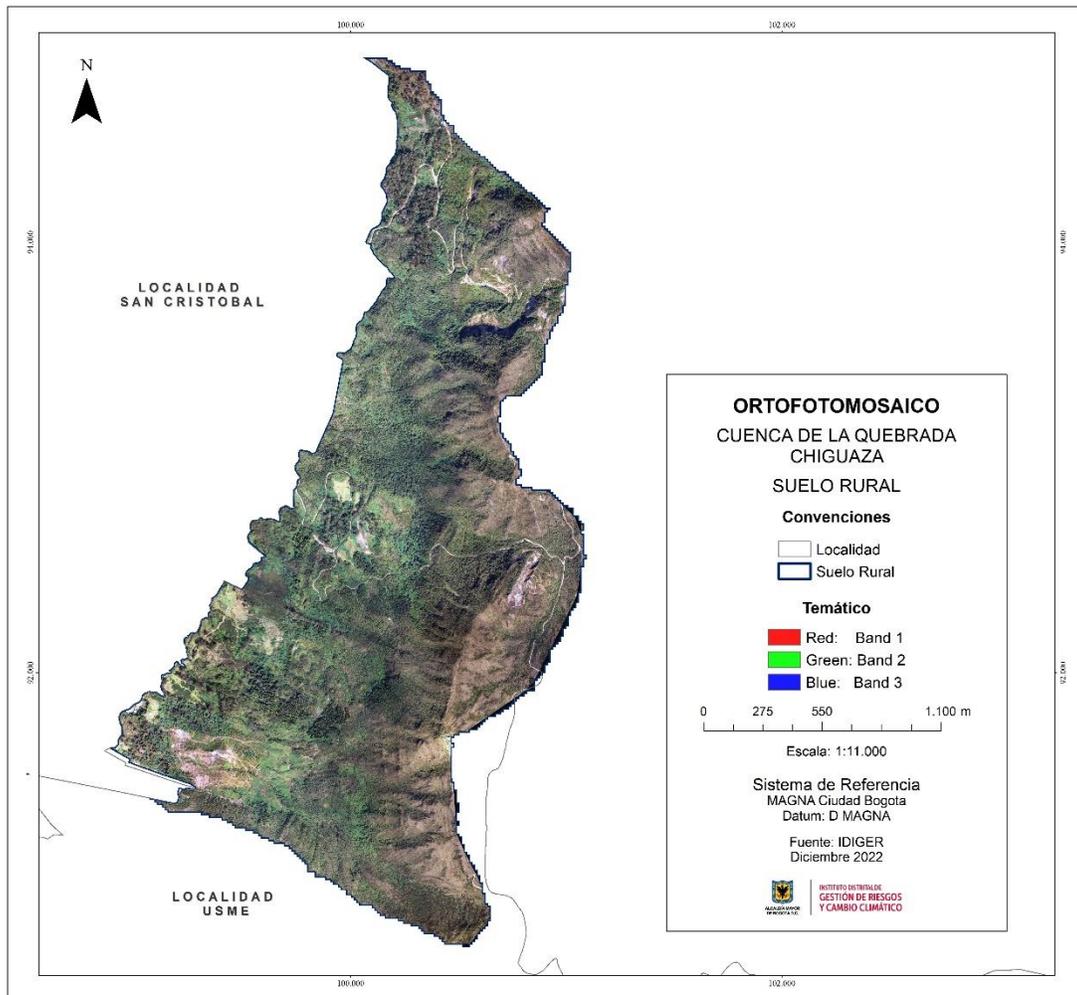


Figura 6. Ortofotomosaico del área rural de la Quebrada Chiguaza

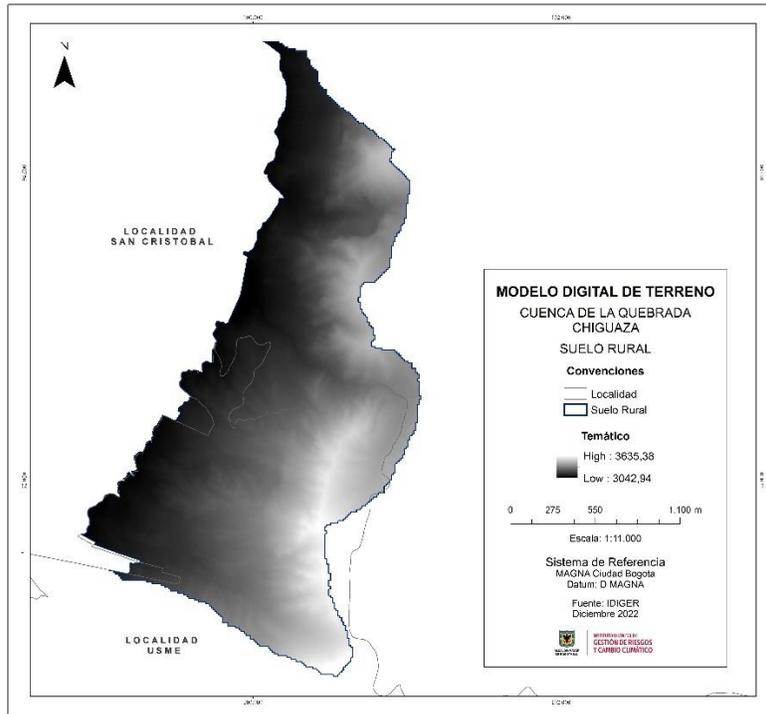


Figura 7. Modelo digital del terreno área de estudio

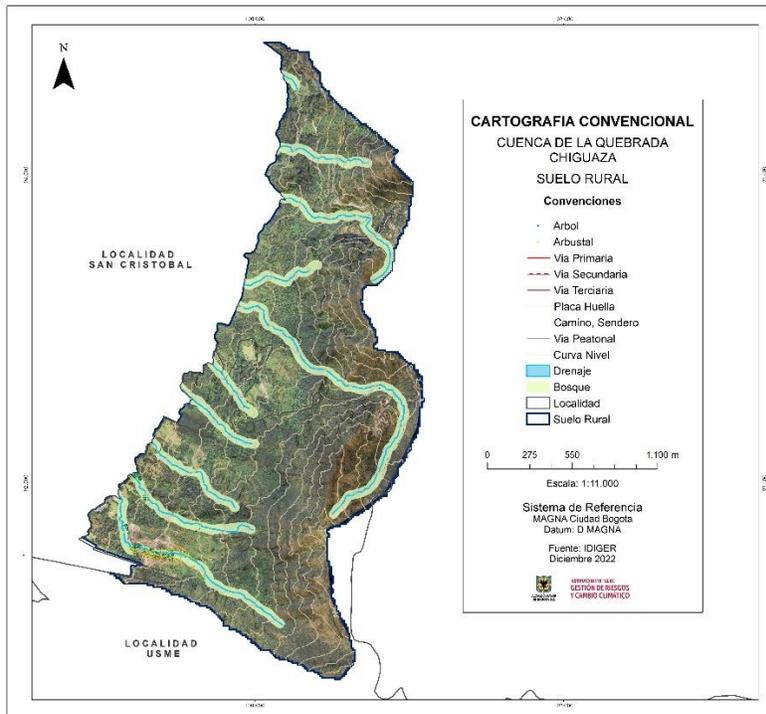


Figura 8. Cartografía Convencional del área de estudio

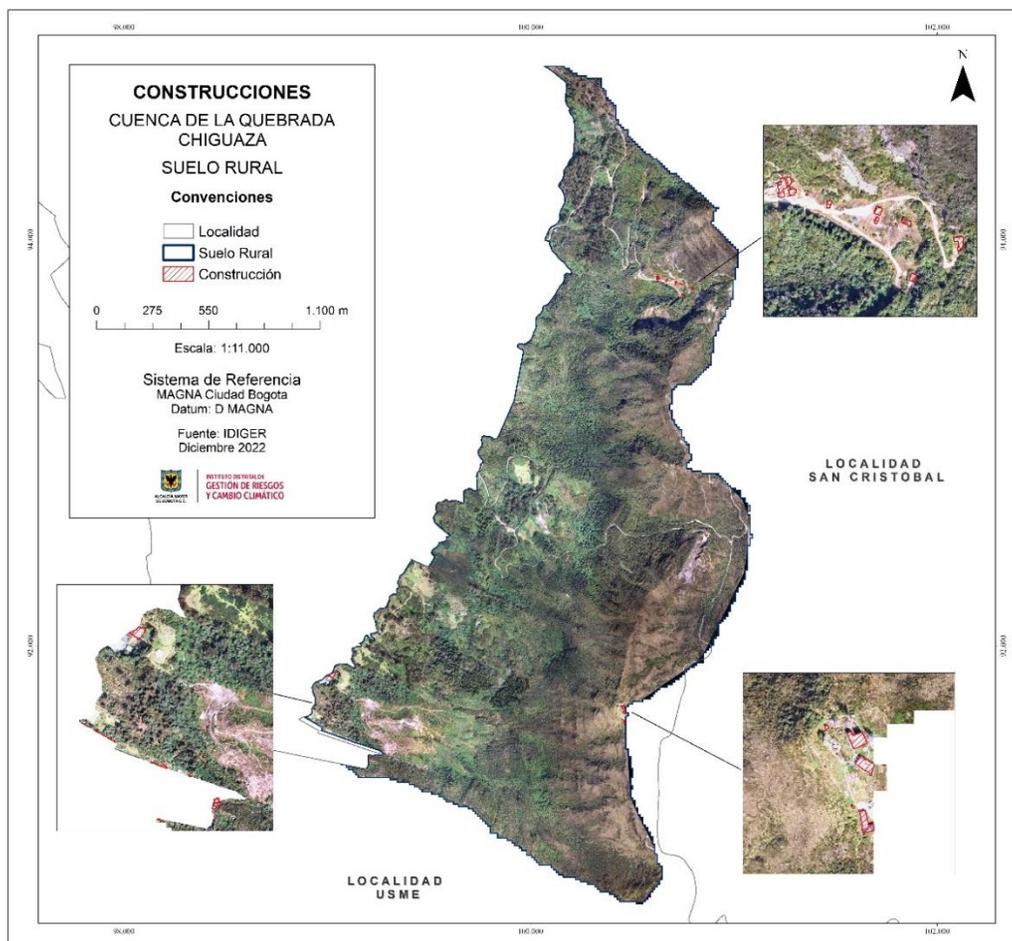


Figura 9. Construcciones localizadas en el área de estudio

6.3 INSUMOS DEL PROYECTO “EVALUACIÓN POR AVENIDAS TORRENCIALES Y/O CRECIENTES SUBITAS PARA LA CUENCA DE LA QUEBRADA CHIGUAZA”

Se cuenta con los siguientes estudios temáticos disponibles para la cuenca:

- **Unidades Geológicas Superficiales (UGS):** geología local a escala 1:2000, enfocada en la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas.
- **Componentes Geomorfológicos (EGMF):** geomorfología local a escala 1:2000, enfocada en la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas.
- **Inventario de Movimientos en Masa:** con temporalidad hasta junio de 2022, a escala 1:2000.

Es decir, que se cuentan con estudios a mayor detalle de la escala de la zonificación, compatibles con el insumo cartográfico, que permiten representar la problemática de la zona.

6.4 NORMATIVIDAD

El presente estudio, se enmarca bajo lineamientos de lo reglamentado en normativa enlistada a continuación:

- ✓ **Decreto 555 de 2021.** “Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.”
- ✓ **Resolución 111 de 2022.** “Por la cual se adoptan los Términos de Referencia para la ejecución de estudios detallados de amenaza y riesgo por movimientos en masa para proyectos de urbanización o parcelación en Bogotá D. C. y se dictan otras disposiciones”
- ✓ **Decreto 523 de 2010.** “Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C.”
- ✓ **Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015.** “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”.

7. INSUMOS REQUERIDOS POR EL DECRETO 1807 DE 2014

De acuerdo con el artículo 15 del Decreto 1807 de 2014, a continuación, se presentan los insumos requeridos para realizar la evaluación de amenaza.

7.1 GEOLOGÍA

Inicialmente el análisis de la información consistió en el estudio comparativo de los diferentes documentos disponibles y la extracción de datos que permitieron establecer un conocimiento inicial de aspectos estratigráficos, estructurales, morfodinámicos y morfológicos del área de estudio. La unidad mínima de análisis o la medida del área identificable más pequeña, según la experiencia del Servicio Geológico Colombiano (SGC) en la elaboración de cartografía temática de geología y de geomorfología, sugiere que el tamaño de la unidad de zonificación del terreno (UZT) mínima cartografiable sea de 400 m² en mapas a escala 1:2000, que correspondería a polígonos aproximados en el papel de 1 x 1 cm (SGC, 2015). No obstante, para efectos del presente estudio, los depósitos identificados (aluviales, coluviales y antrópicos) que tengan áreas más pequeñas que las mínimas cartografiables, serán representadas en lo posible como polígonos según el criterio del interprete.

La caracterización geo-ambiental de un área permite establecer la formulación y comprobación de una hipótesis que pueda definir una explicación para los procesos morfodinámicos existentes como aquellos que puedan llegar a ocurrir. Por lo tanto, se realizó el levantamiento y caracterización de las unidades geológicas superficiales (UGS), teniendo en cuenta el ambiente tectónico y la evaluación de aspectos geológicos regionales.

7.1.1 Geología regional antecedente

El presente capítulo hace una recopilación de la información antecedente relacionada con el componente geológico presente en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, lo cual proporciona información relevante acerca de los condicionantes asociados a la manifestación de eventos amenazantes como movimientos en masa, mediante el análisis de la información obtenida en estudios y visitas técnicas realizadas a la zona de estudio.

Tal como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza se presentan rocas cretácicas del grupo Guadalupe (Arenisca Dura, Plaeners y Labor – Tierna) que se extiende a lo largo del Cerro Oriental desde Usaquén hasta Usme, seguido por la formación Guaduas caracterizada por exponer laderas suaves y onduladas en superficie. A partir de allí se encuentran rocas terciarias desde la formación Cacho que generan algunos cerros notorios y la formación Bogotá de composición mayormente lodosa con laderas onduladas de baja pendiente generalmente inestables. Finalmente, el cuaternario lo constituyen depósitos de origen fluvioglacial pertenecientes a la formación Río Siecha, que se extienden de este a oeste siguiendo la dirección del drenaje principal. En la Tabla 5

Tabla 5 se detallan las propiedades composicionales y texturales de las unidades geológicas identificadas según la información antecedente consultada.

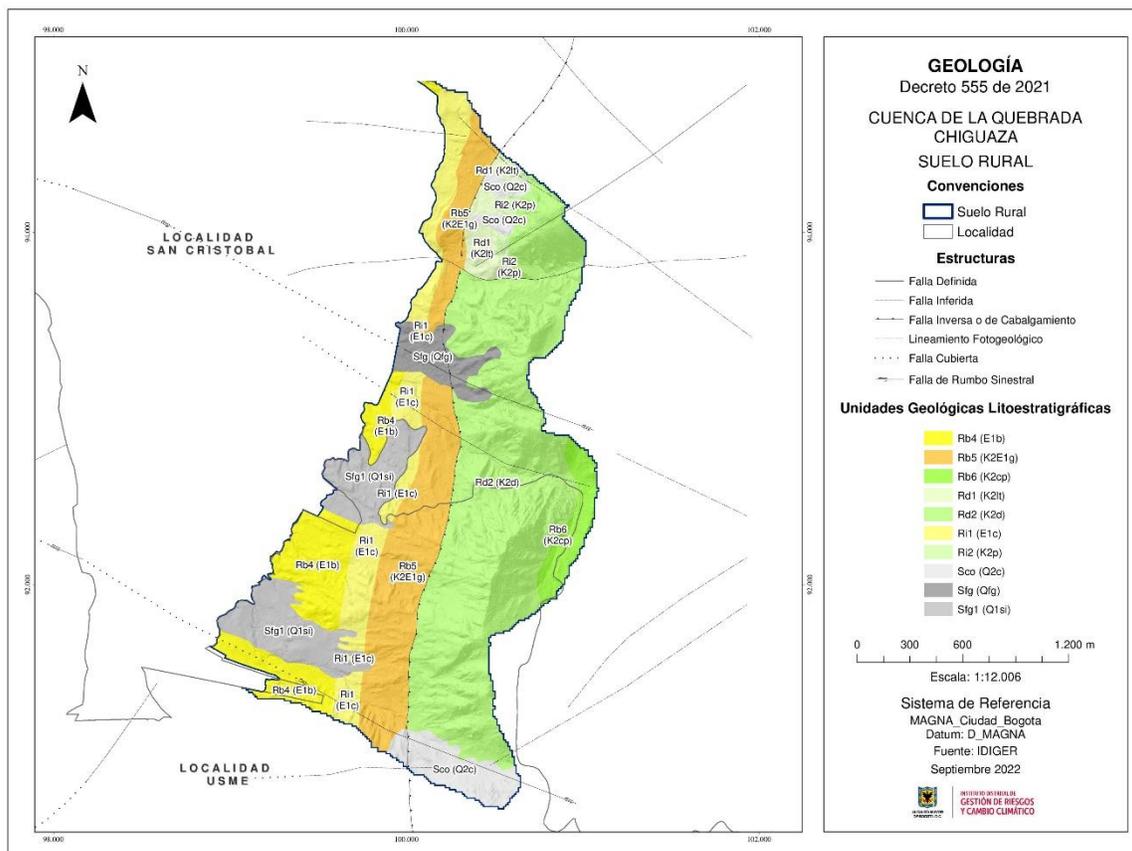


Figura 10. Unidades geológicas presentes según (POT, 2021)

Tabla 5. Descripción de rocas y depósitos en el área rural de la cuenca de la quebrada Chigüaza (POT, 2017).

Acrónimo	Unidades Geológicas
Ksgd	Formación Arenisca Dura. Secuencia predominante de areniscas gris claras, grano fino ocasionalmente grano medio a grueso, duras, en estratos delgados a muy gruesos, con intercalaciones menores de limolitas.
Ksgp	Formación Plaeners. Arcillolitas, liditas, limolitas y en menor proporción areniscas de grano muy fino con morfología suave a ondulada.
Ksglt	Formación Arenisca Labor - Tierna. Secuencia de areniscas color blanco y gris claras, de grano medio a grueso, en capas gruesas a muy gruesas, en general friables, con intercalaciones de capas muy delgadas de arcillolitas y limolitas.
KPgg	Formación Guaduas. Arcillolitas en estratificación gruesa, color gris claro y abigarrado, con intercalaciones de cuarzoarenitas grises, de grano medio a fino, en capas muy delgadas con estratificación ondulada y limolitas y algunos mantos de carbón.
Pgc	Formación Cacho. Areniscas líticas, cuarzosas algo ferruginosas, de grano medio a fino, con intercalaciones de niveles de grano grueso a conglomeráticos, en general friables, en estratos gruesos a muy gruesos. Hacia la parte media un nivel lutítico.

Acrónimo	Unidades Geológicas
Pgb	Formación Bogotá. Arcillolitas abigarradas entre las cuales se intercalan algunos bancos gruesos de areniscas y areniscas arcillosas.
Depósitos de origen glaciar - fluvioglacial	
Qrs	Formación Río Siecha. Gravas hasta pequeños bloques redondeados de origen fluvio-glacial con intercalaciones de arenas, arcillas (orgánicas) y paleosuelos negros. Localmente fragmentos de roca hasta bloque subangulosos en matriz arcillosa.

7.1.2 Geología Estructural

Al interior de esta temática, se identifican procesos de levantamiento o inclinación del terreno producto de la actividad tectónica, directamente relacionados con el incremento de esfuerzos cortantes, como uno de los condicionantes causantes de movimientos en masa propuestos por Cruden & Varnes (1996), puesto que incide desfavorablemente sobre la calidad de los materiales, incrementando la susceptibilidad a presentar fenómenos inestables.

Entre los efectos que producen las estructuras de plegamiento sobre el macizo rocoso y su influencia en las condiciones de estabilidad de los terrenos, se tiene el alto fracturamiento y la disposición favorable de los estratos rocosos con respecto de la pendiente de las laderas. En la Figura 11 se exponen las estructuras presentes, tales como fallas y lineamientos fotogeológicos, con el fin de contemplar el escenario geológico estructural en el que se encuentra emplazada el costado oriental de la cuenca de la quebrada Chiguaza y de esta manera, establecer relaciones entre la geología como factor geoambiental y la ocurrencia de movimientos en masa.

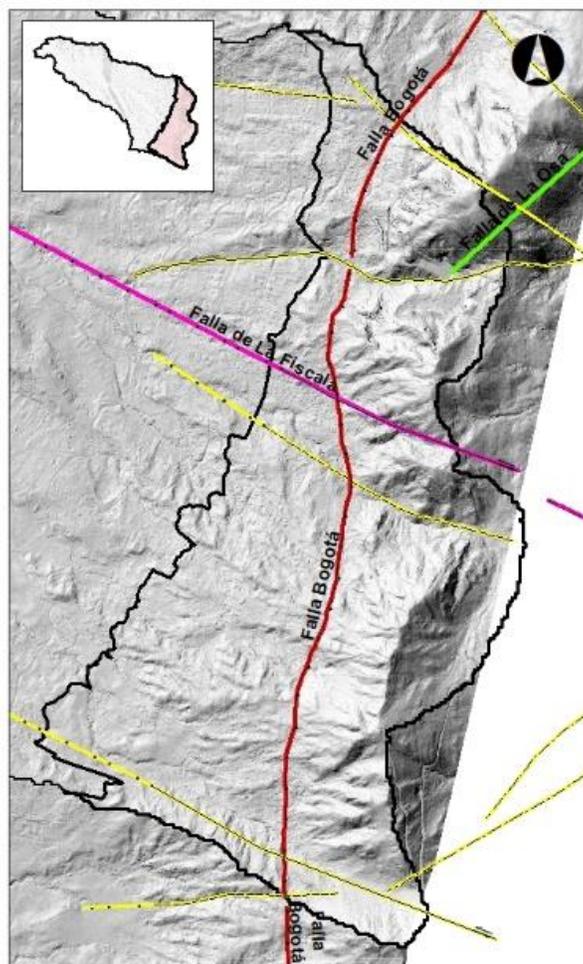


Figura 11. Fallas y lineamientos identificados en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza

En la Tabla 6, se presentan las direcciones preferenciales de las estructuras longitudinales y transversales a la Sabana de Bogotá, como la Falla de Bogotá (NNE-SSW) y la falla La Fiscala (NW-SE) respectivamente, las cuales en superficie presentan expresiones geológicas y geomorfológicas como secuencias litológicas repetidas o faltantes, inversión en los flancos de los plegamientos, fuertes cambios en la dirección de los plegamientos, escarpes de fallas y control de cauces de ríos y quebradas (IDIGER, 2021).

Tabla 6. Estructuras con incidencia en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza

Estructura	Observaciones
Falla de Bogotá	Es una falla inversa con vergencia al occidente, con rumbo promedio N10°E, buzando hacia el oriente; muestra un salto menor en la zona de estudio (sector de Monserrate), que el salto que presenta hacia el sur. En la zona de Usme La Falla de Bogotá pone a la Formación Plaeners en contacto con la Formación Guaduas (Servicio Geológico Colombiano - SGC, 2015)
Falla de La Fiscala	Es una falla de rumbo sinistral; presenta un rumbo general N52W, tiene un salto promedio de 52,28 m. (Ordoñez, 2014).

7.1.3 Unidades geológicas superficiales (UGS)

Con base en la geología generada a escala 1:5.000, durante la actualización del componente de gestión del riesgo en la revisión del Plan de Ordenamiento Territorial – POT (2017), además de estudios regionales realizados por el Servicio Geológico Colombiano y demás instituciones públicas y privadas, se procede a realizar la cartografía de las unidades geológicas superficiales (UGS), las cuales corresponden a un conjunto (homogéneo) de materiales geológicos que afloran en la superficie, provienen del mismo origen y conservan en general las mismas características físicas y de comportamiento geomecánico, hasta algunas decenas de metros por debajo de la superficie del terreno (Rodríguez et al, 2017). Se incluyen suelos y rocas diferenciados según una clasificación basada en el principio de que las propiedades físicas de dichos materiales en su estado actual dependen de la combinación de elementos como el origen, la diagénesis, la historia tectónica y los procesos de meteorización, los cuales controlan su comportamiento mecánico. Ahora bien, según el enfoque del presente estudio, se hará énfasis en la identificación de materiales geológicos y antrópicos de baja resistencia al corte o con presencia de discontinuidades y porosidad relevante dada su baja compactación, puesto que los mismos pueden ser naturalmente débiles o se pueden debilitar por procesos naturales.

7.1.3.1 Unidades de roca

Las unidades de roca han sido clasificadas según la calidad de los materiales, entre calidades de macizo buena y muy buena (roca dura), regular (roca Intermedia) y mala y muy mala (roca blanda), donde la calidad del macizo se expresa mediante el índice geológico de resistencia (GSI), el cual es un sistema que utiliza el carácter geológico del material rocoso junto con la evaluación visual del macizo, como una forma para la selección de parámetros que permiten la predicción de su resistencia y deformabilidad (SGC, 2017).



Figura 12. Panorámica de afloramiento rocoso de la formación Arenisca Dura

Entre las unidades identificadas se encuentran rocas sedimentarias compuestas mayormente por materiales arenosos (Arenisca Dura, Arenisca Labor – Tierna, Cacho), que según lo propuesto en (INGEOMINAS, 2004), en donde se clasifican y caracterizan las rocas y suelos presentes en la Sabana de Bogotá teniendo en cuenta parámetros geológicos como su origen, color, composición litológica, dureza o resistencia, condición de fracturamiento y meteorización, estos materiales se han considerado como rocas duras e intermedias, con expresiones morfológicas puntuales como escarpes y colinas, sin embargo, su comportamiento frágil y los esfuerzos compresivos existentes implican un alto grado de fracturamiento, aportando un mayor grado de permeabilidad e incrementando el desgaste y erodabilidad de los materiales.



Figura 13. Panorámica de afloramiento rocoso de la formación Arenisca labor y Tierna

Por otro lado, las formaciones Guaduas y Plaeners, esta última perteneciente al Grupo Guadalupe, conforman la presencia de rocas blandas (arcillolitas y limolitas), litologías significativamente vulnerables a procesos denudacionales que actúan en el área de estudio. En cuanto a la formación Bogotá, que se encuentra constituida por una sucesión monótona de lodolitas, limolitas y arcillolitas abigarradas (grises, rojas, violáceas y moradas), separadas por bancos de areniscas arcillosas blandas, presenta una morfología ondulada con pendientes moderadas, en general. Sus arcillas se utilizan para la fabricación de ladrillos y tubos, por su carácter “impermeable” y debido a la alta plasticidad de los suelos arcillosos (suelos negros) (Ver Figura 13) producto de la meteorización y/o alteración de las rocas que la constituyen, el área donde aflora es susceptible de inestabilidad, especialmente en pendientes inclinadas a muy inclinadas.

Ahora bien, con el fin de establecer relaciones entre los tipos de rocas encontrados y la calidad de estas en términos de estructura y composición, se incluye la Tabla 7, con el fin de dar a conocer los diferentes tipos de macizos y rangos de GSI propuestos por el SGC, con base en los cuales se caracterizarán los materiales rocosos identificados al interior de la cuenca de la quebrada Chiguaza.



Figura 14. Morfología ondulada generada a partir de materiales arcillosos de la formación Bogotá

Tabla 7. Clasificación de los macizos rocosos según su estructura y composición. Tomado y modificado de (SGC, 2017)

CALIDAD DE ROCA	CALIDAD DE MACIZO	TIPO DE MACIZO	RANGO GSI	ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN
Rocas duras	Muy buena	Tipo I	80 - 100	No perturbada, con capas de arenisca de espesores de anchas a medias con lentes finos esporádicos de limolitas. En túneles superficiales o taludes donde el confinamiento es pobre, el modo de fractura tiene características controladas por los planos de estratificación y el GSI pierde significado.
	Buena	Tipo II	60 - 80	Limolitas masivas no perturbadas (los planos de estratificación no son perceptibles) con esporádicas capas finas de arenisca.
		Tipo III		Areniscas moderadamente perturbadas con delgados estratos de limolitas
Rocas intermedias	Regular	Tipo IV	40 - 60	Macizos rocosos moderadamente perturbados con arenisca y limolitas en similares cantidades.
		Tipo V		Limolitas moderadamente perturbadas con intercalaciones de areniscas.
Rocas blandas	Mala	Tipo VI	20 - 40	Limolitas moderadamente perturbadas con espaciadas intercalaciones de areniscas
		Tipo VII		Macizos rocosos muy perturbados y plegados, que conservan su estructura con arenisca y limolitas en similar extensión.
	Muy mala	Tipo VIII	0 - 20	Macizos rocosos muy perturbados y plegados de intercalaciones de limolitas y areniscas. La estructura se conserva y la deformación-cizalla no es muy fuerte
		Tipo IX		Macizo rocoso desintegrado que puede ser encontrado en zonas falladas y/o de alta meteorización. Se encuentran principalmente materiales deleznales con algunas limolitas deformadas entre las piezas de roca

De manera que, tal como se muestra en la Tabla 8, las unidades geológicas superficiales de roca en la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, se encuentran representadas por macizos rocosos constituidos por materiales detríticos de regular y mala calidad, pertenecientes a las formaciones de la más antigua a la más reciente (Arenisca Dura, Plaeners, Arenisca Labor – Tierna, Guaduas, Cacho y Bogotá).

Tabla 8. Unidades geológicas superficiales de roca en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza

Unidades geológicas superficiales (UGS)	GSI
Roca de regular calidad de arcillolitas y areniscas lodosas de la formación Bogotá (RrPgb). Constituidas por una secuencia predominante de arcillolitas (grises, violáceas, moradas, verdosas y amarillas), de consistencia blanda y textura clástica – consolidada, con intercalaciones de areniscas cuarzo – feldespáticas de grano fino a medio, friables. Se consideran de permeabilidad lenta y se localizan hacia el costado sur-occidental del área rural de la quebrada Chiguaza, con desarrollos puntuales de suelos residuales de aproximadamente 2 metros de espesor.	40 - 60
Roca de regular calidad de cuarzoarenitas de la formación Cacho (RrPgc). Constituidas por areniscas cuarzosas y feldespáticas, de colores gris claro, de grano fino hasta muy grueso a conglomerático, pobremente cementadas y muy friables, de consistencia moderada a blanda; con esporádicas y delgadas intercalaciones de lodolitas y arcillolitas. Se consideran de permeabilidad alta o rápida y se localizan constituyendo una franja con dirección NE, presentando una morfología en general de ondulada a escarpada.	50 - 60
Rocas de mala calidad de arcillolitas y areniscas de la formación Guaduas (RrKPgg). Constituida por arcillolitas de color gris oscuro frecuentemente carbonosas, mantos de carbón explotables y dos niveles de areniscas, así como lodolitas rojizas, azulosas, verdosas y moradas. La unidad se encuentra fuertemente fracturada debido a la incidencia estructural de la falla Bogotá, por lo que se considera de permeabilidad moderada.	40 - 60
Rocas de mala calidad de areniscas friables de la formación Labor-Tierna (RrKsglt). Constituidas por una secuencia altamente fracturada debido al trazado de la falla Bogotá, de areniscas cuarzosas y feldespáticas, gris claras a blancas y pardo amarillentas por meteorización, de grano fino a grueso y ocasionalmente muy grueso a conglomerático, débilmente cementadas, en general friables, de consistencia dura a moderada, en estratificación muy gruesa a delgada; con delgadas intercalaciones de limolitas y arcillolitas silíceas; moderadamente meteorizadas, las cuales pueden originar suelos residuales.	20 - 40
Rocas de regular calidad de arcillolitas de la formación Plaeners (RrKsgp). Constituidas por una secuencia interestratificada de limolitas y arcillolitas comúnmente silíceas y líticas con intercalaciones de areniscas gris claras, grano fino a medio, compactas, de consistencia dura a moderadamente dura. Se consideran de permeabilidad lenta y están localizadas hacia el costado nor-oriental del área rural de la quebrada Chiguaza.	40 - 60
Rocas de regular calidad de areniscas de la formación Arenisca Dura (RrKsgp). Consiste en capas tabulares muy gruesas y gruesas (esporádicamente delgadas) de cuarzoarenitas de tamaño de grano muy fino y fino, masivas y muy cementadas con cemento silíceo, en general poco meteorizadas y poco fracturadas a masivas. Se considera de permeabilidad baja o lenta, sin embargo, esa podría aumentar debido al intenso fracturamiento generado por el trazado de la falla Bogotá. Su espesor es de aproximadamente 400 metros y se localizan sobre el límite oriental de la cuenca Chiguaza.	20 - 40

7.1.3.2 Unidades de suelo

El suelo es un depósito suelto o blando de origen natural formado en la superficie de la Tierra, el cual se debilita o ablanda por inmersión en agua; puede ser el resultado de procesos físicos, químicos y biológicos que actúan para producir un material rico en materia orgánica con horizontes característicos (capas) a poca profundidad. El suelo se puede formar a partir de la erosión o meteorización de rocas más duras o de suelos más antiguos “in situ”, o puede ser material transportado o depositado como una formación geológica

blanda (Rodríguez et al, 2017). Se incluyen en esta subdivisión todo el material granular generado a partir de la desintegración y alteración física y química de otro material, transportado y de origen antrópico. Son materiales geológicos considerados de baja resistencia al corte, naturalmente débiles o se pueden debilitar por procesos naturales.

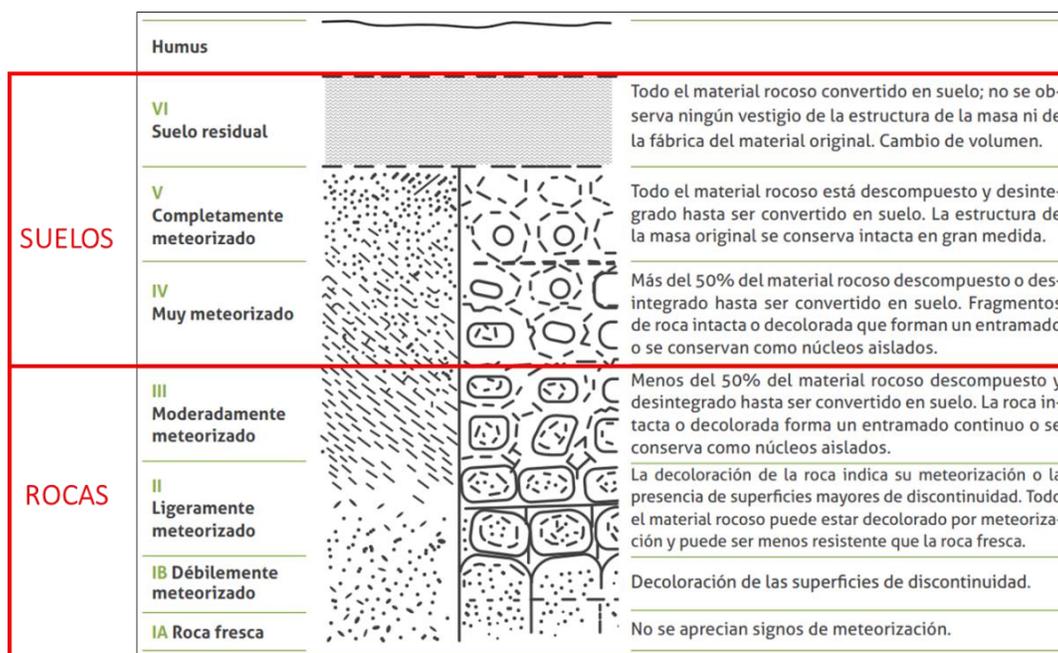


Figura 15. Perfil de meteorización según Dearman (1995)

7.1.3.2.1 Suelos residuales

Los suelos residuales se forman en el sitio por procesos de meteorización física y química y se desarrollan principalmente en condiciones tropicales húmedas. Generalmente su comportamiento geotécnico se caracteriza por presentar resistencia a la compresión simple $< 0,5$ MPa. Según Dearman (1995) son suelos cuya roca parental es de origen sedimentario y con perfil de meteorización IV, V y VI (Ver Figura 15). Estos se presentan en rocas arcillosas dando a lugar una textura fina y a una consistencia que varía de media a baja. Los anteriores presentan espesores bajos y en la mayoría de los casos presentan una pérdida considerable de la capa vegetal, lo que los hace susceptibles a desarrollar procesos erosivos acentuados (surcos y cárcavas).

7.1.3.2.1.1 Suelo residual de la formación Bogotá

Generalmente se encuentran conformando terrenos con una morfología ondulada con laderas de pendientes topográficas suaves a abruptas ($< 5^\circ - 20^\circ$). Se presentan principalmente en laderas estructurales y en superficies sinclinales de bajo grado de plegamiento y zonas de rocas muy fracturadas. Corresponden a la clase fino granular, cuya roca parental son arcillolitas, limolitas y delgados niveles de areniscas, de consistencia blanda y densidad relativa suelta a densa, en general secos y ocasionalmente húmedos. Presentan espesores variables entre los 1 y 2 metros. (ver Figura 16).



Figura 16. Apariencia en campo de suelos residuales de la formación Bogotá

7.1.3.2.2 Suelos transportados

Corresponden a los materiales transportados ya sea por la dinámica fluvial o asociados a movimientos en masa como caída de rocas y suelos, deslizamientos y flujos. Los suelos transportados, se asocian principalmente a agentes de transporte como el agua y la fuerza de gravedad, ya que la pendiente tiene un efecto significativo sobre la magnitud de la erosión y el contenido acuoso del suelo. De igual manera, las actividades antrópicas han acelerado los efectos naturales de la meteorización y la erosión sobre el terreno.

7.1.3.2.2.1 Suelos transportado fluvioglaciario de la formación Rio Siecha

Su origen está asociado a corrientes torrenciales producto de deshielo de la parte más distal de la masa glacial, que han escurrido desde los cerros orientales a lo largo de las hendiduras hechas por las fallas transversales. Son generalmente susceptibles a sufrir procesos de inestabilidad, como movimientos en masa de tipo deslizamiento y reptación. Son suelos de tipo matriz soportado (matriz =60%, clastos = 40%), tamaño de limo y arcilla, color gris oscuro y tonos pardos oscuros. Presentan paleosuelos de color negro, con clastos de rocas sedimentarias (areniscas) que provienen de la destrucción (erosión) de formaciones del Cretácico.



Figura 17. Suelos de origen fluvioglaciario de la formación Rio Siecha

7.1.3.2.2.2 Suelos transportados de origen coluvial

Corresponden a depósitos de ladera, provenientes de antiguos movimientos en masa, originados por procesos de transporte y deposición de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidro-gravitacionales, en suelos saturados y no saturados. Estas acumulaciones de materiales rocosos que se encuentran en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza abarcan depósitos sedimentarios que son caracterizados según su origen. Debido a que están presentes junto a otros detritos de granulometría inferior (arenas y arcillas) toman patrones texturales distintivos. Asimismo, su desarrollo está condicionado a la geología de los macizos rocosos sobre las que tienen lugar y a las condiciones climáticas del área geográfica donde afloran. Por lo que, a continuación, se clasifican de acuerdo con su litología y propiedades físicas (matriz y textura).

- **Depósitos coluviales clasto-soportados (Qdp2).** Depósitos compuestos por bloques angulares a subangulares de variado tamaño, embebidos en una matriz generalmente de composición limo-arenosa. Se desarrollan por acción de la gravedad durante procesos orogénicos y recientemente por el debilitamiento de los macizos rocosos por acción de las actividades de minería artesanal. Presentan espesores de hasta 3 metros y se consideran de permeabilidad moderada. Se localizan principalmente al costado norte del área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, asociados a materiales de las formaciones Arenisca Dura y Cacho. Susceptibles a presentar reactivaciones.
- **Depósitos coluviales matriz-soportados (Qdp3).** Depósitos constituidos por una matriz generalmente arcillo-arenosa con bloques angulares a subangulares de variado tamaño embebidos en la misma. Se desarrollan por acción de la gravedad durante procesos orogénicos y recientemente por el debilitamiento de los macizos rocosos por acción de las actividades de minería artesanal. Presentan espesores de hasta 3 metros y se consideran de permeabilidad baja o lenta, debido a su composición mayormente arcillosa. Se localizan principalmente sobre el costado sur-occidental del área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, asociados a las formaciones Guaduas y Bogotá. Son susceptibles a presentar movilizaciones por procesos de erosión hídrica e intervenciones antrópicas.
- **Depósitos de flujo de detritos (Qdfd).** Depósitos clasto-soportado a matriz-soportado, compuestos principalmente por arenas y gravas gruesas, muy deleznable, sin gradación, mal seleccionado, denso y de compacidad moderada. Se desarrollan sobre laderas y lomeríos disectados de pendientes abruptas a escarpadas (15°-45°) localizadas hacia la parte media del área rural de la cuenca y constituidas por areniscas friables de la formación Cacho, siguiendo la dirección de la disección ejercida por drenajes intermitentes que generan a su vez la canalización y transporte de los materiales. Presentan espesores de aproximadamente 1 metro y se consideran de permeabilidad rápida. Se consideran susceptibles a presentar reactivaciones por procesos de erosión hídrica.
- **Depósitos de talus (Qdt).** Deposito compuesto por la acumulación de detritos sobre la base de laderas afectadas por procesos erosivos de origen periglacial, de matriz clasto-soportada, seco y moderadamente seleccionada, con clastos de areniscas de principalmente pertenecientes a las formaciones Arenisca Dura y Cacho.

A continuación, en la Figura 18 y en la Tabla 9 se resumen las unidades geológicas superficiales (UGS) identificadas para el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza. Entre las unidades de suelo encontradas se destacan las de origen glacial pertenecientes a la formación Rio Siecha que se encuentra ocupando gran parte del área de estudio, asociadas a los drenajes y fallas principales por donde discurren desde las partes altas de los cerros orientales. Adicionalmente los suelos transportados se asocian a procesos erosivos hídricos y estructurales que han debilitado los macizos rocosos constituidos por rocas sedimentarias detríticas, generando depósitos coluviales, flujos y depósitos de talus. Entre las unidades de roca encontramos materiales de calidad variable pertenecientes al grupo Guadalupe (Arenisca Dura, Plaeners y Labor Tierna), Guaduas, Cacho y Bogotá, las cuales por sus propiedades composicionales y texturales son especialmente susceptibles a sufrir procesos de inestabilidad.

Tabla 9. Unidades geológicas superficiales (UGS) para el área rural de la quebrada Chiguaza

Origen/Tipo de Material		Nombre de la UGS	Acrónimo	
UNIDADES DE SUELO	Transportados	Glacial	Suelo fluvio-glaciario de la formación Rio Siecha	Qsi
		Coluvial	Depósitos coluviales clasto-soportados	Qdp2
			Depósitos coluviales matriz-soportados	Qdp3
			Depósitos de flujo de detritos	Qdfd
			Depósitos de talus	Qdt
	Suelos Residuales	Suelo residual de la formación Bogotá	SPgb	
UNIDADES DE ROCA	Roca de regular calidad de arcillolitas y areniscas lodosas de la formación Bogotá		RrPgb	
	Roca de regular calidad de cuarzoarenitas de la formación Cacho		RrPgc	
	Rocas de mala calidad de arcillolitas y areniscas de la formación Guaduas		RrKPggs	
	Rocas de mala calidad de areniscas friables de la formación Labor-Tierna		RrKsglt	
	Rocas de regular calidad de arcillolitas de la formación Plaeners		RrKsgp	
	Rocas de regular calidad de areniscas de la formación Arenisca Dura		RrKsgd	

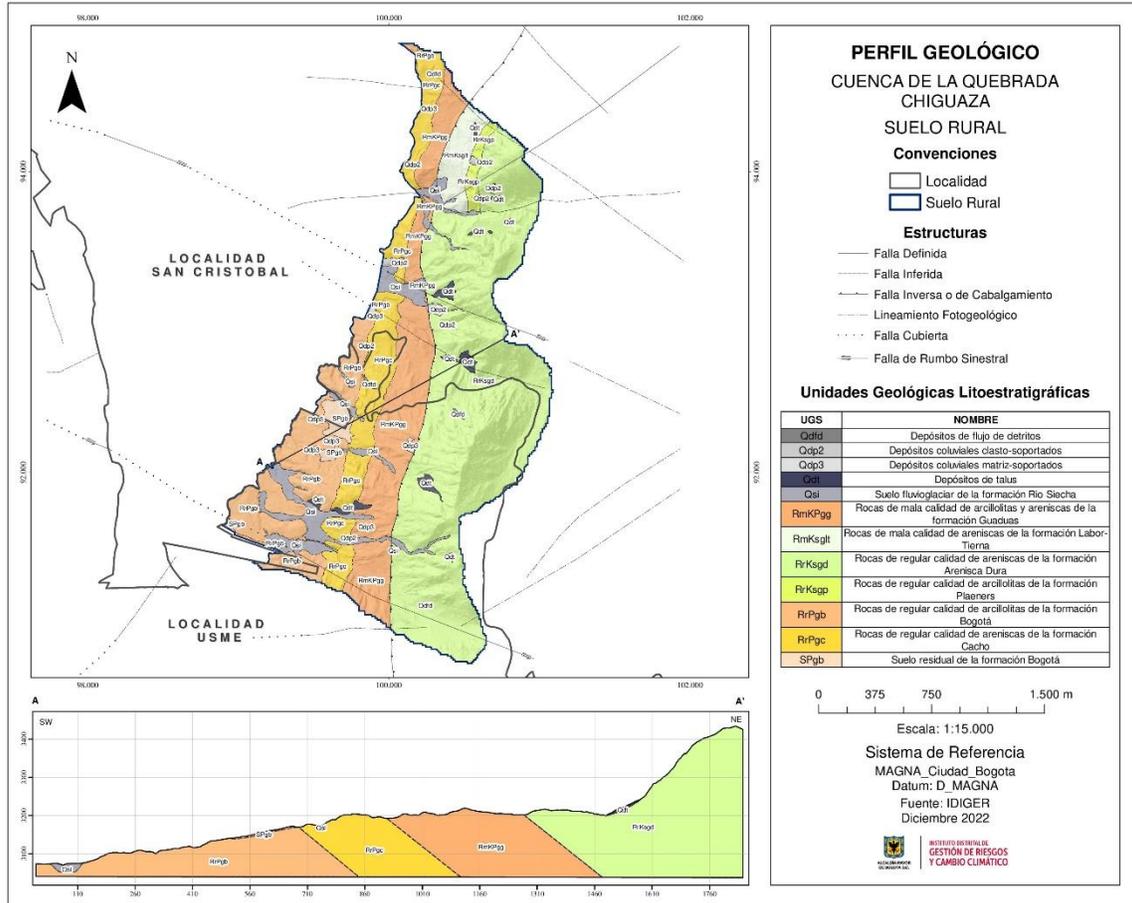


Figura 18. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales para el área rural de la cuenca de la quebrada Chigüaza

7.2 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es la ciencia que estudia el origen y desarrollo de las formas terrestres y paisajes, además de encargarse de la identificación de los procesos que modelan la superficie y la caracterización de estos, los cuales ocurren en respuesta a factores como la actividad tectónica, el cambio climático, fluctuaciones en el nivel del mar y las actividades humanas. De manera que, la información geomorfológica constituye bases sólidas para la toma de decisiones en la evaluación del riesgo de desastres y resulta elemental para el manejo ambiental y territorial, dado el carácter geo-indicador que tiene la superficie terrestre para mostrar los más recientes cambios geológicos, propios de la dinámica interna como externa de la Tierra.

En la cartografía geomorfológica del presente capítulo, se agrupan los elementos de acuerdo con características similares en cuanto a su origen, composición, procesos morfodinámicos, litología, grado de meteorización y tipo de suelo, entre otros. Para lo anterior, fue necesaria la interpretación de insumos digitales y recorridos en campo prestando mayor atención a la identificación de geoformas de origen fluvial, denudacional y antrópico, dado que en algunos casos su carácter no consolidado condiciona su

comportamiento geomecánico, aumentando la probabilidad de presentar fenómenos de inestabilidad o movimientos en masa. Cabe resaltar que en el presente trabajo se tiene en cuenta la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia (SGC, 2012), que según el esquema de jerarquización geomorfológica para la escala 1:2.000, se emplea la categoría “componente geomorfológico”, abordando la cartografía en criterios relacionados al origen (morfogénesis), forma (morfometría-índices morfométricos) y procesos actuantes (morfodinámica).

7.2.1 Morfometría

La morfometría consiste en analizar la evolución del relieve de un frente montañoso y comprender cómo responde el sistema erosivo-fluvial ante la actividad tectónica. El relieve está sujeto a los efectos de la recurrencia de acciones comprensivas tectónicas que en este caso modificaron los niveles topográficos y han establecido las condiciones geomecánicas de las rocas expuestas, estas rocas se encuentran altamente fracturadas y meteorizadas por acción de las fallas y la deformación de la Cordillera Oriental, tales efectos pueden originar suelos o depósitos donde generalmente se encuentran las poblaciones (SGC, 2019).

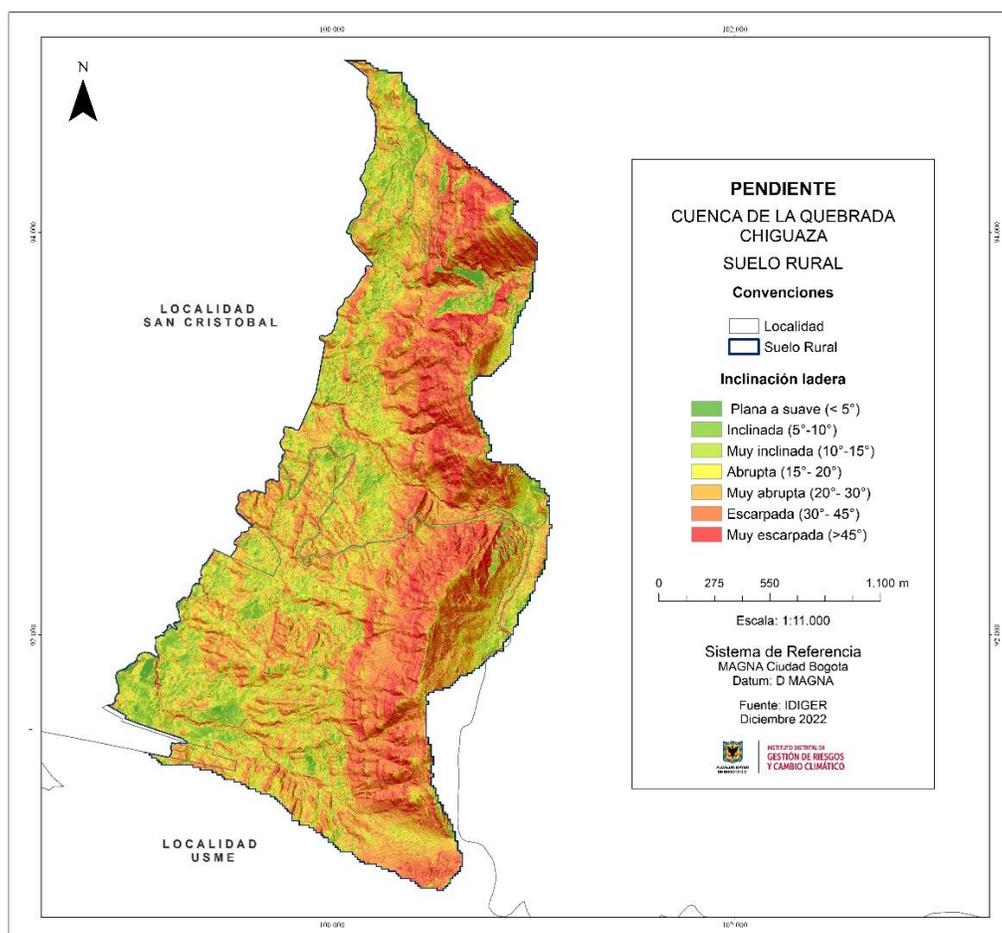


Figura 19. Modelo de pendientes para el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza

Los índices morfométricos permiten realizar la caracterización espacio temporal de las propiedades geométricas de las cuencas hidrográficas y de las redes de drenaje, además de ser útiles para la identificación de áreas que experimentan rápida deformación tectónica. Según Keller y Pinter (1996). Los anteriores se calcularon a partir de información topográfica y modelos digitales de elevación (DEM), como el modelo de pendientes calculado para el área rural de la quebrada Chiguaza (Ver Figura 19), en el que es posible observar que las mayores inclinaciones se encuentran asociadas a las laderas orientales que se encuentran afectadas intensamente por el control estructural ejercido por la Falla de Bogotá y demás estructuras generalmente perpendiculares, ocasionando cambios bruscos en la morfología de la superficie y la materialización de escenarios con presencia de fenómenos inestables como caídas y deslizamientos.

Las zonas con menor grado de inclinación están asociadas generalmente con la presencia de depósitos de origen fluvio-glaciar que discurren desde el costado oriental y explanaciones de origen antrópico utilizadas para el desarrollo urbanístico del sector y la implementación de actividades de minería artesanal.

7.2.2 Morfogénesis

La morfogénesis estudia el origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron origen a la forma de la superficie, cuya cartografía es la base de los mapas geomorfológicos. Este modelado está fuertemente influenciado por la combinación de procesos endógenos y exógenos que actúan sobre la superficie terrestre en proporciones e intensidades diferentes y durante intervalos de tiempos geológicos, generando una serie de geoformas que pueden ser diferenciadas y clasificadas (SGC, 2012). En este sentido la morfogénesis permite explicar la ocurrencia o no ocurrencia de eventos amenazantes a partir de los procesos que han dado origen a la geomorfología actual de una región.

Tal como se puede ver en la Tabla 10 y en la Figura 20, los ambientes geomorfológicos predominantes en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza son el estructural y el denudacional, dando como resultado geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra y por procesos erosivos superficiales modeladores, asociadas al levantamiento de la cordillera oriental, en la que la disposición estructural, plegamientos y litología de los macizos rocosos, determinan las expresiones morfológicas predominantes. Seguido de lo anterior, encontramos una amplia presencia de geoformas de origen antrópico (explanaciones) que han transformado en gran medida la superficie.

Dentro del ambiente glacial encontramos elementos asociados con los depósitos de origen fluvio-glaciar pertenecientes a la formación Río Siecha y algunas evidencias de los procesos erosivos que dieron como resultado el desarrollo de valles en “U” localizados sobre el costado sur-oriental de la zona de estudio. Finalmente, entre las geoformas de origen fluvial se encuentran terrazas de erosión asociadas a la intensa disección de la superficie sobre materiales generalmente de mayor contenido arenoso-friable.

Tabla 10. Ambientes geomorfológicos y porcentaje de incidencia sobre el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza

Componente geomorfológico	Nomenclatura	Ambiente Morfogenético	Ha	%
Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción	Dco	Denudacional	142,90	34,12
Cono de talus	Dct			
Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional	Ddtr			
Escarpe de erosión menor	Deeme			
Lomo denudado bajo de longitud corta	Dldebc			
Lomo denudado bajo de longitud media	Dldebm			
Ladera denudada	Dlden			
Lomeríos disectados	Dldi			
Ladera disectada	Dldis			
Cono o lóbulo de flujo de detritos	Dlfd			
Ladera ondulada	Dlo			
Terraza o berma de fallamiento	Sbf			
Contraescarpe	Scep			
Escarpe de roca	Ser			
Ladera de contrapendiente escarpada	Slice			
Ladera estructural	Sle			
Lomo de falla	Slf			
Escarpe de línea de falla	Sife			
Lomeríos estructurales	Sloe			
Terraza de erosión	Fte	Fluvial	8,05	1,92
Escarpe de terraza de erosión	Ftee			
Canteras	Ac	Antrópico	54,48	13,01
Ladera explanada	Ale			
Ladera explanada abrupta	Alea			
Ladera explanada escarpada	Alee			
Ladera explanada ondulada	Aleo			
Superficie de explanación	Asp			
Planos y conos de sobrelavado glaciar	Gpcs	Glacial	39,42	9,41
Valle glaciar	Gvg			

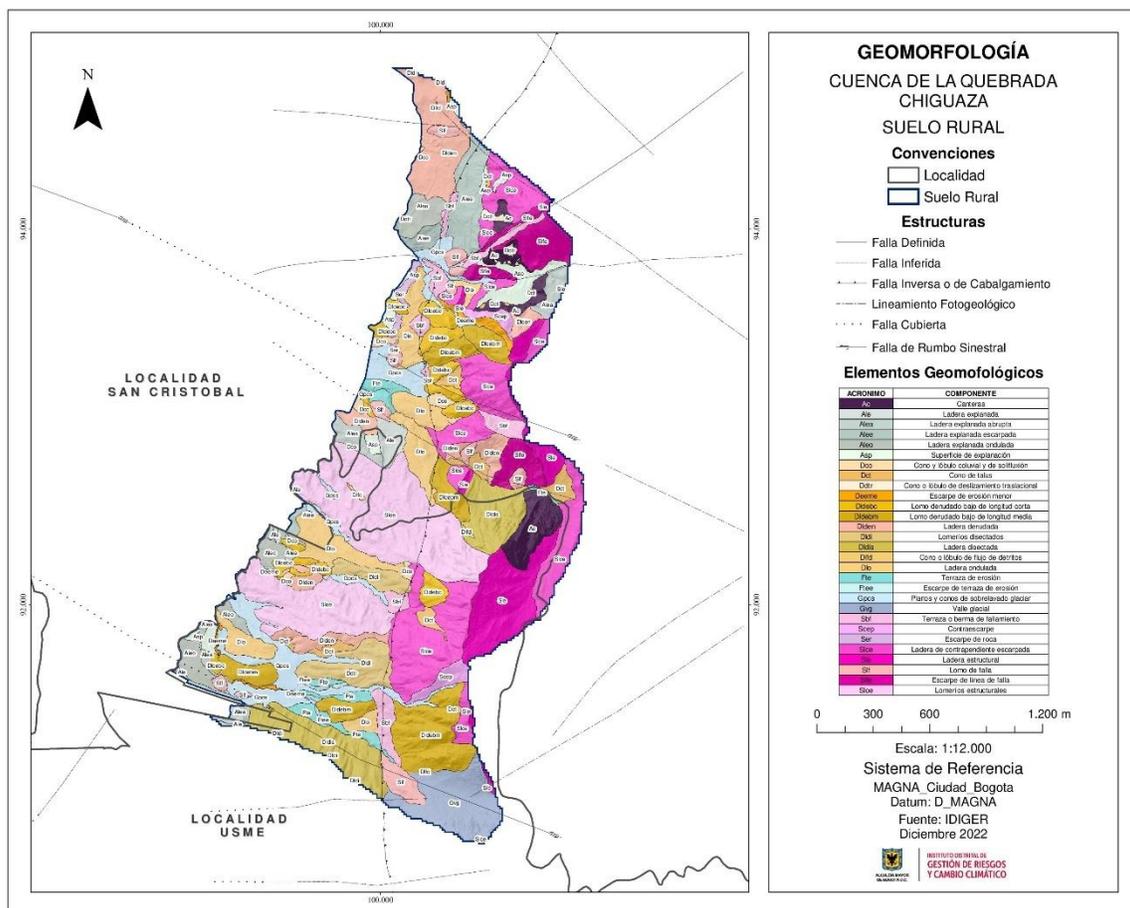


Figura 20. Modelo de pendientes para el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza

7.2.2.1 Elementos geomorfológicos de origen fluvial

Estas subunidades incluyen las geofomas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre (SGC, 2012). Ahora bien, debido a la inmadurez de los drenajes que discurren sobre el flanco oriental de la cuenca de la quebrada Chiguaza (Cuenca alta), se encontraron geofomas asociadas principalmente a la dinámica erosiva, dando como resultado unidades como terrazas y escarpes de erosión, desarrollados sobre las formaciones Cacho y Guaduas que se componen de areniscas muy friables y materiales lodosos (arcillolitas) respectivamente.

7.2.2.1.1 Terraza de erosión (Fte)

Superficies elongadas, de morfología plana a suavemente ondulada, limitadas por escarpes de diferente altura, que se presentan en forma alterna no pareada, a lo largo del cauce de un río. Su origen es relacionado a procesos de erosión aluvial lateral y procesos de

levantamiento tectónico que afectan el sustrato rocoso. Generalmente contienen una delgada capa de grava que cubre la superficie plana. Se encuentran asociadas al curso de las quebradas Verejones y La Vidriera al costado sur y nor-oriental de la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza. Se desarrollan principalmente sobre las formaciones Cacho y Guaduas que se componen de areniscas muy friables y materiales lodosos (arcillolitas) respectivamente.

7.2.2.1.2 Escarpe de terraza de erosión (Ftee)

Planos verticales a subverticales, escalonado, que bordean a las terrazas aluviales de erosión. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce sobre el estrato rocoso. Asociados al curso de la quebrada Verejones sobre el costado sur del área de estudio, con escarpes cuya altura puede variar de 6 a 10 metros (Ver Figura 21).

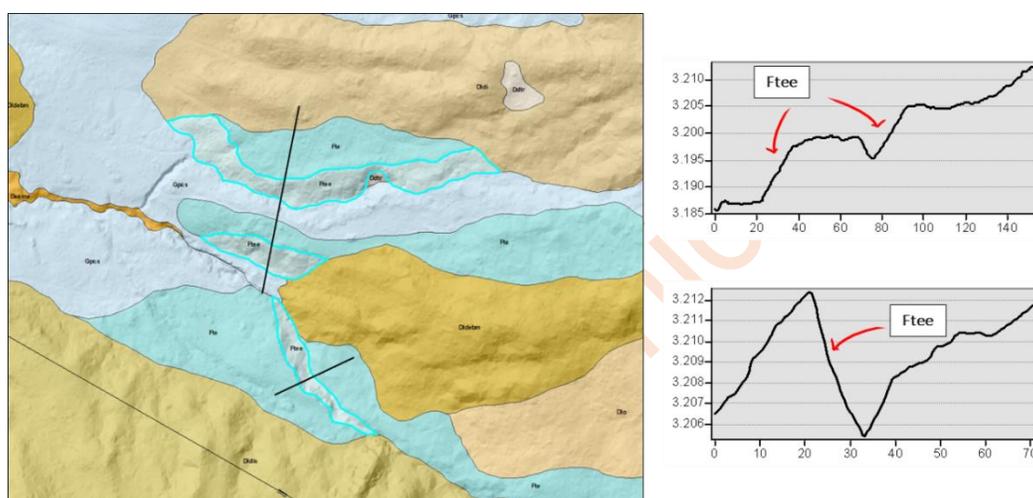


Figura 21. Vista en planta y perfiles topográficos de Escarpe de terraza de erosión (Ftee)

7.2.2.2 Elementos geomorfológicos de origen denudacional

En el presente numeral se describen las geoformas con expresión morfológica definida por la acción combinada de procesos de meteorización, erosión y transporte gravitacional y pluvial, que modelan paulatinamente el relieve o geoformas preexistentes, suavizándolas, modelándolas y generando nuevas por acumulación de sedimentos. La incidencia del ambiente denudacional en el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, consiste principalmente en el desarrollo de geoformas generadas a partir de la erosión fluvial de los cauces (escarpes de erosión, lomos y lomeríos disectados) y el desgaste superficial (laderas denudadas) en donde se presentan además depósitos de suelos transportados (coluviones, talus).

7.2.2.2.1 Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción (Dco)

Estructuras en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja, cuyo origen es relacionado a procesos de transporte o remoción y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidro-gravitacionales en suelos saturados y no saturados. Tienen forma irregular y por lo general se encuentran movilizados a lo largo de laderas cóncavas, algunos más susceptibles que otros a sufrir reactivaciones. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a arena - arcillosa. Se desarrollaron principalmente a

partir de materiales susceptibles como las areniscas friables y lodolitas de las formaciones Cacho y Bogotá respectivamente. Localizados hacia el costado occidental del área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza. Son susceptibles a presentar movilizaciones.

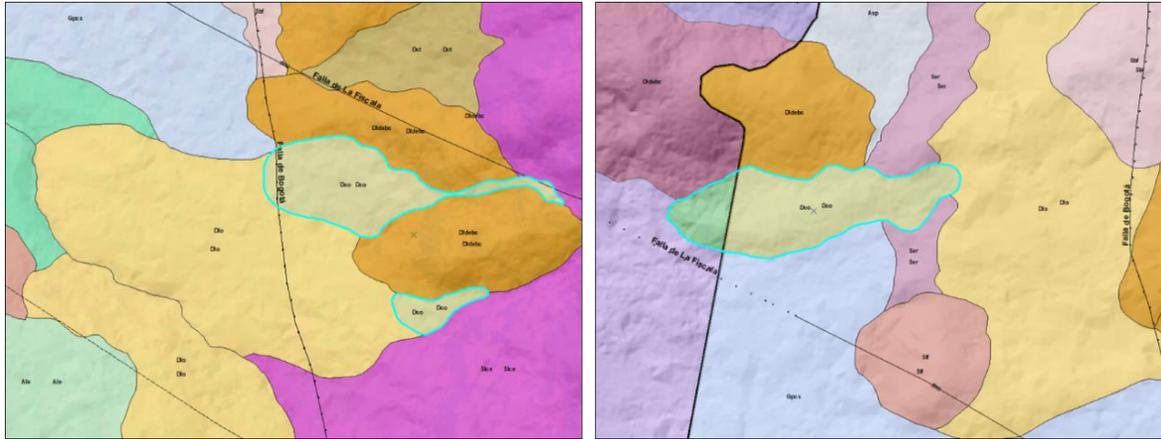


Figura 22. Vista en planta de Cono coluvial (Dco)

7.2.2.2.2 Cono de talus (Dct)

Geoforma generada a partir de la acumulación de bloques y detritos desprendidos de laderas escarpadas por la acción de la gravedad. Estos depósitos rellenan el pie de las laderas, adquiriendo formas de cuña alargadas a lo largo de la ladera. Los procesos que dan origen a su formación se encuentran mayoritariamente asociados a procesos denudativos en zonas de paisaje periglacial. Se generan por procesos de desgaste por gravedad de laderas constituidas principalmente por unidades de composición arenosa, como las formaciones Arenisca Dura, Labor-Tierna y Cacho, presentes hacia el costado oriental de la cuenca de la quebrada Chiguaza.

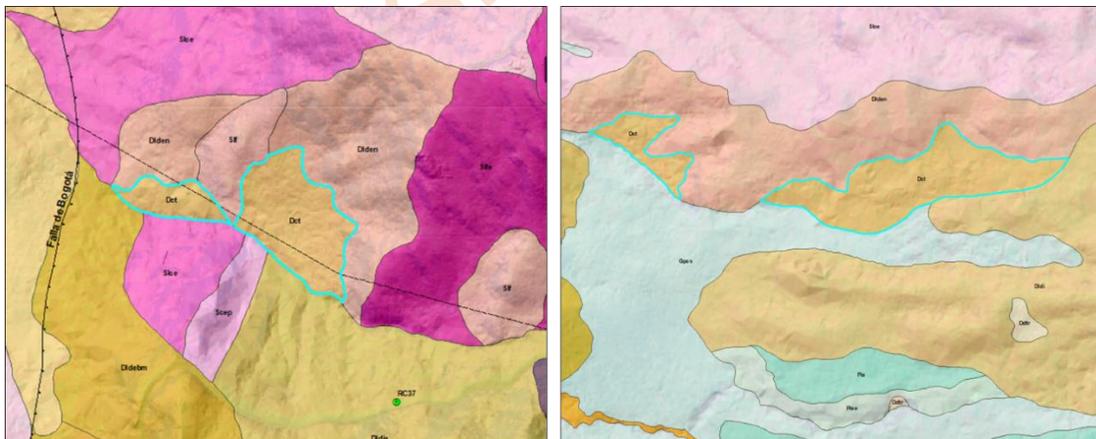


Figura 23. Vista en planta de Cono de talus (Dct)

7.2.2.2.3 Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional (Ddtr)

Estructuras en forma de cono o lóbulo, con morfología plana a suavemente ondulada. Su origen es generalmente relacionado al movimiento de tierra a lo largo de una superficie de falla más o menos planar. Estos movimientos se detonan principalmente por la saturación y posterior movimiento de los suelos arcillosos que se desarrollan sobre las formaciones

Guaduas y Bogotá, controlados por segmentos de debilidad asociados con planos de estratificación (suelo-roca) y zonas de alto fracturamiento. Además de lo anterior, gran parte de los deslizamientos traslacionales identificados se asocian al debilitamiento y erosión de los macizos rocosos por efecto de las actividades de minería artesanal que han dado lugar en el sector (Cuenca de la quebrada Aguamonte o Zuque) sumado a la incidencia estructural (Falla de Bogotá).

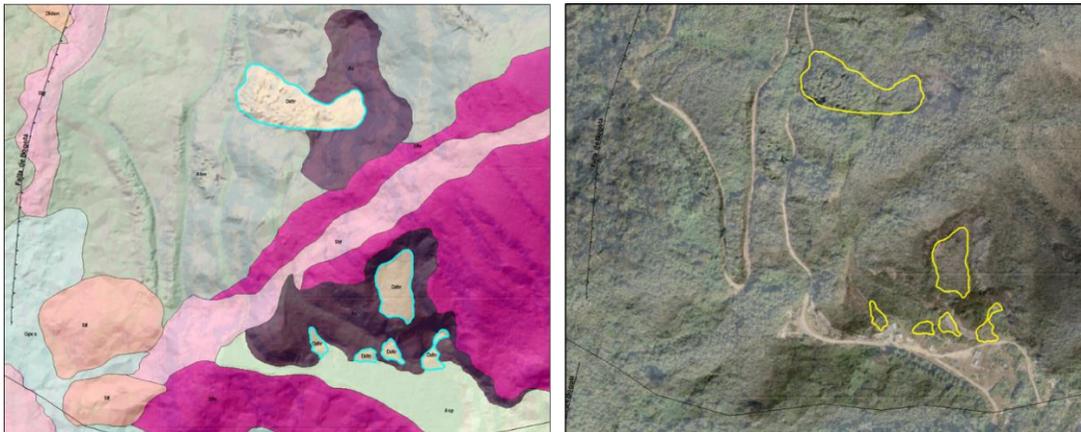


Figura 24. Vista en planta de Conos o lóbulos de deslizamiento traslacional (Ddtr) sobre modelo de pendientes y ortomosaico

7.2.2.2.4 Escarpe de erosión menor (Deeme)

Laderas cóncavo convexa, de longitudes cortas, con pendientes muy abruptas a escarpadas 20°- 45°; originadas por procesos de erosión fluvial lateral y/o fenómenos de remoción en masa a lo largo de corrientes fluviales. Se localizan principalmente sobre el costado sur-occidental del área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, asociadas a las quebradas Verejones y Nueva Delhi. Se desarrollan sobre materiales lodosos pertenecientes a la formación Bogotá. Son susceptibles a presentar fenómenos de socavación lateral.

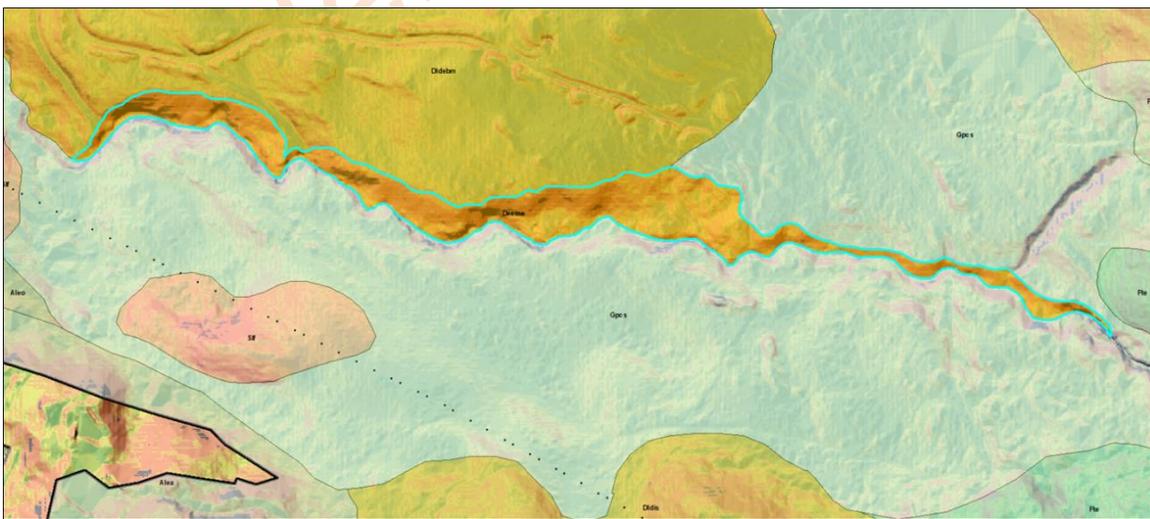


Figura 25. Vista en planta de Escarpe de erosión menor (Deeme) sobre modelo de sombras y pendientes

7.2.2.2.5 Lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc)

Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor que 250 m y la longitud del eje principal es menor que 250 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico. Se localizan principalmente sobre el costado norte y sur-occidental del área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, asociados a areniscas y arcillolitas pertenecientes a las formaciones Arenisca Dura y Bogotá respectivamente.

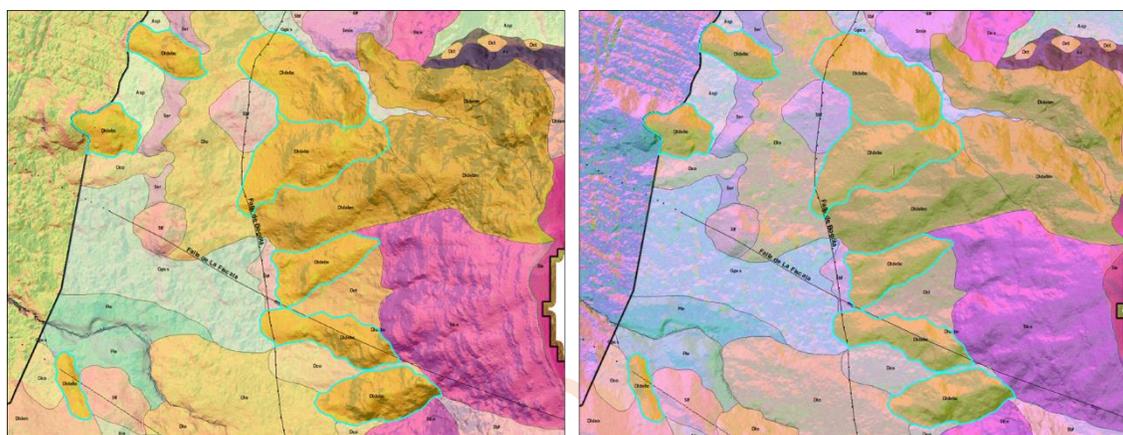


Figura 26. Vista en planta de lomo denudado bajo de longitud corta (Dldebc), sobre modelo de pendientes y aspecto

7.2.2.2.6 Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm)

Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor que 250 m y el eje principal tiene una longitud entre 250 m y 1000 metros; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico. Estas subunidades se encuentran localizadas principalmente sobre el costado oriental de la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, asociadas a materiales arenosos pertenecientes a la formación Arenisca Dura. De manera puntual se presentan movimientos en masa asociados de tipo flujo.

7.2.2.2.7 Ladera denudada (Dlden)

Superficies de forma irregular, cóncava y/o convexa y patrón de drenaje subparalelo, de pendientes abruptas a escarpadas (15°- 46°) y de longitudes cortas a largas (50-1000 metros). Se caracterizan por la presencia de depósitos de talus y coluviales generalmente hacia la base de las mismas. Estas laderas se constituyen principalmente por materiales arcillosos pertenecientes a la formación Bogotá y se localizan hacia el costado oriental de la cuenca y se encuentran ampliamente distribuidos por la zona rural de la misma. Los

depósitos identificados sobre las mismas son naturalmente susceptibles a sufrir movilizaciones.

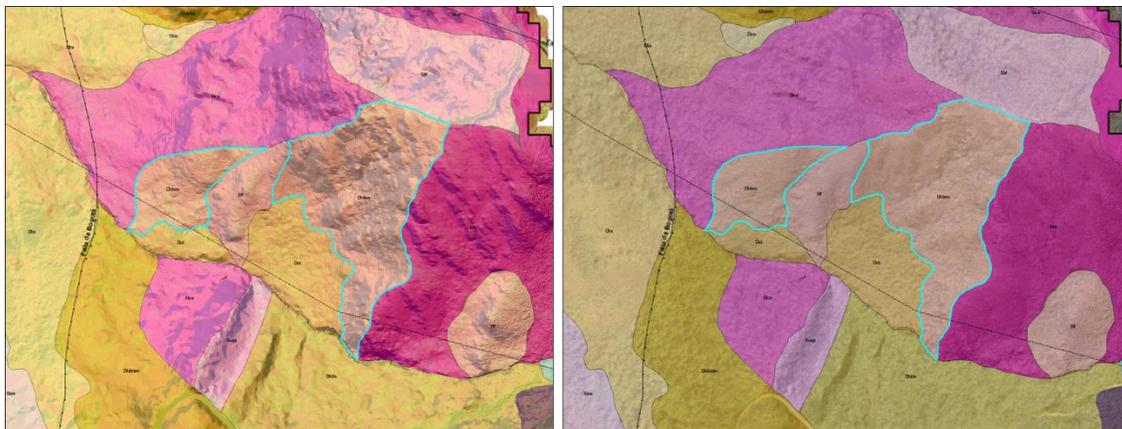


Figura 27. Vista en planta de Ladera denudada (Dlden), sobre modelo de pendientes y ortomosaico

7.2.2.2.8 Lomeríos disectados (Dldi)

Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas redondeadas y amplias, de laderas cortas a largas (50 – 1000 m), de forma rectas, cóncavas y convexas, con pendientes muy inclinadas a muy abruptas (10°- 30°), con índice de relieve bajo. Estas geoformas son originadas por procesos de denudación intensos y cuyas laderas se caracterizan por la moderada disección, generando valles en U con fondo redondeado a plano. Se localizan sobre el costado sur del área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza y por lo general pueden presentar movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional con superficie de falla poco profundas.

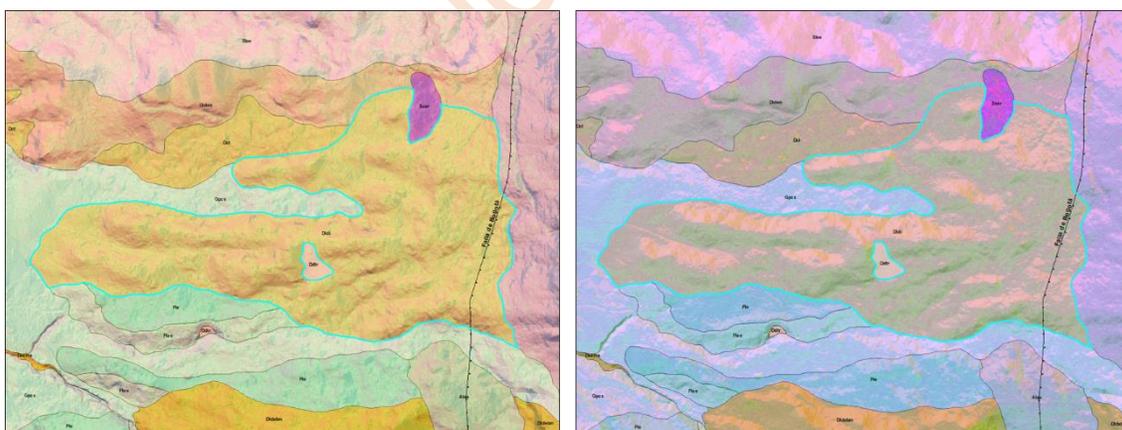


Figura 28. Vista en planta de Lomeríos disectados (Dldi) sobre modelo de pendientes y aspecto

7.2.2.2.9 Ladera disectada (Dldis)

Superficie ondulada, convexa o parcialmente cóncava con longitudes de cortas a moderadas (50 – 250 m), de pendientes muy abruptas a escarpadas (20°- 45°), caracterizadas por una alta densidad de drenaje de patrón subparalelo, asociadas al curso de las quebradas Verejones, La Vidriera y Aguas Claras localizadas hacia el costado sur y oriental del área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza.

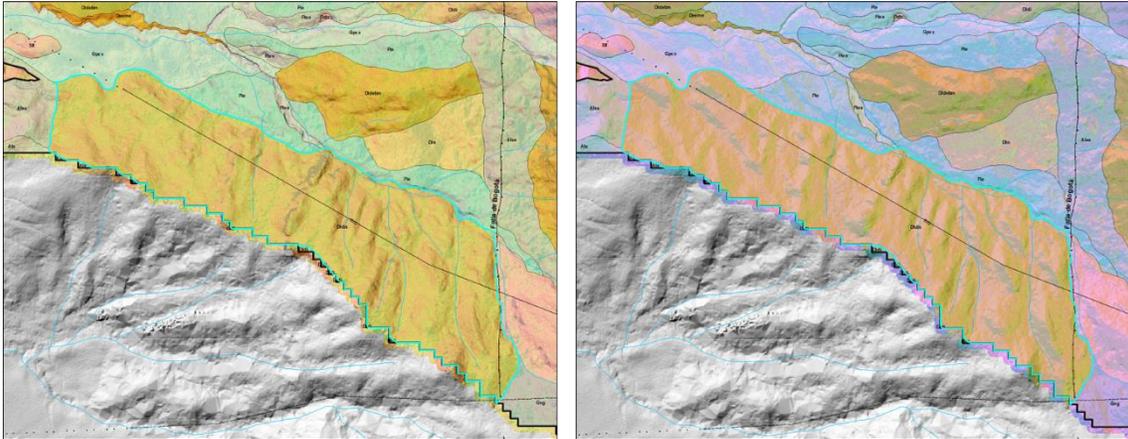


Figura 29. Vista en planta de Ladera disectada (Dldis) sobre modelo de pendientes y aspecto

7.2.2.2.10 Cono o lóbulo de flujo de detritos (Dlfd)

Estructuras en forma de lóbulo y abanico con morfología alomada y aterrazada, de longitud corta (50-250m), convexa, limitada por escarpes abruptos a muy abruptos. Su origen es relacionado a eventos fluvio-torrenciales encauzados o canalizados (Ver Figura 30). En general, su depósito está constituido por bloques rocosos angulares a subredondeados de detritos y bloques embebidos en una matriz más fina. Se localizan ampliamente distribuidos por la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, sobre todo sobre laderas escarpadas y fuertemente disectadas, desarrollados sobre materiales principalmente arenosos pertenecientes a las formaciones Cacho y Arenisca Dura y asociados a las quebradas Verejones, Seca y La Vidriera.

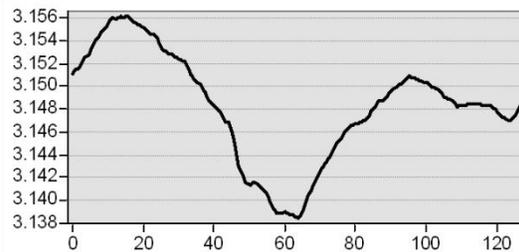


Figura 30. Vista en planta y perfil topográfico de Cono o lóbulo de flujo de detritos (Dlfd)

7.2.2.2.11 Ladera ondulada (Dlo)

Superficies en declive de morfología alomada o colinada, de pendientes inclinadas a muy abruptas (5°- 30°) y longitudes cortas y largas (50-250 metros). El patrón de drenaje es subdendrítico a subparalelo. Estas laderas se desarrollan a partir de procesos de erosión y meteorización diferencial acentuada que por lo general forman suelos residuales a partir de

materiales arcillosos y areno-arcillosos pertenecientes a las formaciones Guaduas (Ver Figura 31), Bogotá y Regadera.

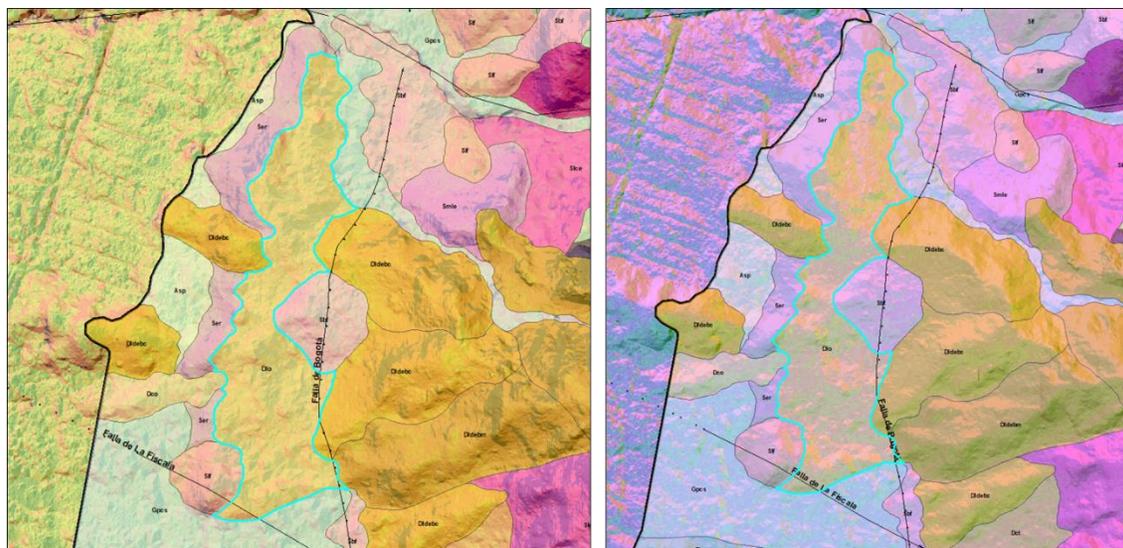


Figura 31. Vista en planta de Ladera ondulada (Dlo) sobre modelo de pendientes y aspecto

7.2.2.3 Elementos geomorfológicos de origen estructural

Son geformas generadas por la dinámica interna de la tierra o procesos endógenos, es decir, especialmente las asociadas con los plegamientos y el fracturamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia de los esfuerzos y la variación en la resistencia de las unidades rocosas. Se asocian a la fuerte influencia estructural ejercida por los sistemas de fallamiento que dan lugar sobre los cerros orientales, con la presencia de la Falla Bogotá y fallas con una orientación perpendicular a la misma como la falla La Fiscala, las cuales ocasionan el desarrollo de geformas como laderas estructurales y de contrapendiente, lomos de falla, lomeríos estructurales, escarpes de roca, cornisas estructurales y bermas de fallamiento, entre otros.

7.2.2.3.1 Terraza o berma de fallamiento (Sbf)

Escalón alargado en forma de terraza de morfología alomada o colinada, limitado por escarpes de línea de falla de longitud muy corta de forma convexa e inclinación abrupta. Su origen es relacionado con el escalonamiento diferencial desarrollado por procesos de fallamiento. Se localizan principalmente sobre el costado oriental de la cuenca debido al fuerte fallamiento y control estructural en el sector ejercido por la falla de Bogotá (Ver Figura 32).

7.2.2.3.3 Escarpe de roca (Ser)

Superficies rectilíneas con pendientes escarpadas a muy escarpadas (30° - $>45^{\circ}$) y longitudes cortas (50-250m), donde se desarrollan patrones de drenaje de tipo paralelo. Su origen se asocia a procesos erosivos y tectónicos, desarrolladas mayoritariamente sobre unidades litológicas de consistencia firme (areniscas compactas) como las formaciones Cacho y Arenisca Dura. Se localizan sobre el costado occidental de la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, muy afectados por la disección de drenajes y el fuerte fallamiento que se desarrolla sobre este costado de la cuenca. Son susceptibles a presentar movimientos en masa de tipo caída.

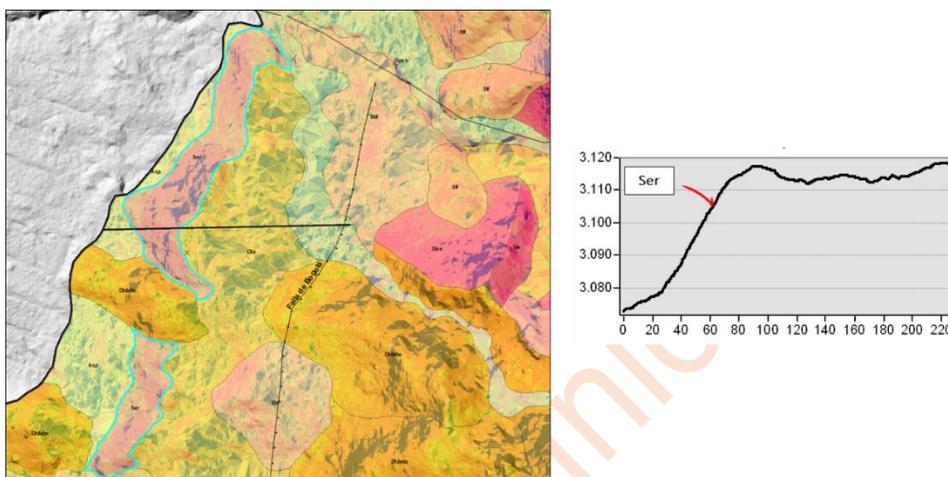


Figura 34. Vista en planta y perfil topográfico de Escarpe de roca (Ser)

7.2.2.3.4 Ladera de contrapendiente escarpada (Slce)

Laderas de longitudes cortas a largas (50-1000m), de forma irregular o escalonada definidas por los planos de estratificación, dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno, con pendientes muy abruptas a escarpadas (20° - 45°). Se asocian al control estructural ejercido sobre el costado oriental de la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza. Presentan movimientos en masa de tipo flujo y depósitos coluviales susceptibles a sufrir movilizaciones.

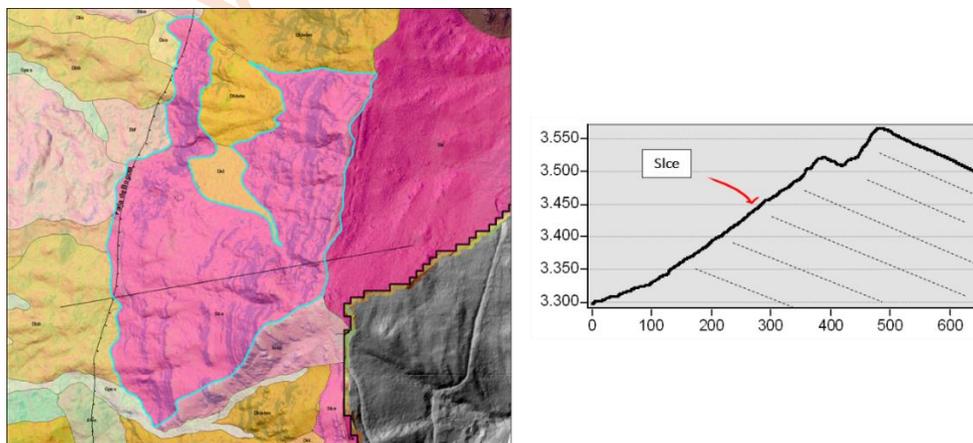


Figura 35. Vista en planta y perfil topográfico de Ladera de contrapendiente escarpada (Slce)

7.2.2.3.5 Ladera estructural (Sle)

Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) paralelos al sentido de la inclinación del terreno. Se presentan con longitud de aproximadamente 500m, con pendientes abruptas a escarpadas (15°-45°). En esta geoforma los datos estructurales no permiten establecer una asociación con alguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, homoclinal, monoclinal, entre otros). Se localizan sobre el límite oriental de la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, asociadas a materiales arenosos pertenecientes a la formación Arenisca Dura. Actualmente no se presentan movimientos en masa asociados.

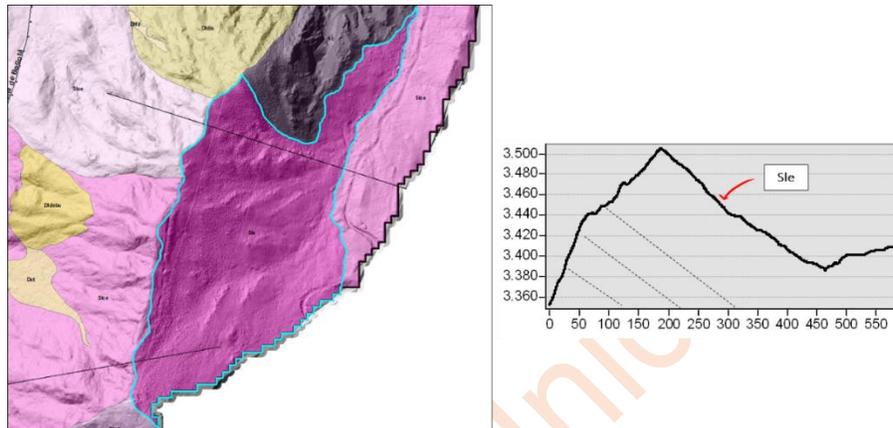


Figura 36. Vista en planta y perfil topográfico de Ladera estructural (Sle)

7.2.2.3.6 Lomo de falla (Slf)

Prominencias topográficas de morfología alomada, con laderas cortas a muy cortas (<50-250m), forma convexa y pendientes abruptas a escarpadas (15°-45°), localizados a lo largo de fallas de rumbo como la falla La Fiscala (Ver Figura 37) y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que determina la expulsión de un bloque de terreno. Se caracteriza por su alto fracturamiento y estructuras de tipo flor positiva. Se localizan principalmente sobre el costado norte de la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza de la cuenca, asociados a fallas de rumbo sinistral (N52W). Actualmente no presentan movimientos en masa asociados.

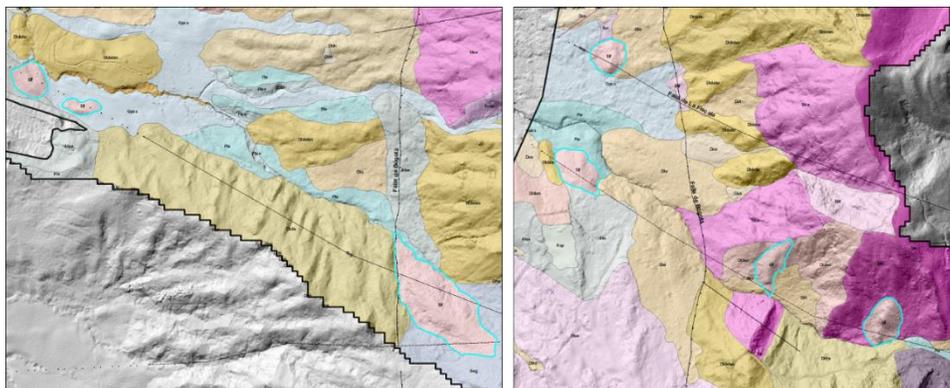


Figura 37. Vista en planta de Lomo de falla (Slf)

7.2.2.3.7 Escarpe de línea de falla (Slfe)

Planos verticales a subverticales, de longitudes cortas (50-250m), cóncavo a convexo y de pendientes escarpadas a muy escarpadas (30°- >45°). Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada. Asociados al fuerte fallamiento presente en la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, desarrollado en sentido NW-SE y SW-NE, que controla en gran parte la dirección de los drenajes principales.

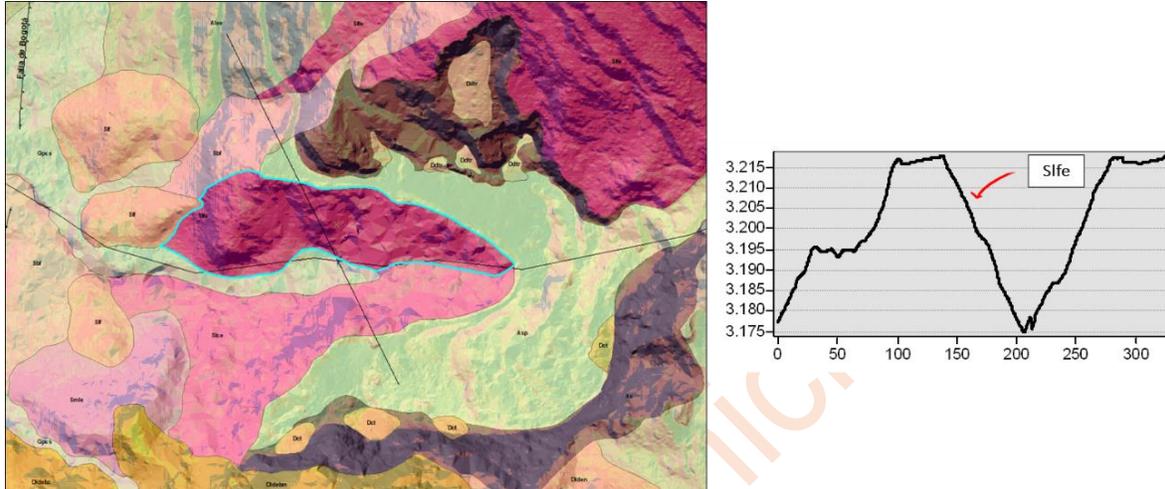


Figura 38. Vista en planta de Escarpe de línea de falla (Slfe)

7.2.2.3.8 Lomeríos estructurales (Sloe)

Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas agudas a redondeadas estrechas, de laderas muy cortas (<50m), de forma cóncava a rectas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas (20°-45°), con índice de relieve bajo. Su origen está relacionado con la acción conjunta de procesos tectónicos moderados a intensos y periodos de meteorización y denudación en sobre las rocas sedimentarias que componen la secuencia Guaduas-Cacho-Bogotá. Se localizan hacia el costado sur-occidental del área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, asociados al curso de las quebradas Seca y Nueva Delhi.

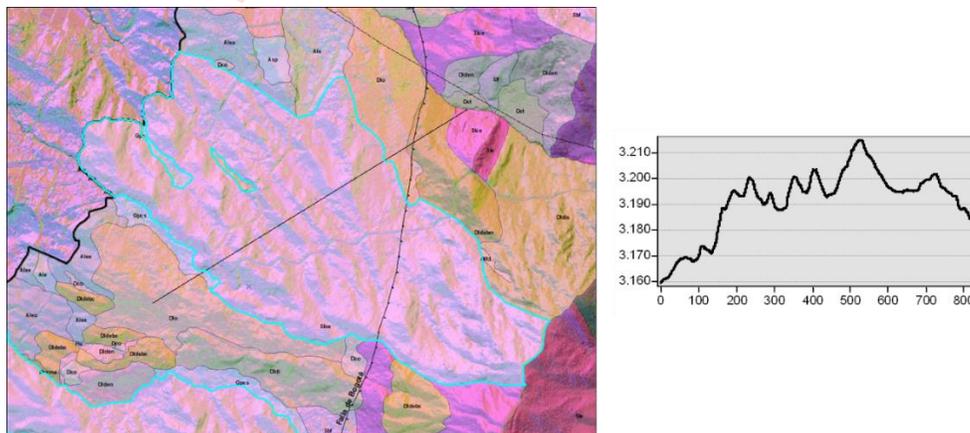


Figura 39. Vista en planta y perfil topográfico de Lomeríos estructurales (Sloe)

7.2.2.4 Elementos geomorfológicos de origen antrópico

Finalmente, la actividad antrópica con un 13,01% de incidencia en el área rural (54,48ha) de influencia, constituye dentro del área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza, un fuerte impacto sobre el relieve, debido principalmente a la presencia de actividades extractivas que generan el debilitamiento de los macizos rocosos, debido a la falta de planificación en el proceso. Lo anterior genera el desarrollo de movimientos en masa como caídas y deslizamientos asociados a taludes rocosos compuestos principalmente por rocas (areniscas) pertenecientes a la formación Arenisca Dura. Además de lo anterior, se aprecia que a medida que se acentúan las actividades constructivas hacia el costado occidental del área rural, se intensifica la presencia de explanaciones sobre laderas onduladas e inclinadas, transformando en gran medida la morfología natural de la superficie.

7.2.2.4.1 Canteras (Ac)

Corresponde a las zonas destinadas a la extracción de materiales que han supuesto un cambio importante en la morfología de las laderas, modificando el grado de inclinación de las mismas, favoreciendo la inestabilidad y exponiendo grandes bloques de roca. Se localizan principalmente hacia el costado nor-oriental del área rural de la cuenca, en donde mediante cortes y explanaciones se intervienen zonas de laderas abruptas de donde se extraen materiales arenosos pertenecientes a la formación Arenisca Dura. El debilitamiento de los macizos rocosos provoca generalmente posteriores movimientos en masa de tipo caída y deslizamiento.

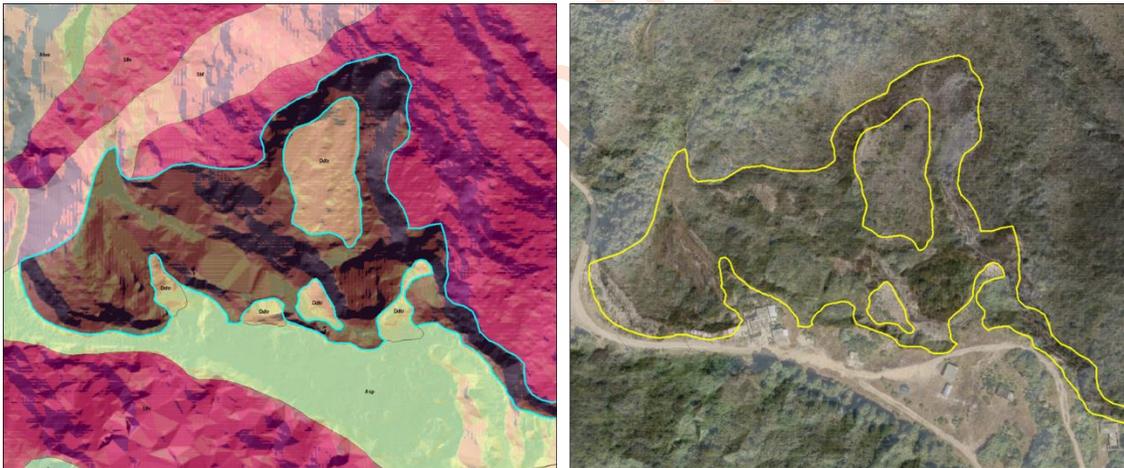


Figura 40. Vista en planta de Canteras (Ac) sobre modelo de pendientes y ortomosaico

7.2.2.4.2 Ladera explanada (Ale)

Asociada a terrenos en donde se han realizado cortes en laderas y cuyo material de corte o escombros ha sido movido para llenar zonas contiguas, con el fin de adecuar terrenos para viviendas e infraestructura. Presentan pendientes planas a muy inclinadas (5°- $15^{\circ}</math>) y longitudes moderadas a largas (250-1000 metros). Se localizan principalmente sobre el costado occidental de la zona rural de la cuenca y pueden presentar rellenos localizados de 2 a 3 metros de espesor aproximadamente utilizados para el desarrollo urbanístico del sector.$

7.2.2.4.3 Ladera explanada abrupta (Alea)

Asociada a terrenos en donde se han realizado cortes en laderas y cuyo material de corte o escombros ha sido movido para llenar zonas contiguas, con el fin de adecuar terrenos para viviendas e infraestructura. Presentan pendientes predominantemente abruptas (15° - 20°) y longitudes cortas (50-250 metros). Se localizan principalmente sobre el costado occidental de la zona rural de la cuenca y pueden presentar rellenos localizados de 2 a 3 metros de espesor aproximadamente utilizados para el desarrollo urbanístico del sector.

7.2.2.4.4 Ladera explanada escarpada (Alee)

Asociada a terrenos en donde se han realizado cortes en laderas y cuyo material de corte o escombros ha sido movido para llenar zonas contiguas, con el fin de adecuar terrenos para viviendas e infraestructura. Presentan pendientes predominantemente escarpadas (30° - 45°) y longitudes cortas a largas (50-1000 metros). Se localizan principalmente sobre el costado occidental de la zona rural de la cuenca y pueden presentar rellenos localizados de 2 a 3 metros de espesor aproximadamente utilizados para el desarrollo urbanístico del sector.

7.2.2.4.5 Ladera explanada ondulada (Aleo)

Asociada a terrenos de morfología ondulada en donde se han realizado cortes en laderas y cuyo material de corte o escombros ha sido movido para llenar zonas contiguas, con el fin de adecuar terrenos para viviendas e infraestructura. Presentan pendientes predominantemente planas a muy abruptas ($<5^{\circ}$ - 30°) y longitudes cortas a moderadas (50-500 metros), asociadas a materiales blandos pertenecientes a los depósitos fluvio-glaciares de la formación Siecha y arcillosos de las formaciones Guaduas y Bogotá. Se distribuyen ampliamente por la cuenca y generalmente presentan un relleno de aproximadamente 2 a 3 metros de espesor utilizado para el desarrollo urbanístico del sector.

7.2.2.4.6 Superficie de explanación (Asp)

Planos de allanamiento hecho en laderas de sustrato rocoso y/o materiales inconsolidados con el fin de adecuar el terreno para la construcción o con fines de estabilización de laderas, mediante la explanación o terracedos que disminuyen la pendiente del terreno. Se localizan principalmente sobre el costado occidental de la zona rural de la cuenca y asociadas a zonas de cantera hacia el costado nor-oriental de la zona rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza. Pueden presentar rellenos localizados de 2 a 3 metros de espesor aproximadamente utilizados para el desarrollo urbanístico del sector.

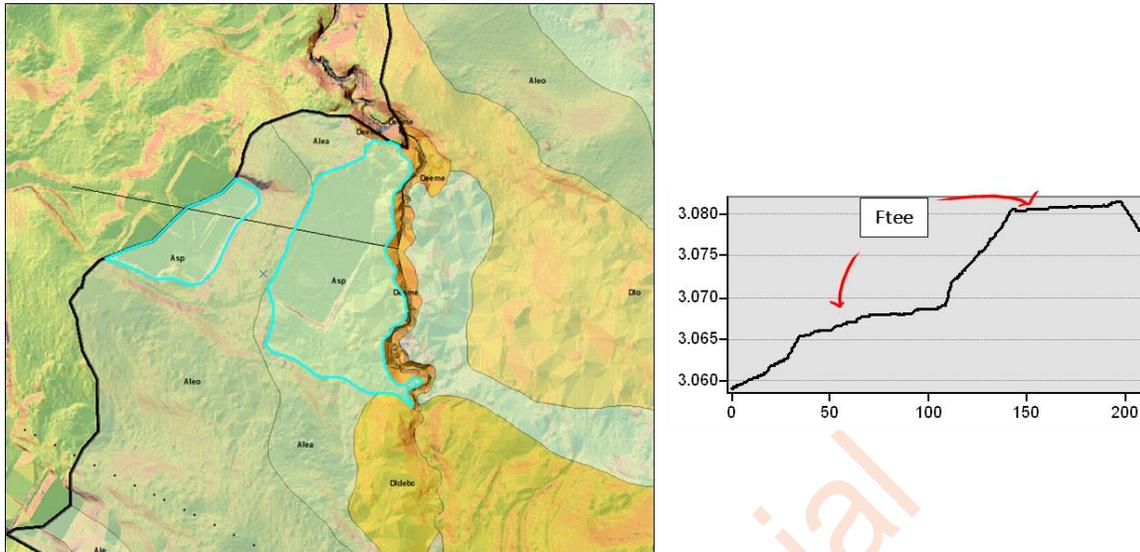


Figura 41. Vista en planta y perfil topográfico de Superficie de explanación (Asp)

7.2.2.5 Elementos geomorfológicos de origen glacial

Se incluyen al interior de este ambiente, geformas resultantes de la acumulación y el desplazamiento de masas glaciares o dinámica glacial, que genera geformas erosionales, residuales, deposicionales o de acumulación y geformas fluvio-glaciales, mediante la acción de procesos erosivos y de transporte (desgaste, abrasión, plucking). En el área rural de la cuenca de la quebrada Chiguaza se identifican geformas características asociadas a los depósitos glaciales de la formación Rio Siecha, ocupando un total de 9.41% de incidencia en al área de estudio.

7.2.2.5.1 Planos y conos de sobrelavado glacial (Gpcs)

Planos suavemente inclinados de longitud larga a muy larga (500-2500 metros) y recta localizados más allá del margen glacial definido por las morrenas terminales. Se constituyen de material glacial (arenas y gravas) depositado por corrientes fluviales generadas por deshielo glacial. Los conos de sobrelavado glacial comprenden una serie de mantos de sedimento en forma de abanico de extensión kilométrica y suave inclinación, que se asocian a los depósitos pertenecientes a la formación Rio Siecha que discurren desde laderas escarpadas localizadas al oriente del área rural de la cuenca. Son susceptibles a presentar procesos de erosión hídrica y reptación, además de la incidencia antrópica que debilita estos materiales no consolidados, generando procesos de inestabilidad (subsistencia).

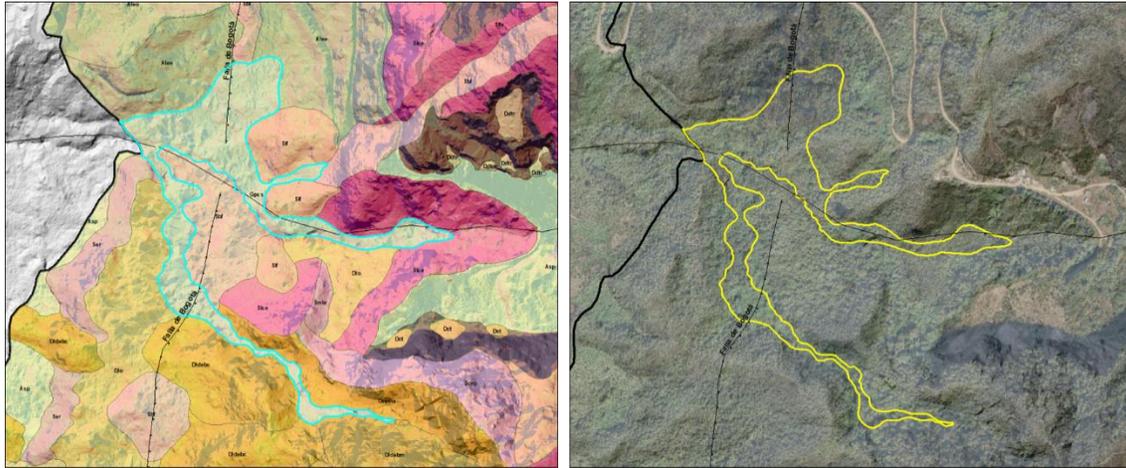


Figura 42. Vista en planta de Planos y conos de sobrelavado glaciar (Gpcs) sobre modelo de pendientes y ortomosaico

7.2.2.5.2 Valle glacial (Gvg)

Geoforma que corresponde a valles rectos y anchos en forma de U, con laderas cortas (50-250 m), de inclinaciones moderadas (11° a 20°), abruptas a escarpadas (15° a 45°) y formas cóncavas; con bloques de roca remanentes sobre la superficie, de formas angulares a subredondeadas y tamaños de orden métrico. Estos valles se originan por la presión lateral ejercida por una masa de hielo que labra y pule sus paredes. Se localiza sobre el límite sur-oriental de la zona rural de la cuenca, asociados a procesos erosivos de origen periglacial.

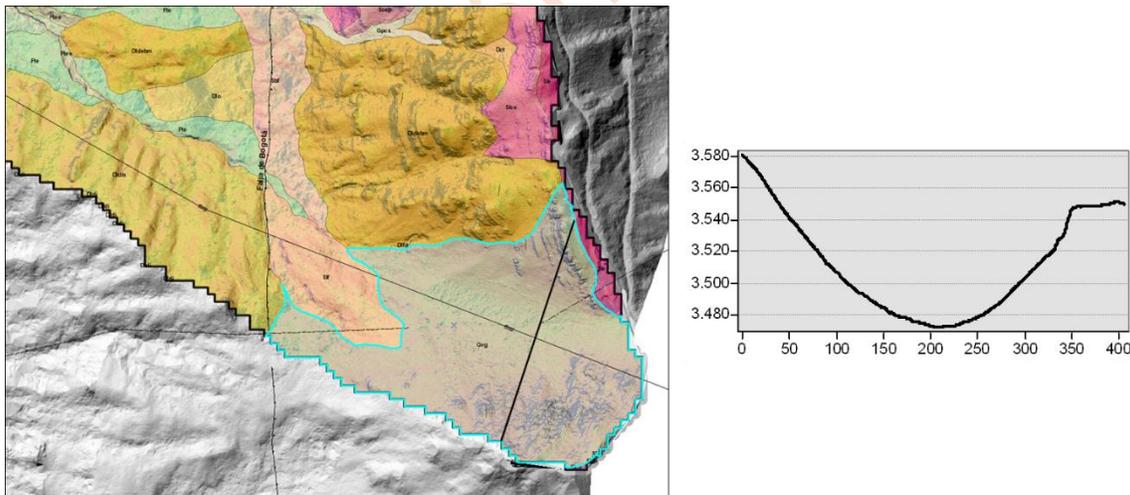


Figura 43. Vista en planta y perfil topográfico de Valle glacial (Gvg)

7.2.3 Morfodinámica

Se refiere a la dinámica exógena relacionada con la actividad de los agentes como el viento, agua, hielo y la acción de la gravedad terrestre, que modifica las geoformas existentes. Los procesos hacen referencia a los cambios físicos y químicos (meteorización, erosión y deposición), que generan modificación de los materiales y las formas superficiales de la

tierra, definiendo un equilibrio dinámico de las geoformas (Carvajal, 2012). De manera que, el análisis de procesos morfodinámicos y la elaboración de un inventario permite comprender la influencia de los diferentes factores involucrados en la generación de movimientos en masa.

7.2.3.1 Antecedentes

Se analizaron los procesos morfodinámicos descritos en diagnósticos técnicos elaborados por el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (IDIGER) para el área de estudio y con corte a octubre de 2022, con el fin de conocer la localización y los tipos de movimientos en masa más recurrentes en el área de estudio, agentes detonantes, materiales involucrados y las geoformas asociadas. De acuerdo con los diagnósticos analizados, los procesos de los cuales se tiene registro, corresponden con movimientos en masa de tipo caída y deslizamiento tal como se puede ver en la Tabla 11; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los cuales se asocian generalmente a las propiedades intrínsecas de los materiales involucrados (composición, textura), además de la incidencia de procesos erosivos hídricos y superficiales debido a la intensa disección que se presenta sobre las laderas orientales del área de estudio.

Tabla 11. Diagnósticos Técnicos emitidos por el IDIGER para el área rural de la cuenca Chiguaza

Diagnóstico Técnico	Año	Ubicación	Descripción	Tipo de movimiento
16484	2021	Lote La Primavera. Sector Tibaque. San Cristóbal	Desarrollo de deslizamiento de tipo rotacional, que involucran hasta 200m ³ de material	Deslizamiento
10769	2017	Altos del Zuque. San Cristóbal	Desarrollo de deslizamiento de tipo rotacional, depresiones y hundimientos	Deslizamiento
7720	2014	Tanque de almacenamiento. Barrio Ciudad Londres. San Cristóbal	Inestabilidad en talud de corte realizado para el emplazamiento de tanque de agua	Deslizamiento
15124	2020	La Gloria. San Cristóbal	Desarrollo de procesos erosivos y caída de rocas. Serranía El Zuque	Caída de rocas
4079	2009	Cantera El Zuque	Desprendimientos y caída de bloques por pérdida de soporte	Caída de rocas

Tal como se puede apreciar en la Figura 44, los movimientos en masa de tipo deslizamiento se encuentran distribuidos principalmente sobre el costado occidental del área rural en donde encontramos el contacto entre las areniscas friables de alta porosidad de la formación Cacho y los materiales lodosos (arcillolitas y areniscas lodosas) pertenecientes a las formaciones Guaduas y Bogotá sobre las que se han depositado los materiales de origen fluvioglaciario pertenecientes a la formación Rio Siecha, naturalmente susceptibles a presentar fenómenos de inestabilidad debido a su carácter inconsolidado. Sumado a lo anterior, vemos como la intensa disección de drenajes rectos asociados dan lugar a la formación de paisajes de lomeríos denudacionales y estructurales en los que es habitual encontrar el desarrollo de movimientos en masa de tipo rotacional como los que se registran en los antecedentes consultados. En cuanto a los movimientos en masa de tipo caída, según la fotointerpretación y cartografía de los materiales rocosos aflorantes, es posible asociar los mismos con el carácter frágil de las areniscas cuarzosas de la formación Arenisca Dura, sobre las que se han implementado actividades de extracción minera que

debilitan los materiales y generan depósitos de bloques y detritos sobre la base de las laderas como los que se identificaron en el sector aledaño a la quebrada El Zuque hacia el costado nor-oriental de la zona rural de la cuenca Chiguaza.

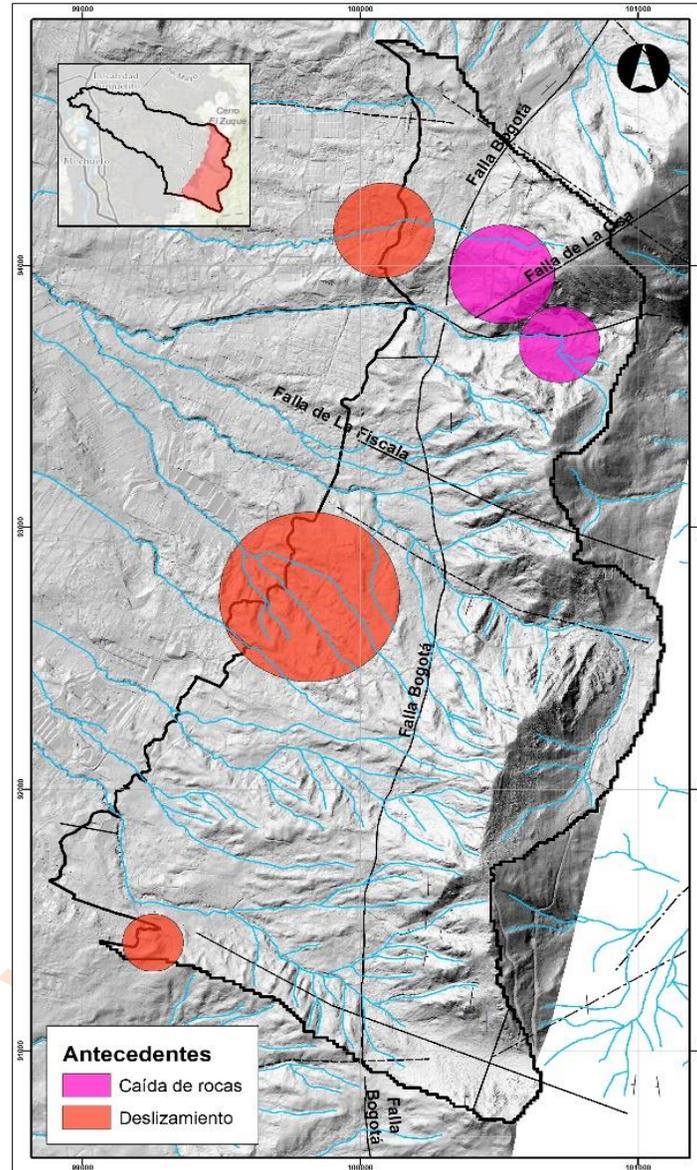


Figura 44. Antecedentes y tipos de movimientos en masa documentados en la zona rural de la cuenca Chiguaza

7.2.3.2 Inventario de movimientos en masa

El inventario de procesos morfodinámicos representa un insumo fundamental en la modelación de zonificación por movimientos en masa y por ende la obtención de resultados de calidad, por lo que es de vital importancia recopilar toda información existente a partir de la fotointerpretación de insumos digitales y su correspondiente verificación en campo, que permita obtener información relevante como su ubicación, clasificación, actividad, fecha del proceso, entre otros, además de establecer las posibles relaciones existentes entre cada

tipo de movimiento y los materiales geológicos sobre los que se han desarrollado y como los paisajes geomorfológicos influyen también en la generación de cierto tipo de fenómenos. En este estudio se generó un inventario de procesos morfodinámicos siguiendo los lineamientos planteados de la Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa (SGC, 2017).

A continuación, en la Tabla 12, se muestra cada tipo de movimiento, así como su área de afectación en la zona rural de la cuenca Chiguaza.

Tabla 12. Área afectada y cantidad de movimientos en masa según el tipo y subtipo

Movimiento en masa		Cantidad	Área afectada (ha)
Tipo	Subtipo		
Caída	Caída de detritos	6	0,40
Deslizamiento	Deslizamiento traslacional	7	0,41
Flujo	Flujo de detritos	3	0,35

7.2.3.2.1 Caídas

Las caídas son un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Este tipo de movimientos en masa se encuentran generalmente asociados a zonas de pendientes escarpadas localizadas hacia el costado nor-oriental de la zona rural de la cuenca Chiguaza, las cuales están compuestas por rocas frágiles (areniscas cuarzosas) pertenecientes principalmente a la formación Arenisca Dura. Cabe resaltar que los depósitos encontrados asociados a este tipo de movimiento no representan actualmente alguna incidencia sobre sectores poblados dada su localización sobre las partes más altas de las laderas orientales.

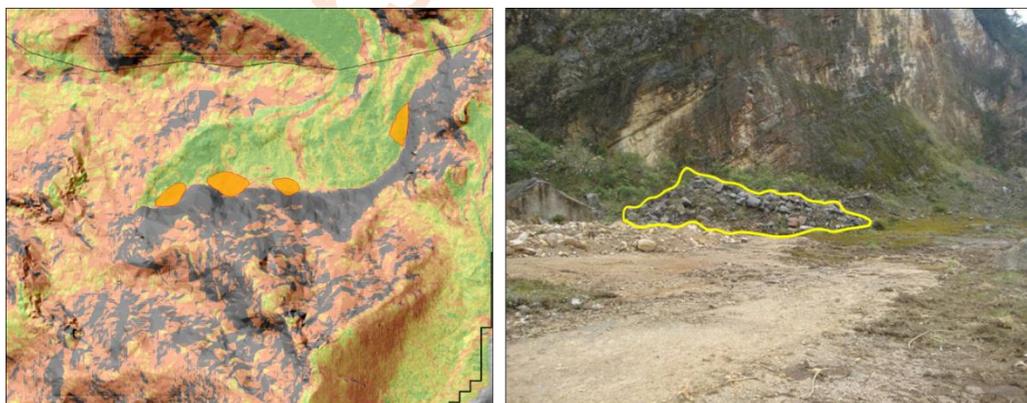


Figura 45. Caída de bloques de roca y detritos aledaños a la quebrada El Zuque

7.2.3.2.2 Deslizamientos

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los

deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. En el caso de la zona rural de la cuenca, se presentan principalmente deslizamientos de tipo traslacional en los que la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. Los anteriores se asocian generalmente a formaciones rocosas de contenido arenoso como Arenisca Dura y Cacho, las cuales se han visto afectadas por procesos erosivos de origen denudacional y estructural, como socavación lateral de los cauces y el aumento del fracturamiento de los macizos rocosos.

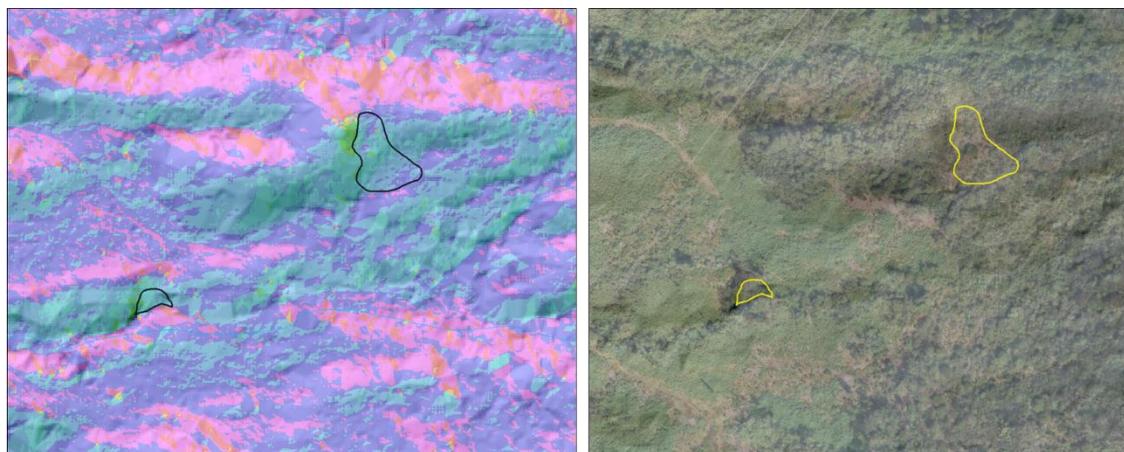


Figura 46. Movimientos en masa de tipo deslizamiento desarrollados sobre la ladera derecha de la quebrada Verejones

7.2.3.2.3 Flujos

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). En este caso se identificaron escenarios caracterizados por presentar trayectorias confinadas (canalizado), pendientes abruptas a escarpadas (15° - 45°) que siguen la dirección de los drenajes que discurren desde el costado oriental de la zona rural y que en algunos casos puede ocasionar la reactivación o movilización de antiguos depósitos de origen fluvio-glacial (Río Siecha).

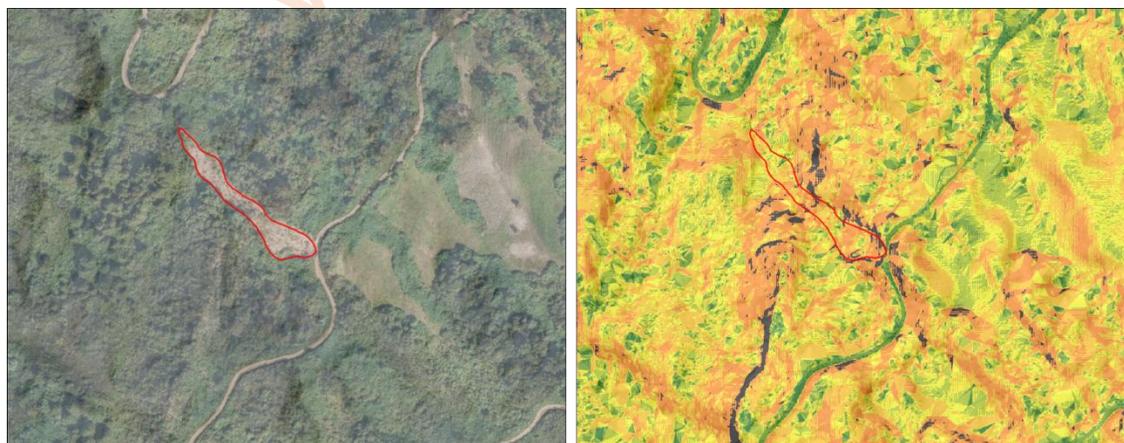


Figura 47. Movimiento en masa de tipo flujo asociado al curso de la quebrada Seca sobre ortomosaico y modelo de pendientes

En relación con la presencia de movimientos en masa al interior de la zona rural de la cuenca Chiguaza es posible concluir que los mismos se han desarrollado bajo ciertas condiciones hidro-morfológicas, la composición geológica de los materiales que los constituyen y la incidencia antrópica. Predominan los movimientos en masa de tipo caída y deslizamiento, asociados a zonas de pendientes escarpadas localizadas hacia el costado nor-oriental de la zona rural de la cuenca Chiguaza y escenarios caracterizados por presentar trayectorias confinadas (canalizado) que siguen la dirección de los drenajes que discurren desde el costado oriental de la zona rural y que en algunos casos puede ocasionar la reactivación o movilización de antiguos depósitos de origen fluvio-glaciar (Río Siecha).

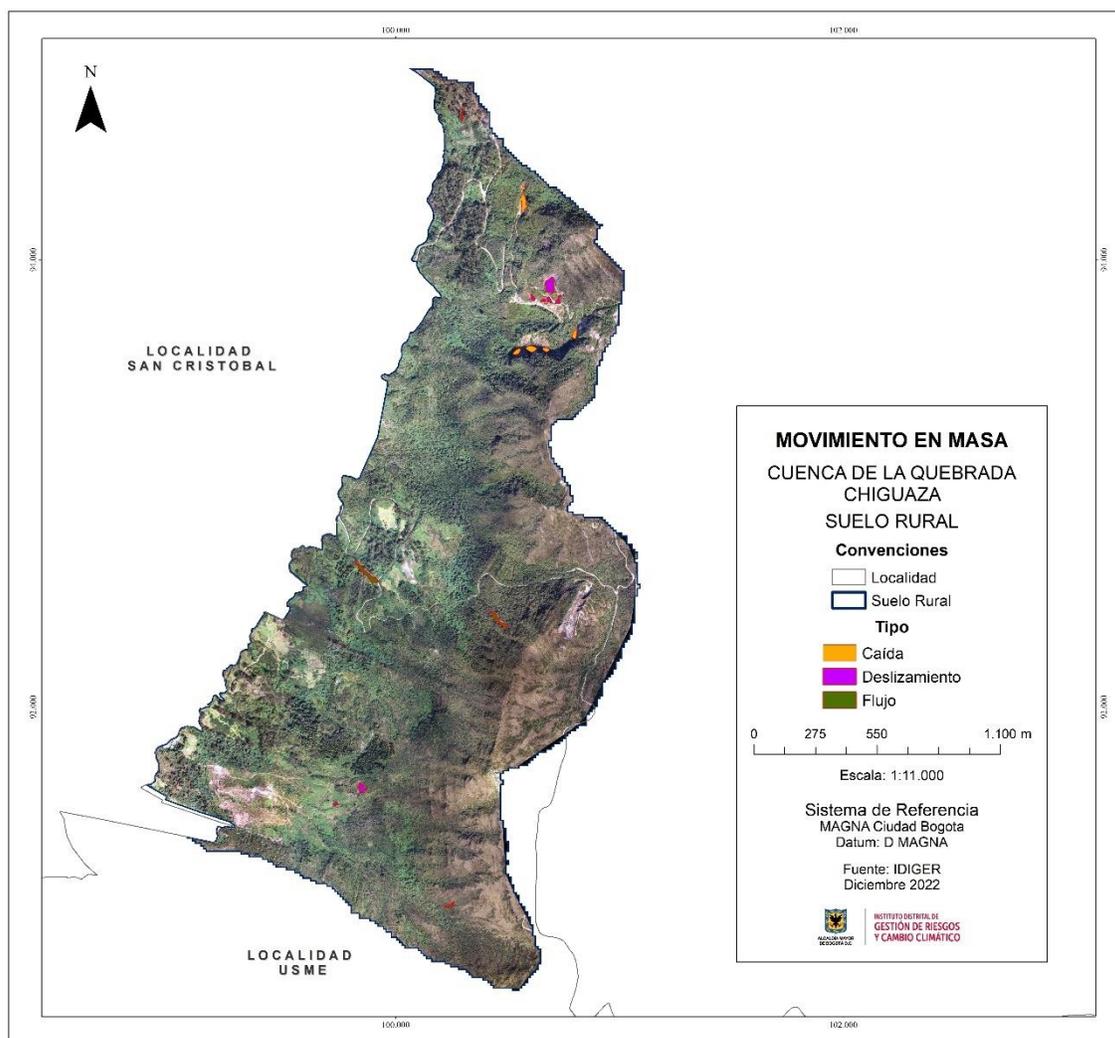


Figura 48. Movimiento en masa identificados en el área de estudio

7.3 HIDROGEOLOGIA

Para establecer las consideraciones hidrogeológicas es necesario conocer la geología, la exploración del subsuelo, la hidrología y el comportamiento climático del área de estudio. De acuerdo con la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza (SGC, 2015), los

aspectos hidrogeológicos se centran en la obtención de niveles freáticos como detonantes de movimientos en masa; sin embargo, se considera de gran importancia el análisis de las condiciones de permeabilidad de las unidades litoestratigráficas definidas para el área de estudio.

El IDIGER ha realizado estudios detallados en zonas limítrofes entre la zona urbana y rural de la quebrada Chiguaza, donde se han establecido características hidrogeológicas para las unidades geológicas y se realizan otros análisis detallados que han permitido la determinación de los niveles de agua. Dentro de ellos se resalta el estudio denominado “Diseño detallado de obras de mitigación de riesgo por movimientos en masa en la urbanización Ciudadela Santa Rosa, en la localidad de San Cristóbal en Bogotá D.C”, en el cual se elaboró un modelo hidrogeológico detallado de un perfil típico del área que junto a una red de piezómetros y un análisis numérico, permitió inferir la interrelación de comportamiento lluvias – acuíferos – nivel piezométrico.

De dichos modelos se establece que en los escenarios extremos, los niveles de agua equivalentes a nivel piezométrico o “superficie libre” estaría ubicada *“a pocos centímetros de la superficie, con abatimientos locales en los cortes más notorios, y se agudiza en las épocas de altas precipitaciones”*. Estos análisis presentan similares características a los elaborados en el sitio Moralba y Altos del Virrey.

Así entonces, dadas la influencia de las estructuras geológicas en los materiales que han generado alto fracturamiento, la disposición de las formaciones rocosas en contrapendiente, la ubicación de materiales meteorizados, suelos residuales y flujos localizados en las áreas topográficas más bajas, así como el origen arcilloso de la formación ubicada en la parte baja de la ladera, que se traducen en materiales permeables entre capas acuíferas, se considerará que los suelos se encuentran totalmente saturados para los análisis de estabilidad.

7.4 EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL

En el área de estudio no existen obras de captación para la recolección del agua lluvia de escorrentía superficial. Las vías de acceso no cuentan con sistema de drenaje tipo cunetas, que permitan la evacuación controlada y rápida de las aguas de escorrentía, factores que facilitan la saturación de los materiales presentes en la zona, los cuales son susceptibles a la alteración y degradación.



Figura 49. Evidencia de la inexistencia de obras hidráulicas de captación en las vías de acceso.

Esta ausencia de obras de drenaje generar que los procesos de escorrentía e infiltración se generen de forma combinada, generando flujos de agua superficiales y subsuperficiales, los cuales son considerados para efectos de los modelos como niveles de agua piezométrica. Es importante resaltar que en el territorio no se presentan vertimientos o intervenciones de los flujos de agua diferentes a las vías, por lo que el régimen natural no ha sido de forma significativa.

7.5 SISMOLOGIA

En la Figura 50 se muestra la respuesta sísmica establecida para el área de estudio de acuerdo con el Decreto 523 de 2010, en la cual es posible apreciar que existen dos zonas de respuesta sísmica, que corresponden con cerros y depósitos de ladera. Adicionalmente, se realizó revisión a los insumos para el parámetro sísmo presentados en el anexo técnico No. 1A de Estudios Básicos “Amenaza por movimientos en Masa para la zona Rural” (IDIGER, 2021), en el cual se aclara que se realizó revisión al valor de la aceleración sísmica para la Bogotá y se estableció que los valores del coeficiente de aceleración son los siguientes para el área de estudio:

- Para la zona sísmica cerros, el coeficiente de aceleración A_a es 0.18 g
- Para depósitos de ladera, el coeficiente de aceleración A_a es 0.22 g

De acuerdo con el documento mencionado en el valor de aceleración A_a se han incluido los factores locales topográficos, toda vez que el valor de base para Bogotá es $A_a=0.15g$ y se multiplica por el valor defactor de amplificación local y topográfica incorporado en la norma.

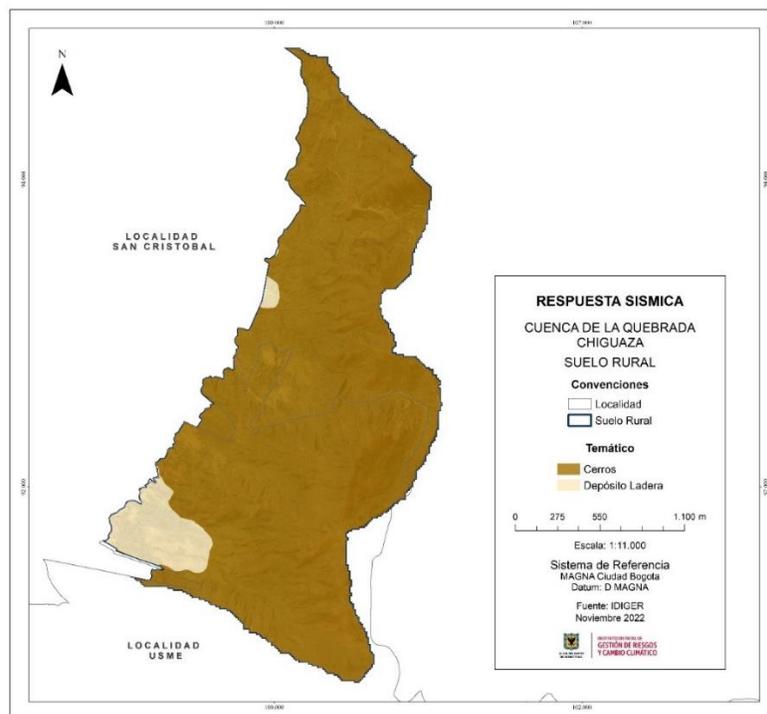


Figura 50. Respuesta Sísmica

7.6 COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal es un factor condicionante para la ocurrencia de movimientos en masa, debido a que tiene efectos sobre los niveles de infiltración en el terreno y la sobrecarga en el mismo. Es importante tener en cuenta la relación entre la cobertura y las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo.

La clasificación de la cobertura se desarrolló utilizando la base de datos de CORINE Land Cover adaptada para Colombia (CLC) que permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat) y ortofotomosaicos para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas (IDEAM, 2017). La leyenda nacional de las coberturas de la tierra del país se encuentra a escala 1:100.000, lo que quiere decir que el nivel de detalle de la descripción de las coberturas llega a un nivel 3, coherente con escalas cartográficas pequeñas a medianas, que se encuentran entre el rango de 1: 1.000.000 a 1: 25.000.

Para el caso específico de este estudio, la escala de trabajo corresponde a una escala pequeña, que requiere de una clasificación más precisa, la cual fue ajustada basada mediante visitas de campo de verificación y ajuste cartográfico. De acuerdo con lo anterior, se muestra en la Figura 51 el resultado de la clasificación de cobertura del suelo obtenida para el área de estudio.

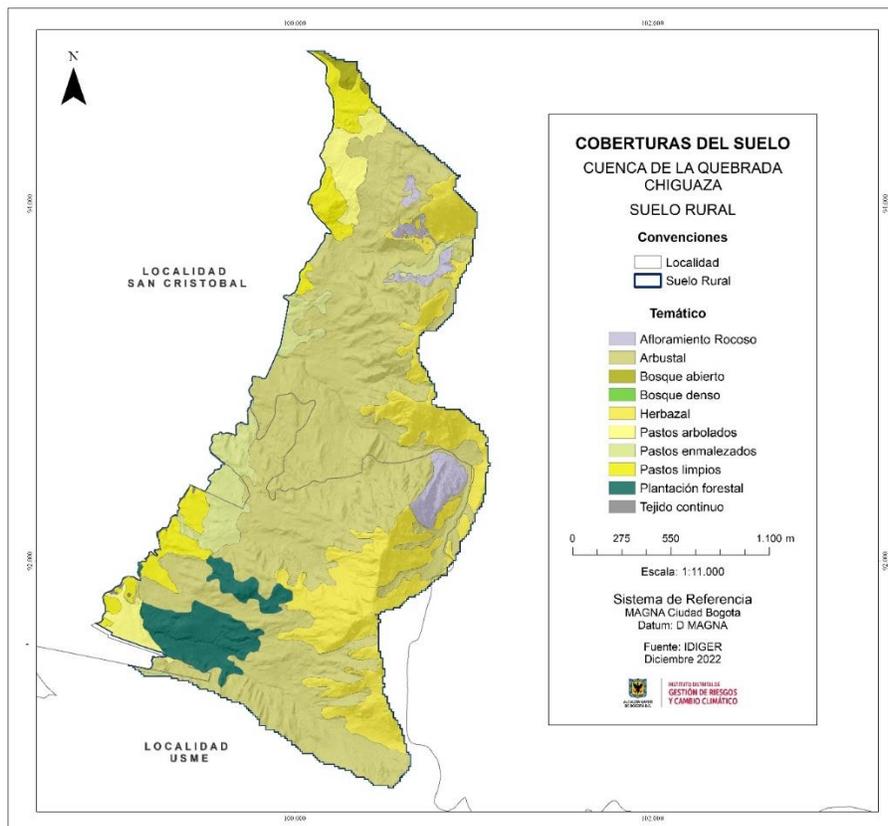


Figura 51. Mapa de cobertura del suelo para el área de estudio

En la Tabla 13 se muestran las áreas correspondientes a cada una de las coberturas identificadas en el área de estudio.

Tabla 13. Áreas y porcentajes de las coberturas de la zona rural Cuenca Chiguaza

CÓDIGO	COBERTURA	ÁREA (m2)	PORCENTAJE(%)
312	Bosque abierto	22843,28	0,55
233	Pastos enmalezados	228017,74	5,44
232	Pastos arbolados	145175,39	3,47
311	Bosque denso	519,45	0,01
332	Afloramiento Rocosos	114510,18	2,73
322	Arbustal	2398527,29	57,26
321	Herbazal	807713,94	19,28
111	Tejido continuo	3955,38	0,09
315	Plantación forestal	234012,60	5,59
231	Pastos limpios	233446,23	5,57

Fuente: IDIGER, 2022

7.7 USO DEL SUELO

El uso del suelo es la utilidad que presta la cobertura al ser humano. El término uso se aplica al empleo o aprovechamiento cíclico o permanente que da el ser humano a los diferentes tipos de cobertura para satisfacer sus necesidades. Por lo tanto, se entiende que el uso del suelo apunta a la producción de bienes y servicios para la población.

Utilizando la información obtenida en el numeral anterior para las coberturas del área de estudio, se procedió a encontrar la relación entre el uso del suelo y la unidad de cobertura, de acuerdo con lo establecido en la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000.

Tabla 14. Áreas y porcentajes de uso del suelo en la zona rural Cuenca Chiguaza

USO DEL SUELO	ÁREA (m2)	PORCENTAJE(%)
Forestal - Conservación	4070255,92	97,17
Residencial*	3955,38	0,09
Áreas naturales sin uso	114510,18	2,73

*Nomenclatura basada en la Guía SGC, 2017

7.8 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

La exploración del subsuelo desarrollada en el marco de la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas para la cuenca de la quebrada Chiguaza fue ejecutada bajo el Contrato de Consultoría 226 de 2021 de IDIGER.

La exploración del subsuelo incluyó exploración directa con la ejecución de sondeos, apiques y exploración indirecta mediante líneas de refracción sísmica MASW. Adicionalmente se realizó el muestreo de tamaños de lecho y se ejecutaron pruebas de

infiltración para la determinación de la conductividad hidráulica saturada de los materiales principalmente para la modelación hidrológica de la cuenca. En la Tabla 15 se resumen la exploración del subsuelo realizada para el área total de la cuenca de la quebrada Chiguaza (rural y urbana).

Tabla 15. Exploración del subsuelo realizada para la cuenca de la quebrada Chiguaza

TIPO	CANTIDAD
Sondeos	14
Apiques	77
Líneas de Refracción	3

La ubicación de la exploración del subsuelo realizada para la Cuenca de la quebrada Chiguaza se presenta en la Figura 52, en la que se puede identificar la distribución de los puntos de exploración.

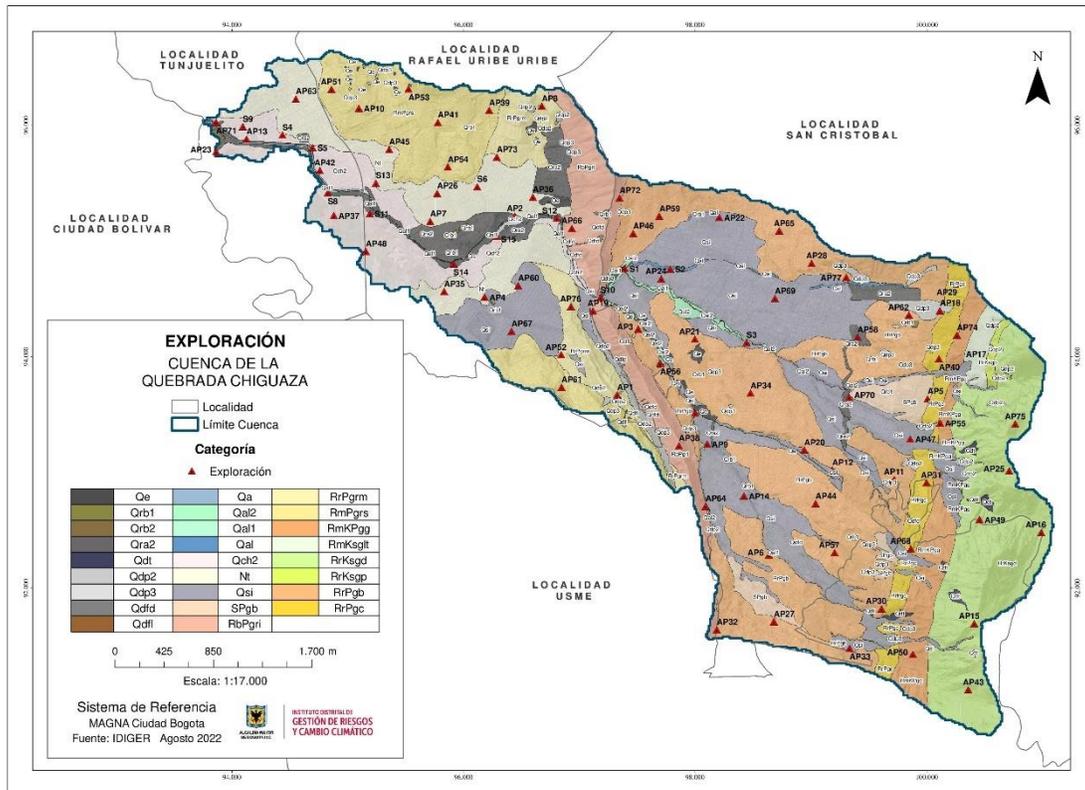


Figura 52. Ubicación de la exploración del subsuelo ejecutada en la cuenca de la quebrada Chiguaza.

En la zona de estudio se cuenta con la información de 16 apiques realizados en el marco del proyecto de caracterización de la Cuenca de la quebrada Chiguaza. (Ver Figura 53)

Adicionalmente, se realizó la revisión de la exploración geotécnica realizada en los siguientes estudios teniendo en cuenta que están ubicados en los alrededores del área de estudio:

- Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar la ladera donde se encuentran los barrios Altos del Virrey y Moralba, Localidad de San Cristóbal.
- Estudio de riesgos por movimientos en masa para el barrio Moralba.
- Diseño detallado de obras de mitigación de riesgo por movimientos en masa en la Urbanización Ciudadela Santa Rosa en la localidad de San Cristóbal.

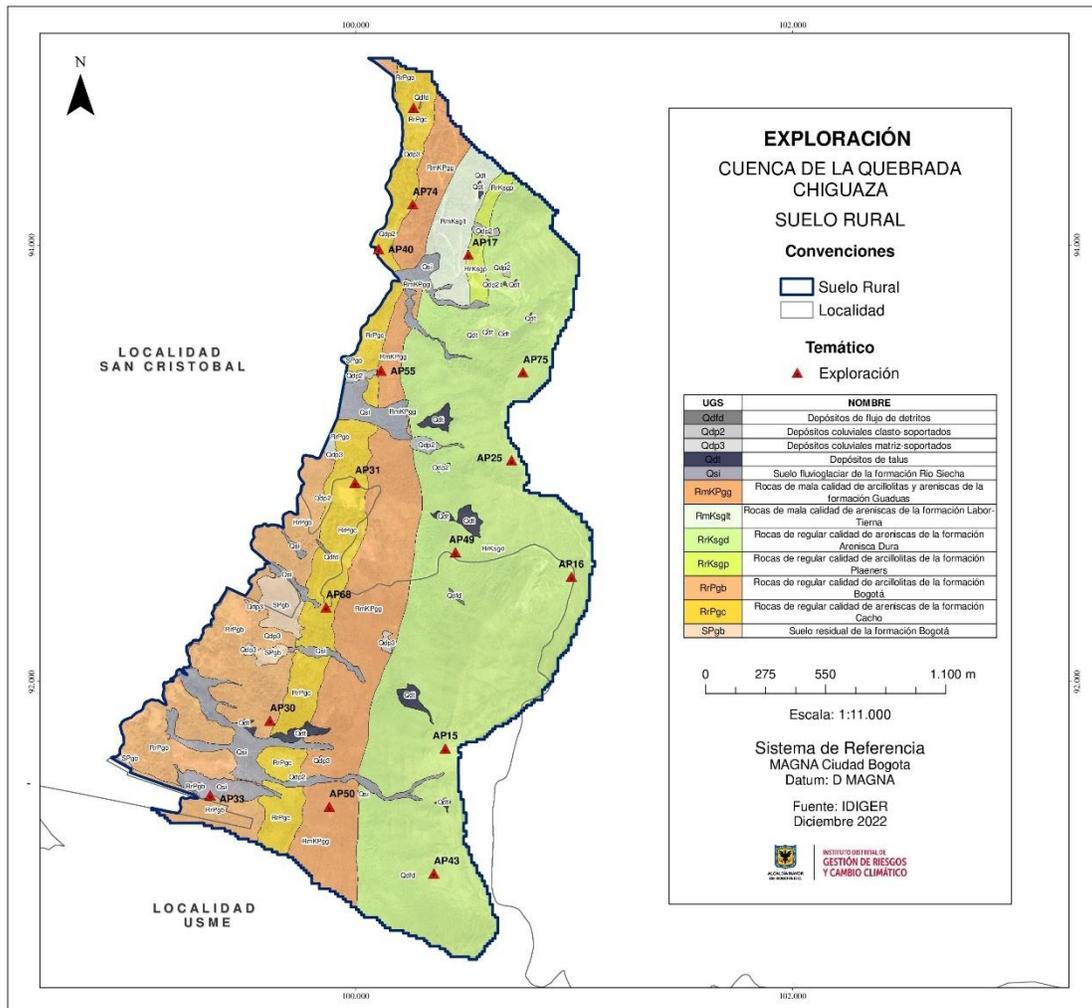


Figura 53. Ubicación de la exploración del subsuelo en el área de estudio.

7.8.1 Parámetros Geotécnicos

La información de la exploración geotécnica realizada en el área urbana de la quebrada Chiguaza se tuvo en cuenta en los análisis realizados, toda vez que las unidades geológicas

son las mismas en toda el área de la cuenca y que existe una mayor densidad de exploración.

En la Tabla 16 se recopilan los valores medios de los parámetros de resistencia de los materiales identificados en área de estudio producto de los resultados de laboratorio de la exploración realizada y de información recopilada de estudios antecedentes de estudios existentes en la entidad y que se ubican dentro de la cuenca de la quebrada Chiguaza.

Tabla 16 Parámetros de resistencia suelos para análisis de estabilidad

ID	UGS	COHESIÓN	PESO UNITARIO	FRICCIÓN
		(Kpa)	(kg/m3)	(°)
1	Depósito de talus	14,5	1870	29,0
2	Depósitos coluviales clasto-soportados	14	1870	29,0
3	Depósitos coluviales matriz-soportados	18	2000	28,5
4	Depósitos de flujo de detritos	16	1730	26,0
5	Suelo fluvioglaciario de la formación Río Siecha	12,74	1400	15,6
6	Suelo residual de la formación Bogotá	5,88	1850	23
7	Rocas de mala calidad de arcillolitas y areniscas de la formación Guaduas	12	1980	33,0
8	Rocas de mala calidad de areniscas de la formación Labor-Tierna	20	1750	21,5
9	Rocas de regular calidad de areniscas de la formación Arenisca Dura	28	1950	31,0
10	Rocas de regular calidad de arcillolitas de la formación Plaeners	22	1780	26,0
11	Rocas de regular calidad de arcillolitas de la formación Bogotá	30	2100	26,2
12	Rocas de regular calidad de areniscas de la formación Cacho	20	2040	24,0

7.9 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

Para el área de estudio se cuenta con el Modelos Digital de Terreno (DTM) y de Superficie (DTS), generados a partir de la captura y procesamiento de datos LIDAR con malla regular de 50 cm. Formato .TIFF. (Ver Figura 7).

8. DETONANTES DE LA AMENAZA

A continuación, se identifican los detonantes presentes en el área de estudio.

8.1 PRECIPITACIÓN

La obtención de los umbrales de lluvia se realiza mediante el uso de los modelos hidrológico e hidráulico ya calibrados anteriormente. Para poder realizar la definición de estos se lleva a cabo la simulación de una serie de tormentas de diseño. Para la obtención de estas es necesario el cálculo de las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) de las estaciones ubicadas en la cuenca. La obtención de la curva IDF se realiza con los aguaceros más intensos, de los cuales se tiene registro en el periodo de funcionamiento de cada una de las estaciones ubicadas en la cuenca de la quebrada Chiguaza. Para el área de estudio la estación más cercana es la ubicada en Moralba.

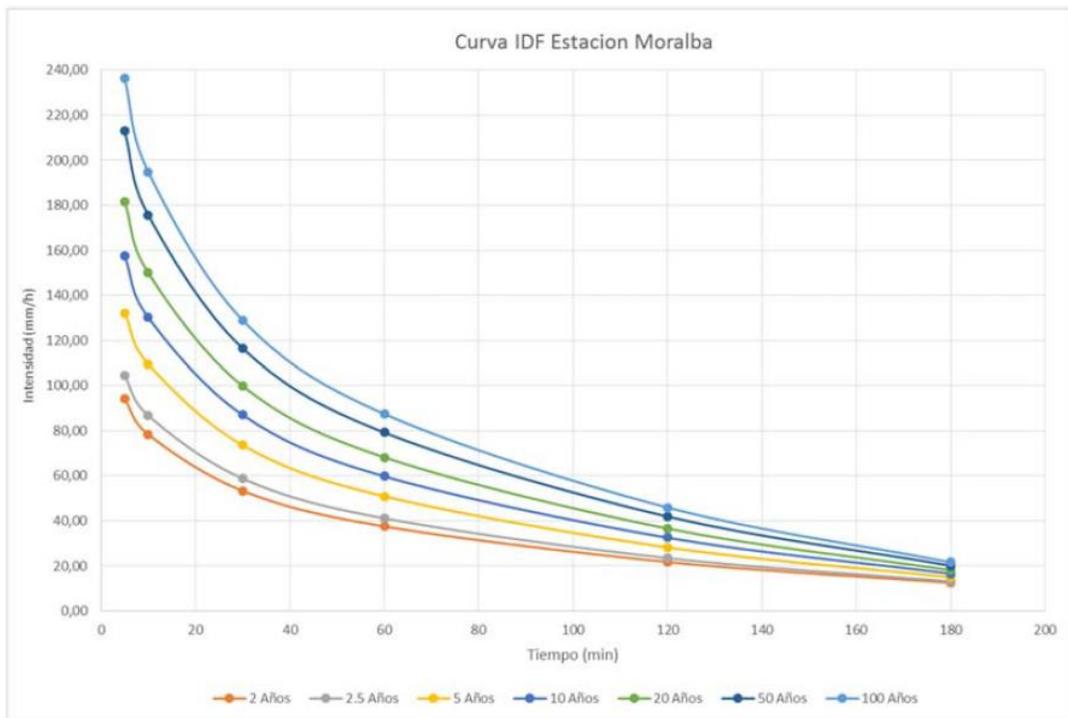


Figura 54. Curva IDF Estación Moralba.

Fuente: (Montaña, 2015)

Para el área de estudio se estima que la precipitación media anual es de 1430 mm. (IDIGER,2019).

Para el análisis de la amenaza a escala 1:5000 se requiere estimar la profundidad del nivel freático correspondiente a una lluvia con periodo de retorno de 20 años tal como se indica en la guía de amenaza por movimientos en masa del SGC a través de la formulación mostrada a continuación:

$$P_{f20} = (\bar{P}_f - 1,65 CV P_f) - (I_{120} * 24)$$

Donde:

P_{f20} : corresponde a la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años de periodo de retorno, en milímetros.

\bar{P}_f : corresponde a la profundidad media del nivel freático, en milímetros.

CVP_f : corresponde a la desviación estándar asignada a la variación del nivel freático, expresada en términos del coeficiente de variación de los acumulados anuales de precipitación infiltrada.

I_{i20} : corresponde a la intensidad de la lluvia infiltrada diaria para un periodo de retorno de 20 años, de acuerdo con las curvas IDF, en milímetros por hora

Como resultado, la profundidad del nivel freático correspondiente a una lluvia con periodo de retorno de 20 años corresponde 47.36cm.

8.2 SISMO

La información relevante para este detonante fue descrita en el numeral 7.5.

9. ANÁLISIS DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

9.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR TALUD INFINITO

De acuerdo con la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (Servicio Geológico Colombiano, 2016), para determinar el factor de seguridad de cada unidad de trabajo, definido por la malla y las columnas de suelo obtenidas. En el caso de la amenaza en unidades de suelo, se debe aplicar la ecuación de factor de seguridad para talud infinito en cada una de las celdas de trabajo. Dicha ecuación de factor de seguridad se presenta a continuación:

$$FS = \frac{(c' b \sec \alpha + (\gamma b h \cos \alpha - k \gamma b h \sin \alpha - \gamma_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \Phi')}{\gamma b h \sin \alpha + k \gamma b h \cos \alpha}$$

Donde

c' y Φ' : Parámetros de resistencia del suelo con base en la columna de suelo, en términos de esfuerzos efectivos.

γ : Peso unitario del suelo.

b : Ancho de la tajada (ancho de la celda).

h : Altura de suelo por encima de la superficie potencial de deslizamiento.

γ_w : Peso unitario del agua.

h_w : Altura de la lámina de agua, determinada a partir del nivel freático correspondiente a una lluvia de 20 años de periodo de retorno.

α : Ángulo de inclinación de la superficie de falla.

k : Coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 100 años.

Los parámetros c' y $\tan(\Phi')$ deben ser los valores medios obtenidos de ensayos de laboratorio para la unidad geotécnica definida. La profundidad de la superficie de falla se

toma como la profundidad del suelo o la profundidad hasta el contacto entre dos unidades de diferente comportamiento mecánico. El ángulo α se puede asumir como el ángulo de la superficie del terreno en la celda. Seguidamente se ilustran los parámetros antes indicados (Figura 55).

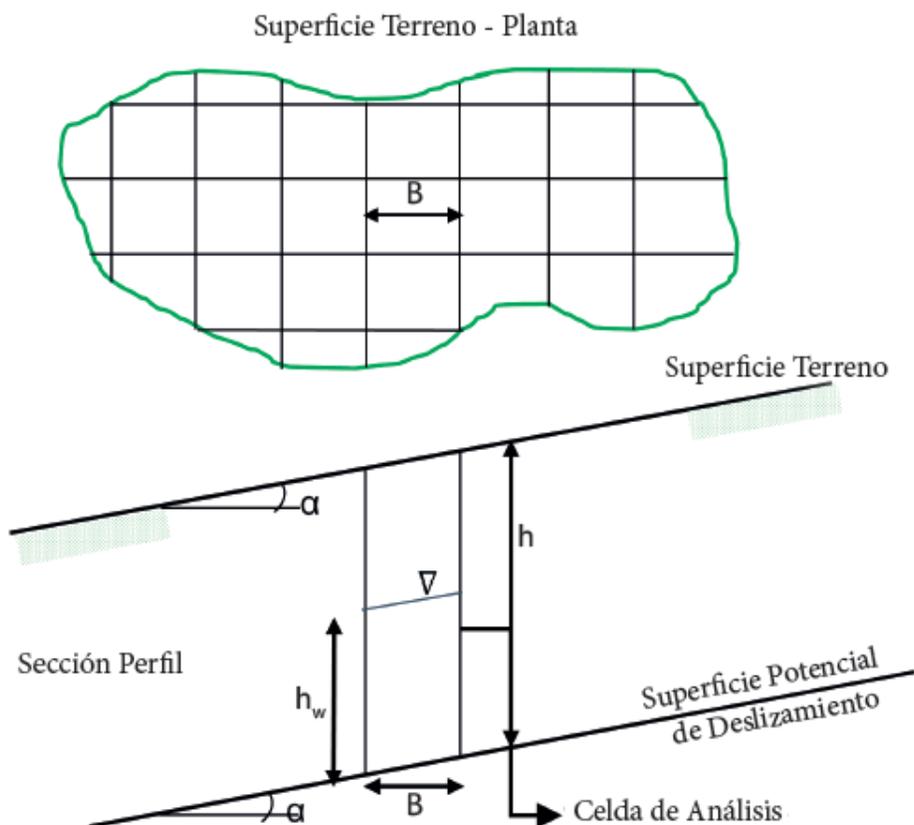


Figura 55. Parámetros para análisis de amenaza básica en unidades tipo suelo.

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

Como resultado, se obtuvieron los factores de seguridad en toda la zona rural y se clasifican de acuerdo a los criterios de clasificación de amenaza.

9.1.1 Escenarios de análisis

Las modelaciones de estabilidad se hacen para los siguientes escenarios:

- Condición normal: sin sismo y agua promedio
- Condición futura intermedia: sin sismo y agua máxima (saturación)
- Condición futura intermedia : con sismo y agua normal
- Condición extrema: con sismo y agua máxima (saturación).

9.1.2 Criterios de Clasificación de amenaza

La clasificación de amenaza se define con base en el factor de seguridad a los que se asocian valores de categorías de amenaza de acuerdo con Resolución 111 de 2022, mostrada en la Tabla 19 y Tabla 18.

Tabla 17. Categorización de la Amenaza por Rangos de Factor de Seguridad (FS) – Condición Normal.

Categoría de Amenaza	Factor de Seguridad
<i>Amenaza Baja</i>	$FS \geq 1.50$
<i>Amenaza Media</i>	$1.10 \leq FS < 1.50$
<i>Amenaza Alta</i>	$FS < 1.10$

Fuente: IDIGER 2022

Tabla 18. Categorización de la Amenaza por Rangos de Factor de Seguridad (FS) – Condición Extrema.

Categoría de Amenaza	Factor de Seguridad
<i>Amenaza Baja</i>	$FS \geq 1.1$
<i>Amenaza Media</i>	$1.00 \leq FS < 1.1$
<i>Amenaza Alta</i>	$FS < 1.00$

Fuente: IDIGER 2022

9.1.1 Resultados

En las tablas 19 a 21 se presenta los resultados porcentuales por cada uno de los escenarios planteados.

Tabla 19 Resultados de Amenaza con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Critico (Sismo y Agua)

No.	AMENAZA	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ALTA	105.39	25.17%
2	MEDIA	302.39	72.24%
3	BAJA	10.79	2.59%

Tabla 20 Resultados de Amenaza con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Con Sismo y Sin Agua

No.	AMENAZA	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ALTA	101.01	24.13%
2	MEDIA	300.99	71.91%
3	BAJA	16.57	3,96%

Tabla 21 Resultados de Amenaza con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Sin Sismo y Con Agua

No.	AMENAZA	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ALTA	92.84	22.18%
2	MEDIA	307.52	73.47%
3	BAJA	18.21	4.35

Tabla 22 Resultados de Amenaza con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Sin Sismo y Con Agua

No.	AMENAZA	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ALTA	94.52	22.58%
2	MEDIA	305.97	73.10%
3	BAJA	18.08	4.32

10. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

De acuerdo con los resultados de las modelaciones de estabilidad en la Figura 56 se presenta el resultado de la condición de amenaza en modelo determinístico.

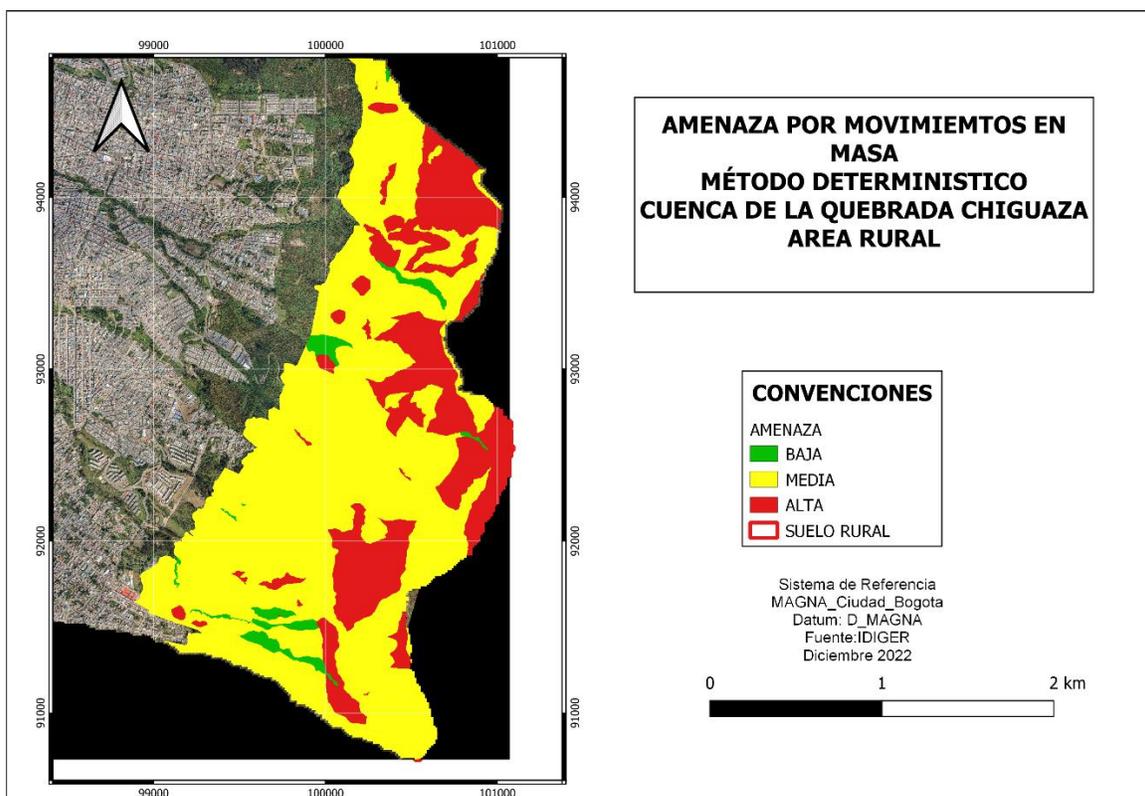


Figura 56 Zonificación de amenaza – modelo determinístico

11. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD

Para este análisis fue necesario considerar los insumos de información cartográficos para la generación del mapa de susceptibilidad por movimientos en masa y se definió lo siguiente:

- La variable dirección de laderas no se tiene en cuenta debido a que depende de la variable pendiente (inclinación de laderas).
- La variable uso del suelo no se tiene en cuenta dado que como se explicó en el numeral 7.7, un alto porcentaje (97.17%) del área de estudio corresponde con uso forestal y/o conservación, así que esta variable tiende a ser una constante
- Se tienen en cuenta las variables: geología para ingeniería, geomorfología y pendientes.

Las variables geología y geomorfología han sido ampliamente explicadas en este documento. A continuación, se presentan los resultados del análisis de las variables pendiente y dirección de ladera.

Posteriormente, se explicará la asignación de puntajes para indicar el grado de contribución a la inestabilidad del terreno para luego mediante la suma de los puntajes de los factores obtener como resultado un mapa de valores numéricos que se puede dividir por intervalos para definir zonas con distintos niveles de susceptibilidad

11.1.1 Morfometría

Se presentan los análisis de pendientes y direcciones de ladera (aspectos) obtenidos del modelo digital del terreno disponible para la cuenca. La morfometría permite comprender características relevantes del terreno respecto a la geometría y estabilidad.

11.1.1.1 Pendientes

Se define como la inclinación de laderas respecto a un plano horizontal, permitiendo así obtener una categorización del terreno en rangos comunes. Para realizar el análisis se delimitó la zona de estudio tomando el modelo digital del terreno. En la Figura 19 se puede observar el mapa con los resultados de la discretización del terreno en función de la pendiente para la zona rural cuenca Chiguaza. Los rangos utilizados para la clasificación se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23 Rangos de clasificación pendiente área de estudio

Pendiente	Inclinación ladera
Plano a suave	<5°
Inclinada	5° - 10°
Muy Inclinada	10° - 15°
Abrupta	15° - 20°
Muy Abrupta	20° - 30°
Escarpada	30° - 45°
Muy Escarpada	>45°

11.1.1.2 Direcciones de laderas

De manera similar a la pendiente, se obtuvieron las direcciones de laderas para el área de estudio. En la Figura 57 se puede observar el mapa con los resultados de la discretización del terreno en función de las direcciones de laderas.

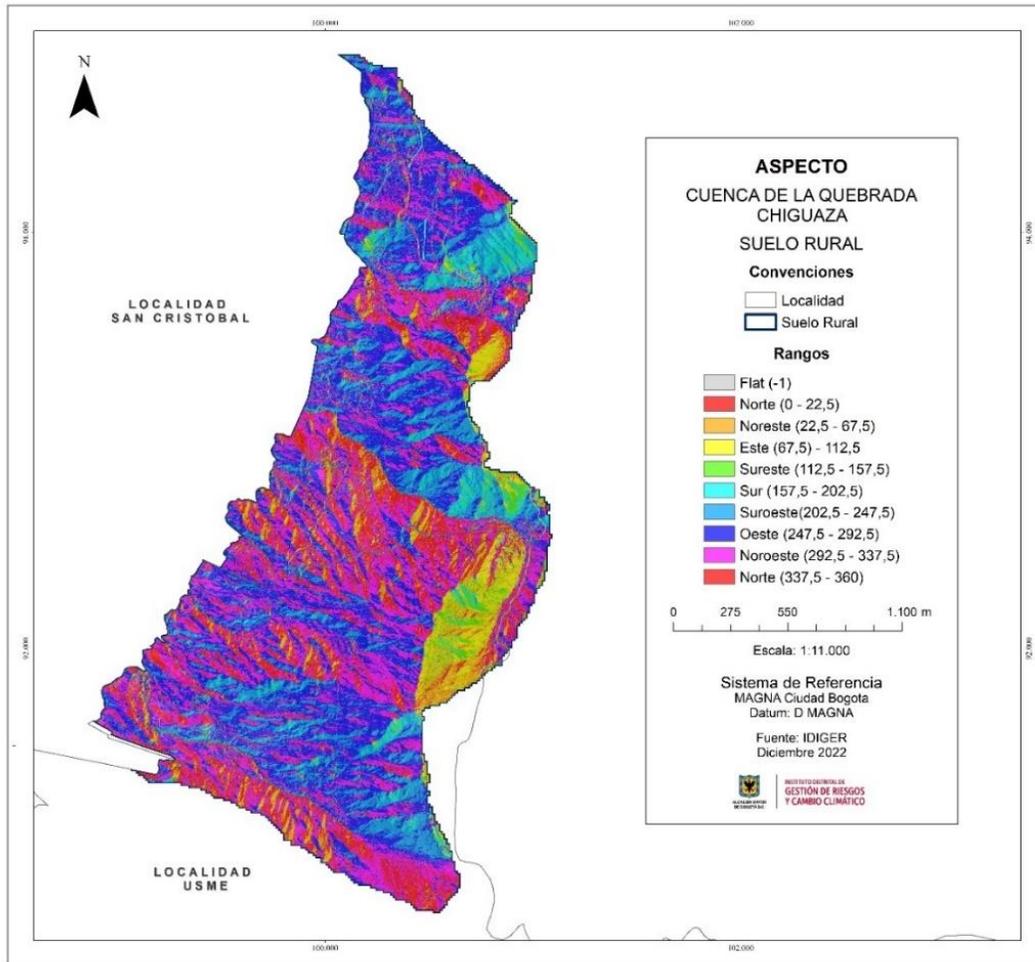


Figura 57 Mapa de direcciones de ladera para la zona rural de la Cuenca Chiguaza

Como se explicó anteriormente esta variable no se tendrá en cuenta en el análisis. Sin embargo, se incluye en el presente documento teniendo en cuenta que puede aportar información cualitativa en la toma de decisiones posteriores.

11.2 CARACTERIZACIÓN POR VARIABLE

Consiste en establecer un sistema de estandarización subjetivo, dado que las variables originales se expresan en unidades de medida diferentes, con rangos diferentes y con una amplia gama de interpretación en función de la representatividad. Para cada variable geográfica se analizaron las diferentes propiedades que afectan las laderas y según su importancia se establecieron pesos (Método de ponderación de parámetros) a los factores

considerados, expresándolos cualitativamente con el peso de ponderación para cada uno en el potencial de afectación en la estabilidad de la ladera entre 1 y 3, donde 3 indica la más alta influencia sobre la susceptibilidad y 1 la menor influencia, valores adoptados según conocimiento empírico. En la Tabla 24 se muestra cada una de las variables analizadas, sus correspondientes factores y la escala de calificación de cada uno de ellos (pesos).

Tabla 24. Peso para cada factor

VARIABLES	FACTORES	PESO
Pendiente	<5°	1
	5° - 10°	1
	10° - 15°	1
	15° - 20°	2
	20° - 30°	2
	30° - 45°	3
	>45°	3
Geología	Roca de regular calidad de arcillolitas y areniscas lodosas de la formación Bogotá	2
	Roca de regular calidad de cuarzoarenitas de la formación Cacho	2
	Rocas de mala calidad de arcillolitas y areniscas de la formación Guaduas	2
	Rocas de mala calidad de areniscas friables de la formación Labor-Tierna	1
	Rocas de regular calidad de arcillolitas de la formación Plaeners	2
	Rocas de regular calidad de areniscas de la formación Arenisca Dura	2
	Suelo fluvioglaciario de la formación Rio Siecha	2
	Depósitos coluviales clasto-soportados	2
	Depósitos coluviales matriz-soportados	2
	Depósitos de flujo de detritos	3
	Depósitos de talus	3
	Suelo residual de la formación Bogotá	2
	Geomorfología	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción
Cono de talus		3
Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional		3
Escarpe de erosión menor		2
Lomo denudado bajo de longitud corta		2
Lomo denudado bajo de longitud media		2
Ladera denudada		2
Lomeríos disectados		2
Ladera disectada		2
Cono o lóbulo de flujo de detritos		2
Ladera ondulada		2
Terraza o berma de fallamiento		3
Contraescarpe		2
Escarpe de roca		1

VARIABLES	FACTORES	PESO
	Ladera de contrapendiente escarpada	1
	Ladera estructural	2
	Lomo de falla	2
	Escarpe de línea de falla	2
	Lomeríos estructurales	2
	Terraza de erosión	2
	Escarpe de terraza de erosión	2
	Canteras	3
	Ladera explanada	2
	Ladera explanada abrupta	2
	Ladera explanada escarpada	2
	Ladera explanada ondulada	1
	Superficie de explanación	1
	Planos y conos de sobrelavado glaciar	3
	Valle glaciar	3

Los resultados se fundamentan en la generación de tres mapas de susceptibilidad a movimientos en masa según cada variable de análisis y finalmente la generación del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en el cual se hace el cruce de cada variable según el porcentaje de incidencia de cada variable, este proceso se realizó mediante Qgis.

Los porcentajes de incidencia subjetivos fueron definidos de la siguiente manera luego de realizar varias iteraciones. (Ver Tabla 25)

Tabla 25. Incidencia de Factores

Parámetro	Factor de Incidencia
Pendiente	25%
Geología	30%
Geomorfología	45%

Finalmente se calcula el mapa con la herramienta Raster Calculator como la suma de cada variable en su formato ráster multiplicado por su factor de incidencia y se procede a reclasificar el ráster y se asigna una escala igual de clasificación entre 3 categorías para cada valor de susceptibilidad a movimientos en masa.

11.3 ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

La zonificación de susceptibilidad se presenta en la Figura 58, donde se puede observar que la mayor parte del área de estudio se encuentra en susceptibilidad media, seguido por alta y baja.

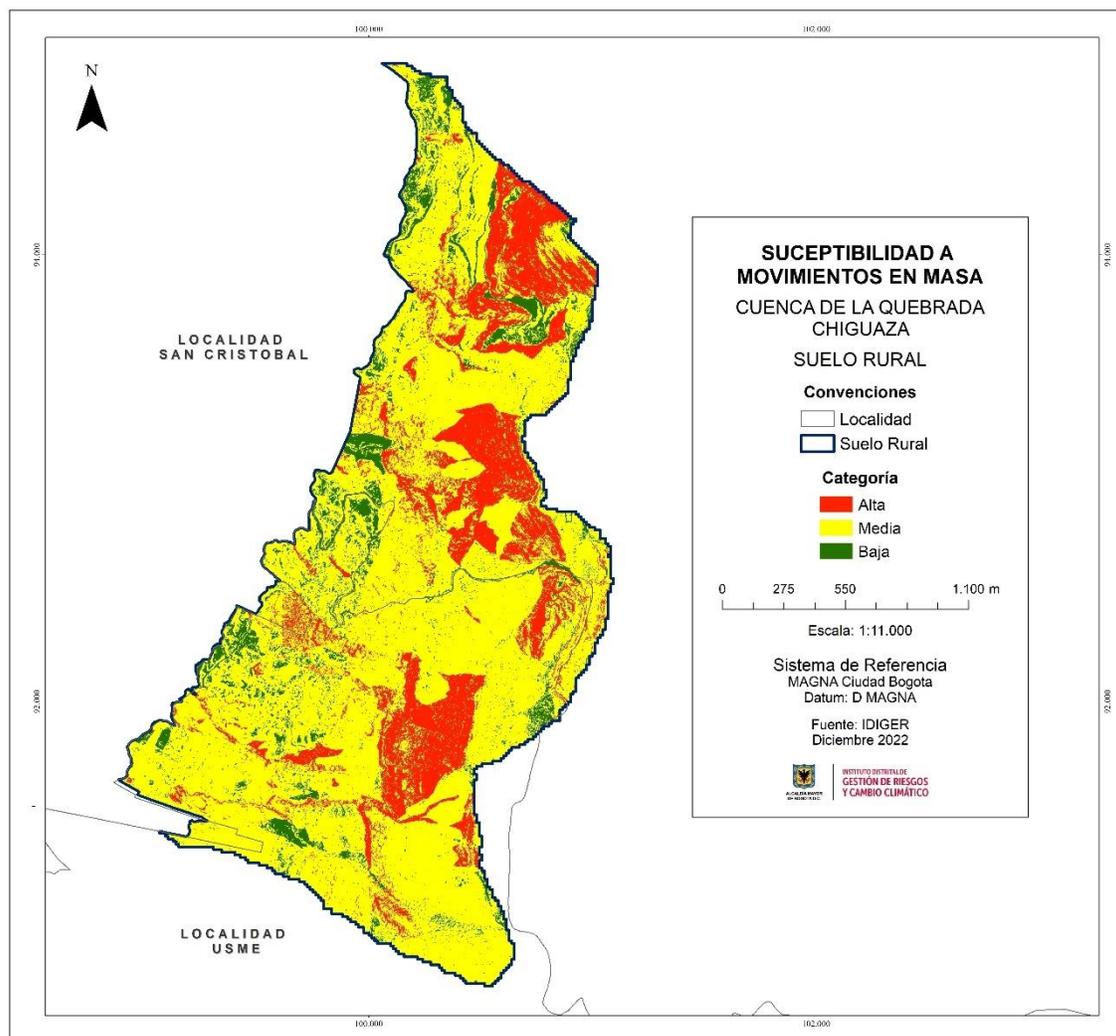


Figura 58. Zonificación de Susceptibilidad a Movimientos en la zona de estudio.

12. EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN SUELO RURAL

Una vez realizado el análisis por el método de talud infinito en un sistema de información geográfica (SIG), en el cual se utilizaron los valores de las propiedades mecánicas de los materiales identificados en el área de estudio para los escenarios mostrados en el numeral 9.1.2, se establecen las áreas asociadas a cada categoría de amenaza que corresponden directamente con los rangos de variación del factor de seguridad establecidos en la Resolución 111 de 2021. Las áreas obtenidas para cada escenario y su correspondiente porcentaje se muestran en el numeral 10.1.2 (Tablas 19 a 21).

Seguidamente se desarrollaron geoprocursos a través de herramientas SIG sobre las capas de uso del suelo, cobertura, geología y geomorfología, resultado que permite obtener cartografía secundaria generada a partir de la combinación de los mapas iniciales y realizar diversas comparaciones que representen las variables y factores involucrados.

Adicionalmente, se tiene en cuenta la capa de movimientos en masa que corresponde con los procesos activos identificados mediante fotointerpretación y verificados mediante visita de campo.

De acuerdo con los resultados de las modelaciones de estabilidad, el análisis geomorfométrico, los insumos existentes y la identificación de campo se presenta la zonificación de amenaza por movimientos en la Figura 59 y en la Tabla 26 se presentan las descripciones de las categorías de amenaza definidas en el área de estudio.

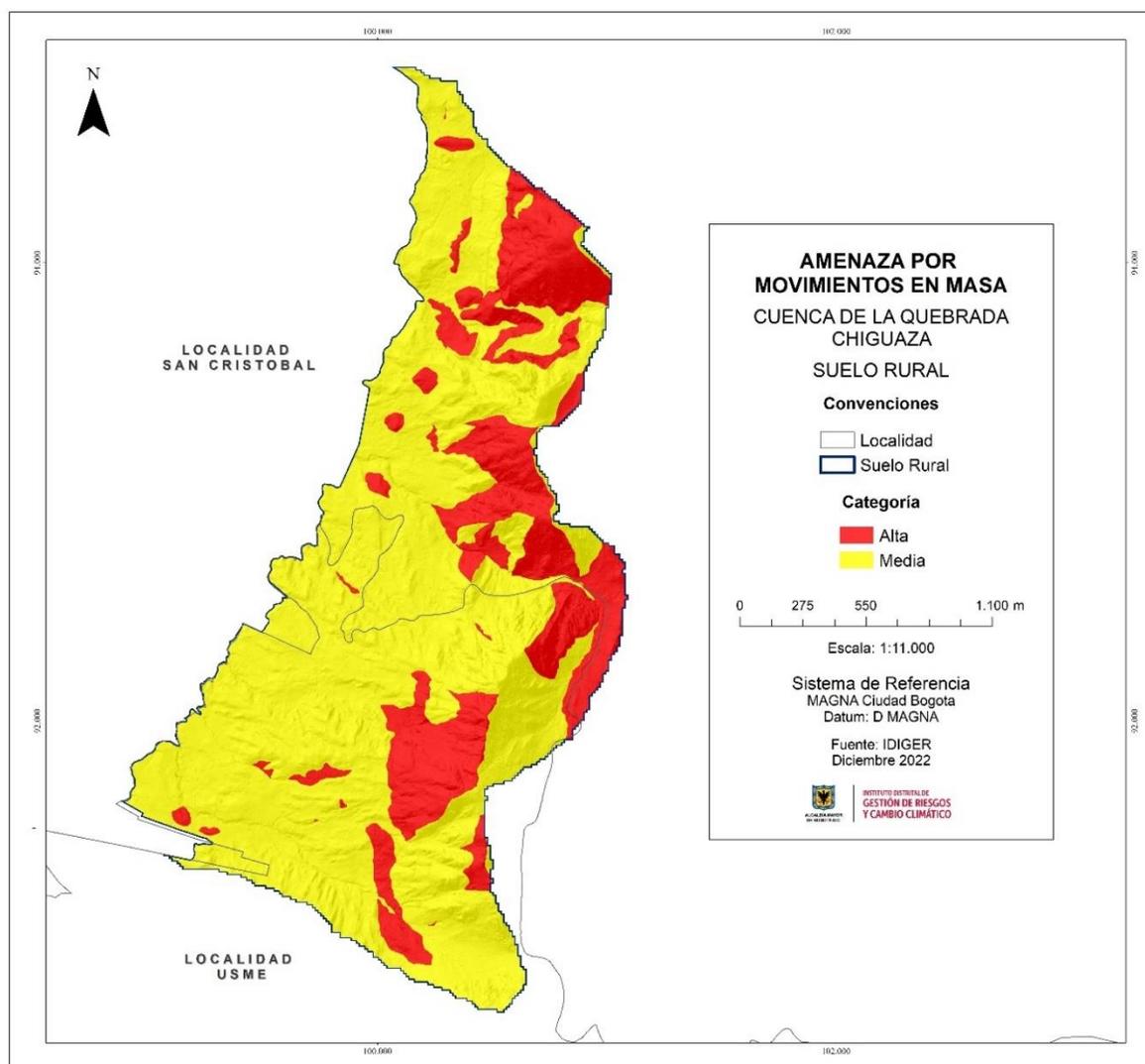


Figura 59. Categoría de amenaza por movimiento en masa.

Tabla 26. Leyenda de la categorización de la Amenaza

CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN
Media	Áreas de pendientes menores a 30°, susceptibilidad media, con uso del suelo en general de conservación y/o forestal, con cobertura vegetal que incluye bosques y pastos arbolados con presencia de depósitos fluvioglaciares, rocas blandas o intermedias y fracturamiento medio a alto, que combinadas con una incidencia media de la precipitación generan un escenario de estabilidad intermedio.
	Zonas que actualmente no evidencian movimientos en masa activos pero que presentan una susceptibilidad media de inestabilidad de las laderas, en algunos casos con presencia de procesos erosivos desde moderados hasta intensos.
Alta	Áreas de pendientes que varían entre escarpadas y muy escarpadas, con uso del suelo en general de conservación y/o forestal, con cobertura vegetal que incluye bosques y pastos arbolados con presencia de depósitos fluvioglaciares, rocas blandas o intermedias y fracturamiento medio a alto, que combinadas con la presencia de la Falla de Bogotá y la Falla de La Fiscala contribuyen a incrementar la susceptibilidad de los materiales presentes en la zona a generar procesos de inestabilidad.
	Zonas que actualmente presentan movimientos en masa activos y zonas con alta susceptibilidad de inestabilidad de las laderas. Presentan una incidencia alta a moderada de los factores detonantes lluvia, sismo. Se destaca la presencia de zonas de antigua explotación minera y flujos asociados a la intervención antrópica derivada de la construcción de las vías de acceso

De acuerdo con los resultados obtenidos la categorización de amenaza por movimientos en masa para el área de estudio corresponde con amenaza media y alta.

13. MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO

Con el fin de mantener las condiciones de amenaza se recomienda:

- Para las vías de acceso implementar estructuras de captación para la recolección del agua lluvia de escorrentía superficial, que permitan la evacuación controlada y rápida de las aguas de escorrentía, factores que facilitan la saturación de los materiales presentes en la zona, los cuales son susceptibles a la alteración y degradación.
- Mantener el uso del suelo que se tiene en la gran mayoría del área de estudio, con la finalidad que el arbolado proteja el subsuelo de infiltraciones mayores, teniendo en cuenta la magnitud de la precipitación del sector y la susceptibilidad de los materiales presentes en la zona.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el presente documento técnico se realizan las siguientes recomendaciones:

- ✓ Para adelantar obras de infraestructura por parte de las entidades competentes, se deberán tener en cuenta los antecedentes y la calificación de amenaza de la zona a intervenir y los sectores aledaños, definida en el presente documento, las cuales en concordancia con el Artículo 32 del Decreto Distrital 172 de 2014, se deben efectuar con base en estudios técnicos específicos acordes a las intervenciones previstas y realizar los análisis de riesgos que incluyan las medidas de prevención y mitigación, con el propósito de garantizar la funcionalidad y estabilidad de dichas obras y evitar la afectación de las condiciones físicas del sector. Así mismo, deberán velar por la implementación de la gestión del riesgo en el ámbito de sus competencias sectoriales y territoriales, conforme al Parágrafo del Artículo 44 de la Ley 1523 de 2012.
- ✓ Se recomienda a las entidades del Distrito, desde su competencia, complementar obras de infraestructura que contribuyan con el mejoramiento integral del sector, entre las que se encuentran la pavimentación de vías y construcción de obras de drenaje para el manejo de aguas lluvias y de escorrentía superficial.
- ✓ Conforme con el Artículo 38 de la Ley 1523 de 2012, respecto a la *Incorporación de la gestión del riesgo en la inversión pública*, el cual establece: “*Todos los proyectos de inversión pública que tengan incidencia en el territorio, bien sea a nivel nacional, departamental, distrital o municipal, deben incorporar apropiadamente un análisis de riesgo de desastres cuyo nivel de detalle estará definido en función de la complejidad y naturaleza del proyecto en cuestión*”, dicho análisis deberá ser considerado desde las primeras etapas del proyecto, es decir, desde su formulación, con el fin de prevenir la generación de riesgos e impactos negativos sobre el territorio. En este sentido se recomienda a la Alcaldía Local de San Cristóbal, conforme a sus responsabilidades, realizar el seguimiento al plan de mantenimiento para las intervenciones que se realicen en un escenario prospectivo, con el fin de garantizar su correcta operación y funcionamiento como medida de reducción del riesgo implementada en este sector.
- ✓ Dado el deficiente manejo del drenaje superficial existente, es necesario garantizar que las obras viales y de captación se mantengan en buenas condiciones para evitar la aparición de procesos erosivos que puedan facilitar la infiltración de estas aguas al subsuelo.

15. ANEXOS

- ANEXO 1 – ANTECEDENTES TECNICOS
- ANEXO 2 – CARTOGRAFIA
- ANEXO 3 – MAPAS INTERMEDIOS
- ANEXO 4 – FIGURAS
- ANEXO 5 - GDB

16. BIBLIOGRAFÍA

- IDIGER. (2021). *DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE - Anexo 13 Gestión del riesgo y cambio climático en el ordenamiento territorial.*
- Decreto 523 de 2010—Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C, (2010).
- Decreto Número 1807 de 2014, Pub. L. No. Decreto Número 1807 de 2014 (2014).
http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/SRR/decreto_1807_19_%20septiembre_2014.pdf

Versión Inicial