BOGOTÁ

DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE

"ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:5000 PARA EL SUELO RURAL DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA LIMAS DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR"

Versión Inicial

Elaborado por:

Francisco Salas Torres - fjsalas@idiger.gov.co

Revisión por:

Diana Moreno Moreno - dimoreno@idiger.gov.co

Supervisión por:

Carolina Castañeda Jiménez - acastaneda@ 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 10
2. OBJETIVOS 10
2.1 OBJETIVO GENERAL 10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10
3. LOCALIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO 10
4. METODOLOGÍA 13
5. REVISIÓN DE INFORMACIÓN ANTECEDENTE / INSUMOS 2
5.1 INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO 2
5.1.1 POT - Decreto 555 de 2021 2
5.1.2 Diagnósticos de Asistencia Técnica 8
5.1.3 Conceptos Técnicos de Legalización y Regularización 9
5.1.4 Estructura Ecológica Principal 12
5.2 INSUMOS CARTOGRÁFICOS 13
5.3 INSUMOS TEMÁTICOS 15
5.4 NORMATIVIDAD 16
6. FACTORES INTRÍNSECOS 16
6.1 GEOLOGÍA 16
6.1.1 Geología estructural 17
6.1.2 Unidades Geológicas Superficiales (UGS) 19
6.1.3 Meteorización – Profundidad de suelo 34
6.1.4 Hidrogeología 37
6.2 ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS 37
6.2.1 Morfogénesis 38
6.2.2 Morfodinámica 51
6.2.3 Morfometría 53
6.3 COBERTURA DEL TERRENO Y USO DEL SUELO 56
6.3.1 Cobertura del terreno 56
6.3.2 Usos de suelo 64
7. CARACTERIZACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE LOS MATERIALES 67
7.1.1 Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio 67
7.1.2 Parámetros de los materiales 71
8. FACTORES DETONANTES 75

Versión Inicial

8.1 PRECIPITACIÓN 75
8.2 SISMO 79
8.3 ANTRÓPICO 80
8.4 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DETONANTES 82
9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 82
9.1 CONDICIONES DE NIVEL DE AGUA PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 83
9.1.1 Secciones de análisis 83
9.1.2 Modelación flujo de aguas subsuperficiales 85
9.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR TALUD INFINITO 94
9.2.1 Metodología de análisis 94
9.2.2 Resultados de análisis 95
9.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR EQUILIBRIO LÍMITE 97
9.3.1 Secciones de análisis 97
9.3.2 Metodología de modelación 100
9.3.3 Escenarios de análisis 101
9.3.4 Sección 1 - Sitio Caudal puntual 102
9.3.5 Sección 2 - Sitio Caudal puntual 103
9.3.6 Sección 3 - Sitio especial Bella Flor 104
9.3.7 Sección 4 105
9.3.8 Sección 5 106
9.3.9 Sección 6 107
9.3.10 Sección 7 108
9.3.11 Sección 8 - Cortes en Talud Vía Quiba 109
9.3.12 Factores de seguridad resumen 110
9.4 ANÁLISIS DE DISTANCIA DE VIAJE CAIDA DE ROCAS 111
9.4.1 Sección CR-A 114
9.4.2 Sección CR-B 114
9.4.3 Sección CR-C 115
10. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN SUELO RURAL 117
10.1.1 Categorización de amenaza 117
10.1.2 Resultado zonificación de amenaza 118
10.1.3 Contrastación con la susceptibilidad 121
11. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y MEDIDAS 124
12. LIMITACIONES 127

Versión Inicial

13. ANEXOS 127
14. BIBLIOGRAFÍA 128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de Suelos en la Cuenca de la Quebrada Limas de acuerdo al Decreto 555 de 2021. 11
Figura 2. Localización general polígonos suelo rural Cuenca Quebrada Limas, Localidad Ciudad Bolívar 12
Figura 3 Esquema metodológico zonificación de amenaza por movimientos en masa para suelo rural cuenca quebrada Limas. 1
Figura 4. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de acuerdo con el Decreto 555 de 2021. 3
Figura 5. Mapa de Áreas con Condición de Amenaza (ACA) por Movimientos en Masa. .. 5
Figura 6. Mapa de Áreas con condición de Riesgo por Movimientos en Masa. 6
Figura 7. Mapa de Suelos de Protección por Riesgo de la cuenca. 7
Figura 8. Mapa de Áreas Priorizadas para estudios por movimientos en masa en la cuenca de la quebrada Limas. 8
Figura 9 Predios con Diagnostico técnico en suelo rural cuenca Limas. 9
Figura 10 Concepto técnico – Barrios legalizados en suelo en rural cuenca limas. 10
Figura 11 Concepto técnico Legalización – Clasificación de la amenaza en suelo en desarrollo rural cuenca limas. 11
Figura 12 Concepto técnico Planes Parciales – Clasificación de la amenaza en suelo rural cuenca Limas 12
Figura 13 Tamaño de los modelos digitales del terreno: a) DTM LiDAR IDIGER b) DTM a partir de Curvas de Nivel 14
Figura 14 Modelo digital de terreno para toda la cuenca de la quebrada Limas 15
Figura 15. Geología estructural y direcciones preferenciales en la Cuenca Limas 17
Figura 16 Unidades Geológicas Superficiales UGS presentes en la zona rural de la cuenca 20
Figura 17. Rocas de mala calidad y suelos residuales de la formación Arenisca Dura. ... 23
Figura 18. Apariencia superficial y en perfil de los suelos residuales de la formación Labor-Tierna. 24
Figura 19. Panorámica de suelos residuales de la formación Plaeners (Sksgp) 25
Figura 20. Material residual de poco espesor asociado a la formación arenisca dura. 26
Figura 21. Apariencia en campo de depósitos aluviales de terraza matriz soportados (Qal1) 27
Figura 22. Suelos transportados de terraza fluviotorrencial conformando Terrazas “Colgadas” 28
Figura 23. Deposito coluvial clasto soportado (Qdp2) sobre macizo de mala calidad de la formación Plaeners 30
Figura 24. Depósitos de pendiente matriz-soportados (Qdp3) sobre las márgenes de la quebrada Peña Colorada. 30
Figura 25. Fotografía de detalle de la composición general de los suelos antrópicos 32
Figura 26. Frente de explotación minera artesanal, formación Plaeners. 33

Versión final

Figura 27 Localización sitios de medición de la profundidad del suelo en la cuenca de la quebrada Limas 35
Figura 28 Fotografías de algunos sitios de medición de la profundidad del suelo 36
Figura 29 Mapa distribución espacial de la profundidad del suelo (m) para suelo rural. ... 37
Figura 30. Mapa geomorfológico zona rural cuenca Limas 39
Figura 31. Terrazas colgadas (Dts) al costado derecho de la quebrada Limas (Cuervo Silva, 2021)..... 40
Figura 32. Panorámica de Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)..... 42
Figura 33. Morfología en planta y perfil de Planicie aluvial confinada (Fpac), desarrolladas a lo largo de la quebrada Peña Colorada sobre depósitos arcillosos de pendiente. 46
Figura 34. Morfología en planta, perfil y panorámica de Terraza de acumulación baja (Ftab), desarrolladas sobre el margen derecho de la quebrada Limas. Barrio Bella Flor. 47
Figura 35. Vista en planta de Canteras (Ac), sobre foto mosaico y modelo de sombras. . 48
Figura 36. Panorámica de Rellenos de escombros y/o escombreras (Are). 49
Figura 37. Panorámica de Rellenos de basuras o rellenos sanitarios (Arb) de compactación moderada, sobre el costado derecho de la quebrada Quiba. 49
Figura 38. Panorámica y vista en planta de Rellenos de basuras o rellenos sanitarios (Arb) recientes y sin compactación, costado izquierdo de la quebrada Quiba..... 50
Figura 39. Vista en planta, perfil y panorámica de Rellenos de basuras o rellenos sanitarios (Arb) recientes y sin compactación, costado izquierdo de la quebrada Limas, sector El Ensueño..... 50
Figura 40. Panorámica y vista en planta de Superficies de explanación (Asp). Fuente: (Cuervo Silva, 2021) 51
Figura 41 Mapa registro movimientos en masa suelo rural Cuenca Limas..... 52
Figura 42 Mapa de pendientes para la zona rural de la cuenca Limas..... 54
Figura 43 Mapa de direcciones de ladera para la zona rural de la Cuenca Limas..... 55
Figura 44 Cobertura del terreno en zona rural de la cuenca de la quebrada Limas 57
Figura 45 Distribución de la cobertura de suelo en la zona rural Cuenca Limas 59
Figura 46. Panorámica de algunas vías principales de la cobertura zonas construidas. .. 60
Figura 47. Vista general de la tipología de algunas viviendas del sector. 60
Figura 48. Vía principal. Se observa una estructura en pavimento flexible..... 60
Figura 49. Vista de acceso a predios aledaños. Se observa una estructura en afirmado. 60
Figura 50. Vista de pastos limpios de algunas zonas del sitio de estudio..... 61
Figura 51. Vista de pastos enmalezados o con matorrales de algunas zonas del sitio de estudio..... 61
Figura 52. Vista de cultivos permanentes en el área de estudio 62
Figura 53. Vista de cultivos permanentes en el área de estudio 62
Figura 54. Vista de bosque denso en la zona de suelo rural de la Cuenca Limas..... 62
Figura 55.Vista de bosque abierto en la zona de suelo rural de la Cuenca Limas..... 63
Figura 56. Vista de afloramientos rocosos la zona de estudio..... 64
Figura 57.Vista de afloramientos rocosos la zona de estudio..... 64
Figura 58 Cobertura del suelo en zona rural de la cuenca de la quebrada Limas 65
Figura 59 Fotografía ocupación actual zona rural cuenca Limas y limite zona rural..... 66
Figura 60 Fotografía ocupación actual zona rural cuenca Limas 67
Figura 61. Ubicación de la exploración del subsuelo Cto 500 – 2019. 68
Figura 62. Muestras apiques zona rural cuenca Limas. Izquierda: Bloque arenisca. Derecha Suelo Orgánico..... 70
Figura 63. Muestras apiques zona rural cuenca Limas. Izquierda: Muestra bolsa de arena. Derecha Bloque Suelo Limoso..... 70

Versión Inicial

Figura 64. Exploración directa con Sondeos. Muestras apiques zona rural cuenca Limas. Izquierda: Muestras Sondeo 2. Derecha: Equipo S2 sector Bella Flor Rural. 70
Figura 65. Desprendimiento de material por efecto de la temporada de lluvias. Abril 2022. 75
Figura 66. Distribución espacial de la precipitación media anual en milímetros. 76
Figura 67. Vista de las condiciones de drenaje en el área de estudio, sector sur..... 78
Figura 68. Vista de las condiciones de drenaje en el área de estudio, sector sur..... 78
Figura 69. Respuesta Sísmica – Decreto 523 de 2010 79
Figura 70. Vista de la ocupación informal en la parte media de la cuenca. Marzo 2022... 81
Figura 71. Vista de zonas de antigua explotación minera. Septiembre 2022. 82
Figura 72 Localización planta secciones 1 y 2 de análisis para caudal puntual..... 84
Figura 73 Localización planta sección de análisis Sección 3 - Sitio especial Bella Flor.... 85
Figura 74 Condiciones de contorno para modelaciones de flujo sitios especiales..... 86
Figura 75 Modelación de flujo Sección 1 Caudal Puntual: 3.26m3/s - condiciones de contorno Infiltración mínima: 37mm/día 87
Figura 76 Modelación de flujo Sección 1 Caudal Puntual: 3.26m3/s - condiciones de contorno Infiltración máxima: 65mm/día..... 88
Figura 77 Modelación de flujo Sección 2 Caudal Puntual: 3.65m3/s - condiciones de contorno Infiltración mínima: 37mm/día 88
Figura 78 Modelación de flujo Sección 2 Caudal Puntual: 3.65m3/s - condiciones de contorno Infiltración máxima: 65mm/día..... 89
Figura 79 Modelación de flujo Sección 3 Sitio especial Bella Flor - condiciones de contorno Infiltración mínima: 37mm/día 89
Figura 80 Modelación de flujo Sección 3 Sitio especial Bella Flor - condiciones de contorno Infiltración máxima: 65mm/día..... 90
Figura 81 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario inicial, sin infiltración 90
Figura 82 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario Infiltración 1.0x10-05 m/día 91
Figura 83 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario Infiltración 1.0x10-04 m/día 91
Figura 84 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario Infiltración 1.0x10-03 m/día 92
Figura 85 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario Infiltración 1.0x10-02 m/día 92
Figura 86 Comparación Láminas de agua limitando Succión curva Van Genuchten inferior a 300 kPa – Sección 1 93
Figura 87. Parámetros para análisis de amenaza básica en unidades tipo suelo..... 95
Figura 88 Amenaza por movimientos en masa para suelo rural con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito – Escenario crítico (Sismo y Agua)..... 97
Figura 89 Localización planta sección de análisis Sección 4 98
Figura 90 Localización planta secciones 5, 6 y 7 de análisis..... 99
Figura 91 Localización planta sección 8 de análisis sitio Cortes en Talud Vía Quiba..... 100
Figura 92 Fotografía del sector Vía Quiba, evidencia de cortes en talud para ocupación de la zona..... 101
Figura 93 Modelación de estabilidad Sección 01 Caudal puntual, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo..... 102
Figura 94 Modelación de estabilidad Sección 01 Caudal puntual, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo..... 103

Versión Inicial

Figura 95 Modelación de estabilidad Sección 02 Caudal puntual, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo. 103
Figura 96 Modelación de estabilidad Sección 02 Caudal puntual, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo 104
Figura 97 Modelación de estabilidad Sección 3 - Sitio especial Bella Flor, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo 104
Figura 98 Modelación de estabilidad Sección 3 - Sitio especial Bella Flor, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo 105
Figura 99 Modelación de estabilidad Sección 4, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo. 105
Figura 100 Modelación de estabilidad Sección 4, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo 106
Figura 101 Modelación de estabilidad Sección 5, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo. 106
Figura 102 Modelación de estabilidad Sección 5, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo 107
Figura 103 Modelación de estabilidad Sección 6, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo. 107
Figura 104 Modelación de estabilidad Sección 6, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo 108
Figura 105 Modelación de estabilidad Sección 7, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo. 108
Figura 106 Modelación de estabilidad Sección 7, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo 109
Figura 107 Modelación de estabilidad Sección 8 - Cortes en Talud Vía Quiba Escenario 1: sin lámina de agua, sin sismo – Superficie de falla no circular 109
Figura 108 Modelación de estabilidad Sección 8 - Cortes en Talud Vía Quiba Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo. - Superficie de falla no circular 110
Figura 109. Localización secciones de análisis Distancia de viaje Caída de Rocas Suelo Rural 111
Figura 110 Fotografía del sector Bella Flor, Sección 2 CRA, evidencia de deslizamiento de caída de roca. 112
Figura 111 Fotografía del sector Vía Quiba, Sección 6 CRB, evidencia de deslizamiento caída de roca. 112
Figura 112 Fotografía del sector Vía Quiba, Sección 8CRC, evidencia de deslizamiento por caída de roca. 113
Figura 113 Esquema Sección CR-A 114
Figura 114 Esquema Sección CR-B 115
Figura 115 Esquema Sección CR-C 116
Figura 116. Categoría de amenaza por movimiento en masa para suelo rural Cuenca Limas. 119
Figura 117. Curva de Éxito para la categorización de Susceptibilidad a Movimientos en Masa 122
Figura 118. Zonificación de Susceptibilidad a Movimientos en Masa Zona Rural. 123

ÍNDICE DE TABLAS

Versión inicial

Tabla 1. Coordenadas delimitación del área de estudio de los polígonos suelo rural Cuenca Quebrada Limas, Localidad Ciudad Bolívar 13
Tabla 2. Escala de trabajo para tipos de estudios 13
Tabla 3 Extensión de la Amenaza por Movimientos en Masa para la cuenca Decreto 555 de 2021 2
Tabla 4. Descripción categorías de amenaza 3
Tabla 5. Priorización de Estudios por Movimientos en Masa para la Cuenca. 7
Tabla 6 Clasificación de las estructuras identificadas según su orientación estructural preferencial 18
Tabla 7 Unidades geológicas presentes en la zona rural cuenca Limas 19
Tabla 8. Clasificación de los macizos rocosos según su estructura y composición. Tomado y modificado de (SGC, 2017) 21
Tabla 9. Unidades geológicas superficiales de roca, identificadas en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas 22
Tabla 10. Unidades geológicas superficiales correspondientes a depósitos de tipo aluvial en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas 28
Tabla 11. Unidades geológicas superficiales correspondientes a depósitos de pendiente en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas 31
Tabla 12. Unidades geológicas superficiales correspondientes a suelos transportados de tipo antrópico en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas 33
Tabla 13. Ambientes morfogenéticos y porcentaje de influencia en la cuenca Limas 38
Tabla 14. Componentes geomorfológicos de origen denudacional en la cuenca de la quebrada Limas 40
Tabla 15. Componentes geomorfológicos de origen estructural en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas 43
Tabla 16. Componentes geomorfológicos de origen fluvial en la zona rural de la cuenca 45
Tabla 17. Componentes geomorfológicos de origen antrópico en la cuenca de la quebrada Limas 47
Tabla 18. Movimientos en masa en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas 52
Tabla 19 Rangos, áreas y porcentaje clasificación pendiente suelo rural de la Cuenca Limas 54
Tabla 20 Áreas y porcentaje aspecto suelo rural de la Cuenca Limas 56
Tabla 21 Tipo de cobertura de suelo zona rural de la cuenca 58
Tabla 22 Leyendas usos de suelo a partir de coberturas de suelo de la zona rural cuenca Limas 64
Tabla 23 Tipo de Usos de suelo zona rural de la cuenca 66
Tabla 24. Resumen de la exploración del subsuelo directa antecedente para la cuenca de la quebrada Limas 68
Tabla 25. Ensayos de laboratorio ejecutados en la zona rural cuenca de la Quebrada Limas Cto 500 - 2019 71
Tabla 26 Parámetros de resistencia suelos para análisis de estabilidad 72
Tabla 27 Parámetros hidráulicos para modelaciones de flujo de agua subsuperficiales – Van Genuchten 73
Tabla 28 Descripción de las zonas de respuesta sísmica en la zona rural de la Cuenca de la Quebrada Limas 80
Tabla 29. Coeficientes de diseño zonas sísmicas zona rural Cuenca Limas 80
Tabla 30 Coordenadas de localización secciones de análisis 83
Tabla 31 Comparación áreas en sección de análisis con suelo saturado 93
Tabla 32 Factores de seguridad modelaciones de flujo - condiciones de nivel de agua 94

Versión inicial

Tabla 33 Resultados de Factor de Seguridad con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Critico (Sismo y Agua) 96
Tabla 34 Resultados de Factor de Seguridad con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Con Sismo y Sin Agua 96
Tabla 35 Resultados de Factor de Seguridad con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Sin Sismo y Con Agua 96
Tabla 36 Resultados de Factor de Seguridad con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Sin Sismo y Sin Agua..... 96
Tabla 37 Coordenadas de localización secciones de análisis 98
Tabla 38 Resumen de Factores de seguridad Sin Sismo resultado de los análisis de estabilidad 110
Tabla 39 Resultado Distancia de Viaje Promedio y Máxima. 113
Tabla 40 Resultado Distancia de Viaje Promedio Sección CR-A 114
Tabla 41 Resultado Distancia de Viaje Promedio Sección CR-B. 115
Tabla 42 Resultado Distancia de Viaje Promedio Sección CR-C. 116
Tabla 43. Categorización de la Amenaza por Rangos de Factor de Seguridad (FS) – Condición Normal. 117
Tabla 44 Categorización de Amenaza por Análisis de Estabilidad por Talud Infinito, para el escenario Critico (Sismo y Agua) 117
Tabla 45 Categorización de Amenaza por equilibrio límite para diferentes escenarios .. 117
Tabla 46 Resultados de zonificación amenaza por movimientos en masa suelo rural Cuenca Limas 120
Tabla 47 Leyendas zonificación amenaza por movimientos en masa suelo rural Cuenca Limas 120
Tabla 48. Relación deslizamientos L y factor condicionante w 121
Tabla 49. Categorias de Susceptibilidad a Movimientos en Masa 123
Tabla 50 la contrastación de la categorización de la amenaza con el análisis de susceptibilidad 124

Versión Inicial

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al principio de gradualidad del que trata la ley 1523 de 2012, el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático – IDIGER, ha elaborado la "ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:5000 PARA EL SUELO RURAL DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA LIMAS DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR", teniendo en cuenta los insumos técnicos disponibles en la entidad y buscando mejorar la resolución de la zonificación de amenaza por movimientos en masa en el sector de la cuenca de la quebrada Limas, en donde se presentan importantes dinámicas de ocupación del territorio que modifican las condiciones de estabilidad y habitabilidad de la cuenca.

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 suburbana de acuerdo al Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la amenaza por movimientos en masa para la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas de la localidad de Ciudad Bolívar a escala 1:5000.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir una metodología para la zonificación para la zona rural de la amenaza por movimientos en masa de acuerdo al Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015.
- Realizar la zonificación de amenaza por movimientos en masa para la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas de la localidad de Ciudad Bolívar a escala 1:5000.
- Definir las medidas de reducción de la amenaza por movimientos en masa para la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas.

Versión Inicial

3. LOCALIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca de la quebrada Limas se encuentra localizada al sur de la ciudad de Bogotá en la localidad de Ciudad Bolívar y hace parte de la cuenca del río Tunjuelo. La cuenca tiene forma irregular, alargada en la dirección sur – norte.

La quebrada Limas nace en la vereda de Quiba zona rural de la localidad tiene varios afluentes que entregan sus aguas a la corriente de la quebrada Limas, entre los cuales se encuentran la quebrada Peña Colorada y Trompetica ubicadas al oeste de la cuenca, la quebrada Quiba al sur, entre otros como la quebrada Brazo Derecho de Limas y Quebrada Honda principalmente. Las aguas de la quebrada Limas discurren por los barrios Bella Flor, Juan José Rondón, Villa Gloria, El Triunfo, Marandú, Juan Pablo II, Brisas del Volador, Sauces, San José de los Sauces, San Francisco, Villa del Diamante y Candelaria la Nueva, entre otros más pequeños.

Se estima que la cuenca tiene 186.529 habitantes hasta el año 2020 (Rogelis, 2021), sin embargo, se ha observado un aumento en la ocupación del territorio en el tiempo de pandemia y en la reactivación económica, debida a las mismas dinámicas de ocupación de la localidad de Ciudad Bolívar.

La cuenca un área de 1810.3 Ha y está distribuida en las tres clases de suelo definidas para el distrito: suelo urbano, suelo de expansión y suelo rural, de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial vigente (Decreto 555 de 2021). En la Figura 1 se presenta la distribución, valores y porcentajes del tipo de suelo.

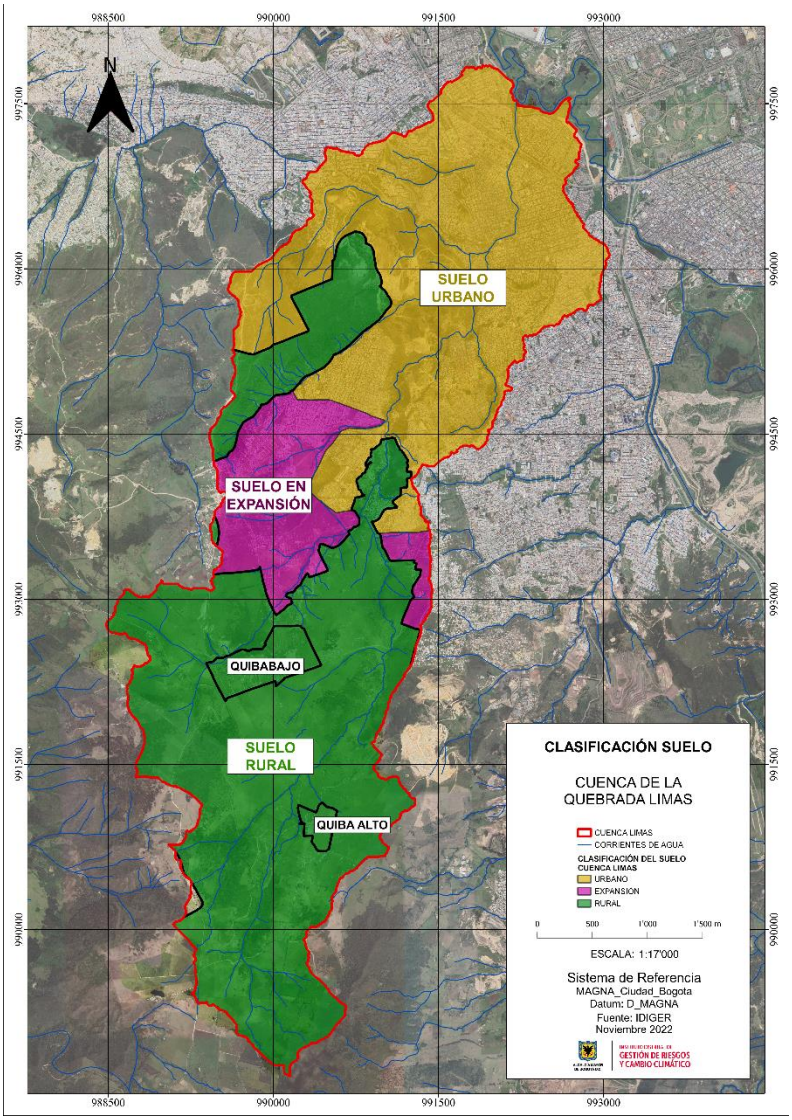


Figura 1. Clasificación de Suelos en la Cuenca de la Quebrada Limas de acuerdo al Decreto 555 de 2021.

A su vez el suelo rural cuenta con tres subdivisiones del suelo correspondientes al Centro Poblado Quiba Baja, al Nodo de Equipamiento y Servicios Quiba Alta y a la zona rural en general, como se puede apreciar en la figura anterior.

El tipo de suelo rural constituye el 51 % del área de la cuenca con un área de 923.9 Ha que se distribuyen en tres polígonos que encuentran ubicados desde la parte media hasta la parte alta de la cuenca.

En la Figura 2 se presenta la ubicación del área de estudio determinada por los polígonos de suelo rural dentro de la cuenca Quebrada Limas y en la Tabla 1 se presentan las coordenadas de sus límites.

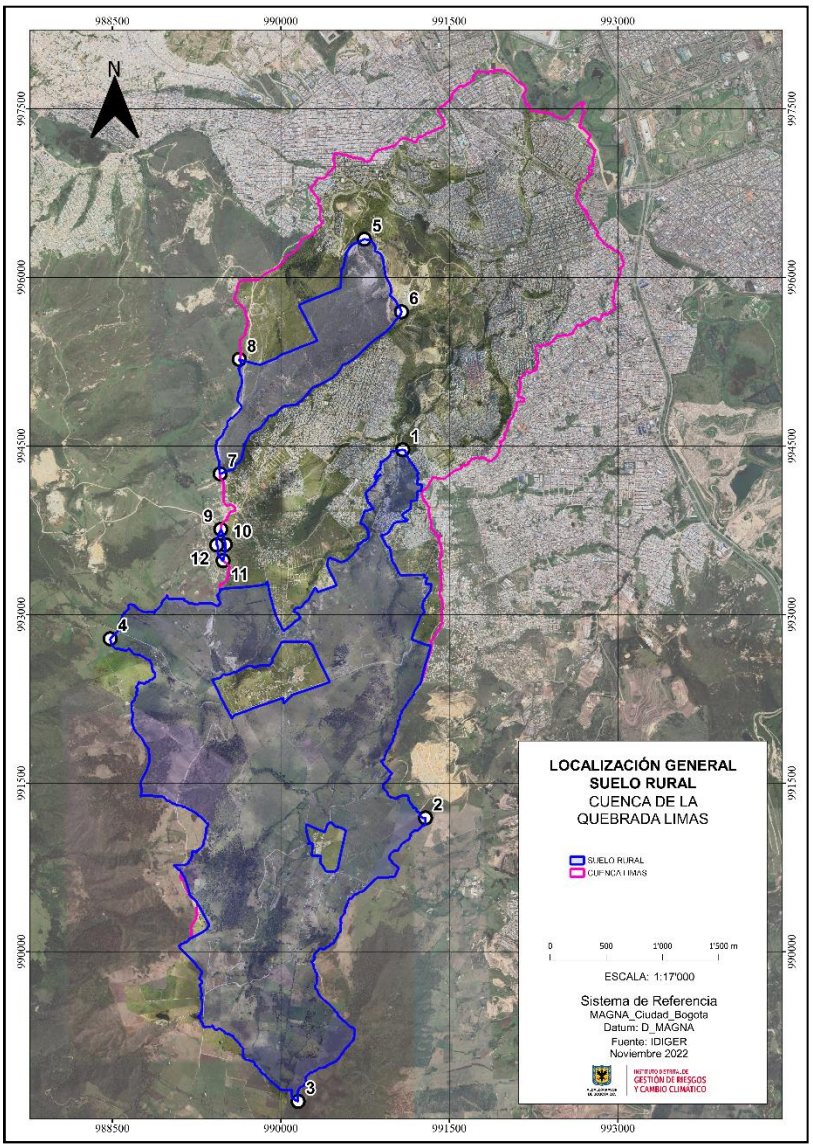


Figura 2. Localización general polígonos suelo rural Cuenca Quebrada Limas, Localidad Ciudad Bolívar

Tabla 1. Coordenadas delimitación del área de estudio de los polígonos suelo rural Cuenca Quebrada Limas, Localidad Ciudad Bolívar

ID POLÍGONO SUELO RURAL	ID PUNTO	ÁREA (Ha)	COORDENADAS PLANAS (Magna Colombia Bogotá)	
			ESTE	NORTE
1. SUR – CUENCA ALTA	1	773.7	991085.785	994465.175
	2		991287.840	991189.803
	3		990153.507	988666.925
	4		988480.234	992783.797
2. OCCIDENTAL – CUENCA MEDIA	5	103.0	990743.854	996338.927
	6		991073.614	995692.761
	7		989459.592	994251.504
	8		989629.554	995269.838
3. OCCIDENTAL – CUENCA MEDIA	9	1.4	989464.541	993757.085
	10		989504.780	993621.426
	11		989485.710	993478.147
	12		989429.556	993618.040

Tanto el Centro Poblado Quiba Baja y el Nodo de Equipamiento y Servicios Quiba Alta se ubican en el polígono denominado 1. SUR – CUENCA ALTA, con un área de 36.1 Ha y 9.7 Ha respectivamente. Cabe mencionar que los Centros Poblados y Nodos de Equipamientos y Servicios cuentan con una zonificación de amenaza particular. De acuerdo a esto el área de estudio corresponde al área del suelo rural de 878.10 Ha.

Respecto a la escala del presente estudio, el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015 estipula en su artículo 5 la escala de trabajo a la que se deben realizar estudios básicos y detallados, de acuerdo a las clases de suelo establecidas en la Ley 388 de 1997, siendo la escala 1:5000 la siguiente en detalle para el suelo rural como se puede apreciar en la Tabla 2 . Cabe aclarar que de acuerdo al Decreto 555 de 2021, en Bogotá D.C no se define suelo rural suburbano.

Tabla 2. Escala de trabajo para tipos de estudios

TIPO DE ESTUDIO	CLASE DE SUELO	ESCALA
Estudio Básico	Urbano	1: 5000
	Expansión Urbana	1: 5000
	Rural	1: 25000
Estudio Detallado	Urbano	1: 2000
	Expansión Urbana	1: 2000
	Rural Suburbano	1: 5000

Fuente: Decreto 1807 de 2014

4. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta un diagrama de flujo con la metodología utilizada para la zonificación de amenaza para la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas (ver Figura 3).

Versión Preliminar

ESQUEMA METODOLÓGICO
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:5000 PARA EL SUELO RURAL CUENCA QUEBRADA LIMAS CIUDAD BOLÍVAR



Figura 3 Esquema metodológico zonificación de amenaza por movimientos en masa para suelo rural cuenca quebrada Limas.

La metodología de zonificación de amenaza se divide en dos grandes componentes el primero correspondiente a los análisis de los factores intrínsecos y el otro asociado a los factores detonantes de la amenaza.

De manera inicial se hace una revisión de información antecedente y recolección de insumos, principalmente correspondientes a los instrumentos de gestión de riesgo disponibles en el distrito, así como información cartográfica y temática obtenida de los diferentes estudios realizados en el IDIGER. También se tiene en cuenta la normatividad vigente principalmente la asociada al Plan de Ordenamiento Territorial, Decreto 555 de 2021, siendo el punto de partida para los análisis.

De la revisión de información se obtienen las características de las unidades geológicas superficiales (UGS), elementos geomorfológicos, coberturas y usos del suelo, las cuales son utilizadas para el análisis de estabilidad por talud infinito y para la contrastación con la susceptibilidad.

Para la cuenca se cuenta con la caracterización y parametrización de los materiales obtenida en la “Evaluación de Riesgo por Avenidas Torrenciales y/o Crecientes Súbitas para la Cuenca de la Quebrada Limas”, información que es utilizada directamente en el análisis de estabilidad por talud infinito realizado usando un software de Sistemas de Información Geográfica.

En el análisis se tienen en cuenta el efecto de la precipitación, sismo y del factor antrópico como agentes detonantes de la amenaza. Para la precipitación se desarrolla un análisis de las posibles alturas de nivel freático críticas que se puedan presentar. Para la variable sismo se utiliza la información consignada en la Microzonificación Sísmica de Bogotá, Decreto 523 de 2010 la cual cuenta con características detalladas de amplificación principalmente topográfica y la cual también fue utilizada en el análisis básico de la zona rural. Respecto al factor antrópico identificado en campo, el principal efecto negativo lo proporciona la ocupación para implantación de viviendas, haciendo modificaciones al terreno como cortes y la imposición de cargas adicionales, así como los cambios en los niveles de agua y el drenaje, además de la utilización de materiales inadecuados para construcción y procesos constructivos deficientes. Los escenarios de análisis corresponden principalmente a la condición de presencia o no de factores como el agua y el sismo. Las cargas asociadas a la ocupación se utilizan en secciones específicas. Estos escenarios son utilizados tanto en los análisis de estabilidad con talud infinito y equilibrio límite.

Los análisis de equilibrio límite se hacen para toda la cuenca, mientras que los de equilibrio límite se ejecutan en sitios particulares o críticos, identificados en las visitas de reconocimiento y trabajo de campo.

Se hace una contrastación con la susceptibilidad por movimientos en masa. Los análisis de susceptibilidad hacen referencia a la determinación de las condiciones intrínsecas del terreno y los materiales, identificando su predisposición a la inestabilidad evidenciada en movimientos en masa ya ocurridos, que son la base para el análisis, dándole un peso a cada una de las variables analizadas.

Con los elementos mencionados y partiendo del análisis de estabilidad por talud infinito, a este resultado se lo categoriza de acuerdo al factor de seguridad y se adicionan las laderas

Versión Inicial

definidas con sus direcciones (aspecto) de acuerdo a los análisis de estabilidad por equilibrio límite categorizados con el factor de seguridad, se da prioridad a la identificación de las zonas de amenaza alta y media, para las zonas de amenaza alta se adicionan las áreas correspondientes al registro de movimientos en masa disponible, para las zonas de amenaza media se tuvieron en cuenta variables como la erosión y minería, asociados a un detonante de inestabilidad a la movimiento en masa tipo caída de rocas respectivamente.
Se genera una transición de zona de amenaza media de acuerdo a la escala del estudio, entre zonas de amenaza alta y baja que se presentan de forma continua.

5. REVISIÓN DE INFORMACIÓN ANTECEDENTE / INSUMOS

La información disponible 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 Limas"* realizada por la entidad en donde 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.

Por otro lado, el IDIGER ha llevado una actuación de más de 20 años en el conocimiento, reducción, atención y manejo de emergencias, permitiéndole tener información relevante para profundizar en el conocimiento.

5.1 INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO

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

5.1.1 POT - Decreto 555 de 2021

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial vigente sobre la amenaza por movimientos en masa se tienen los siguientes mapas normativos:

- CR-2.2.1 Amenaza por Movimientos en para el Suelo Rural y Centros Poblados y área de vivienda campestre, a escala **1:25.000** y **1:5000**.
- CR-2.2.4 Amenaza por movimientos en masa para nodos de equipamientos en suelo rural y área de vivienda campestre, a escala **1:25.000**.

En la Tabla 3 se presentan los valores de la amenaza por movimientos en masa para la cueca, para el suelo rural, urbano y expansión. En la Figura 4 se muestra la categorización de amenaza de acuerdo a los mapas normativos mencionados.

Tabla 3 Extensión de la Amenaza por Movimientos en Masa para la cuenca Decreto 555 de 2021.

AMENAZA MM	RURAL	URBANO Y EXPANSIÓN	TOTAL
	ÁREA (Ha)	ÁREA (Ha)	ÁREA (Ha)
Alta	33.5	121.5	155.0
Media	246.3	457.9	704.2
Baja	644.1	307.1	951.2
Total	**923.9**	**886.5**	**1810.4**
% Tipo Suelo	**51.0%**	**49.0%**	

Versión Inicial

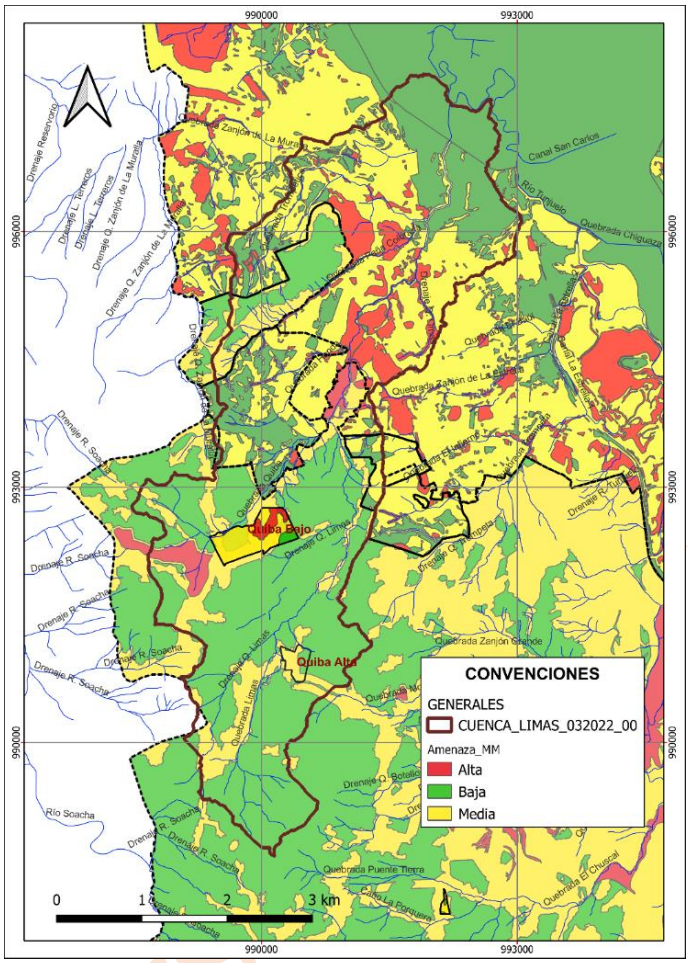


Figura 4. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de acuerdo con el Decreto 555 de 2021.

De acuerdo al POT, las categorías de amenaza significativa son descritas de acuerdo a lo presentado en la Tabla 4, 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), motivo por el que se deberá tener especial cuidado en la interpretación de las descripciones de la amenaza en zonas de transición y/o cambio a zonificaciones de amenaza a escalas diferentes con mayor o menor detalle, pues no describen los mismos resultados.

Tabla 4. Descripción categorías de amenaza

CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN
Baja	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.

CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN
	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.
Media	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 fluvioglaciares, 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. 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. 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.
	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.
Alta	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. 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. 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.

CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN
	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.

Fuente: Tomado y adaptado de (IDIGER, 2021)

En la Figura 5 se presenta el mapa de Áreas con Condición de Amenaza (ACA) por movimientos en masa definida para la cuenca de la quebrada Limas para el suelo rural, cabe mencionar que de acuerdo al mapa normativo del Decreto 555 de 2021, para el suelo rural únicamente se tienen en cuenta las Áreas con Condiciones de Amenaza asociadas a los centros poblados y nodos de equipamientos y servicios..

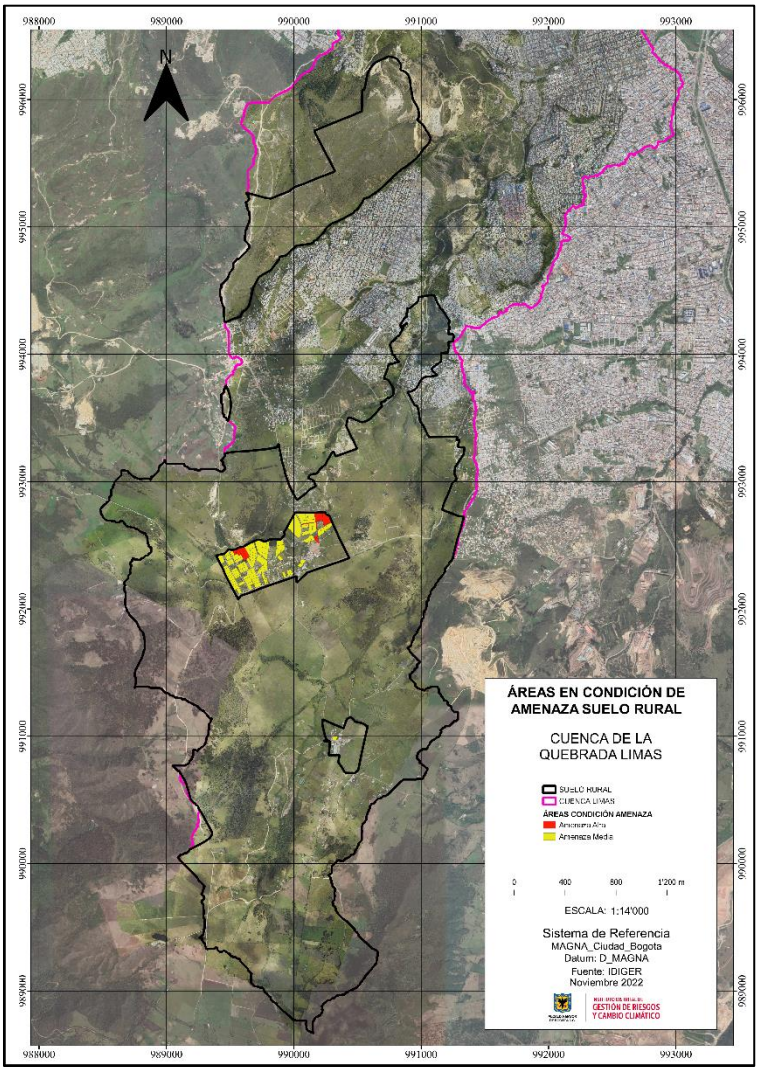


Figura 5. Mapa de Áreas con Condición de Amenaza (ACA) por Movimientos en Masa.

En la Figura 6 se presenta el mapa de Áreas con Condición de Riesgo (ACR) por movimientos en masa definida para la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas, tanto, cabe mencionar que de manera similar a las ACA, de acuerdo al mapa normativo del Decreto 555 de 2021, para el suelo rural únicamente se tienen en cuenta las Áreas con Condiciones de Riesgo asociadas a los centros poblados y nodos de equipamientos y servicios. El valor de áreas correspondiente a zonas en condición de Riesgo (ACR) para suelo rural es de 5.96 Ha.

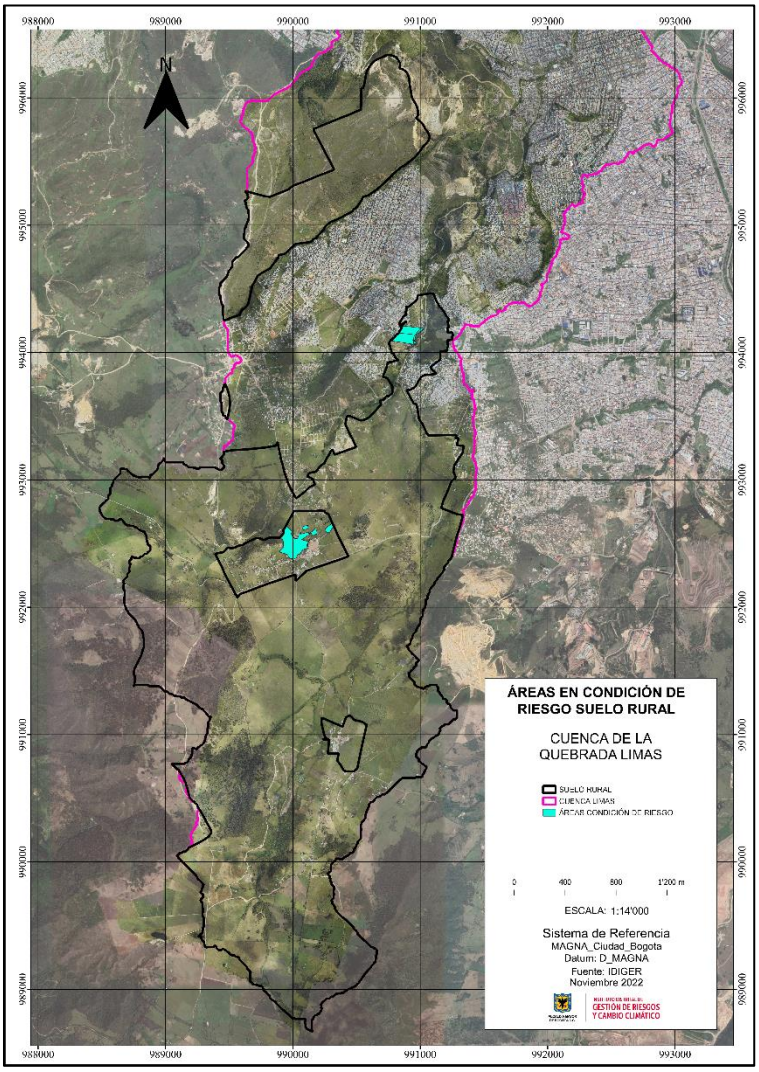


Figura 6. Mapa de Áreas con condición de Riesgo por Movimientos en Masa.

En la Figura 7 se presentan los Suelos de Protección por Riesgo (SPPR) para la zona rural de la cuenca Limas, conformados por 9.26 Ha definidas como Alto Riesgo No Mitigable (ARNM) y 13.21 Ha en Amenaza Alta No Urbanizable (AANU), definidas mediante los instrumentos de gestión del riesgo con que cuenta el Distrito. Él área de SPPR para toda la cuenca es de 219.15 Ha, ocupando el 12.1 % del territorio.

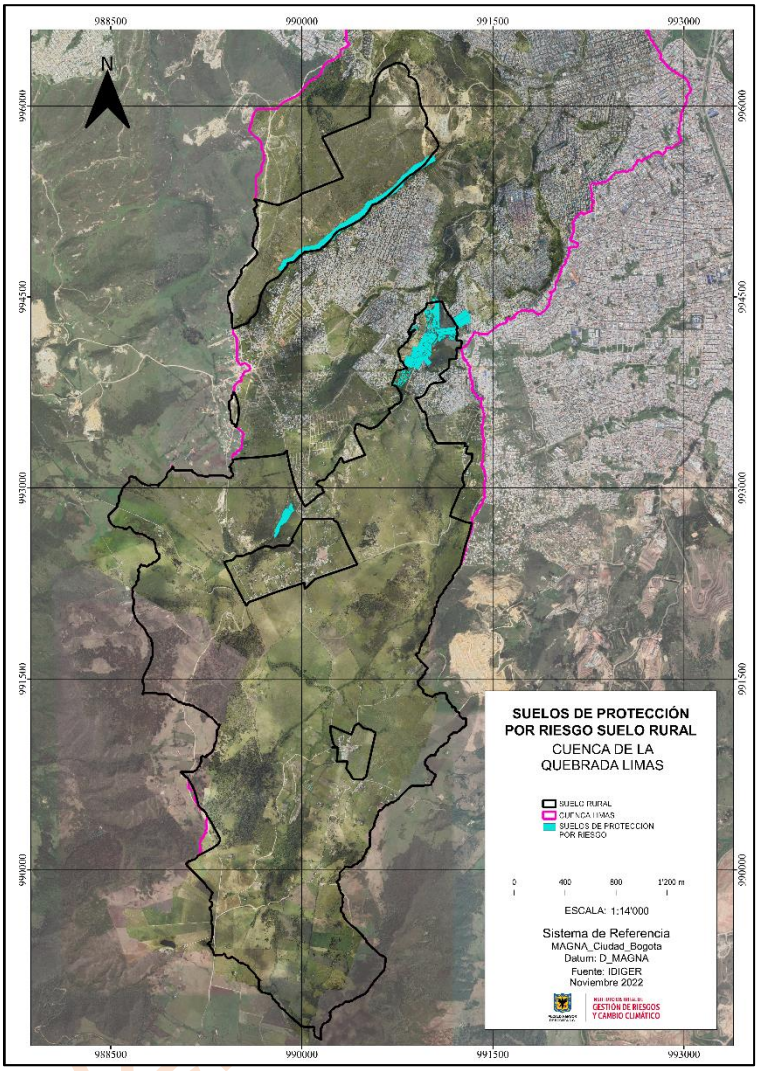


Figura 7. Mapa de Suelos de Protección por Riesgo de la cuenca.

Como resultado del POT, se obtuvo la priorización para la realización de estudios de Riesgo, para el corto, mediano y largo plazo. Los resultados de la priorización se presentan en la Tabla 5 y en la Figura 8 se presenta el mapa con las áreas priorizadas para estudios. Cabe mencionar que para el Nodo de Equipamiento el alcance de los estudios es de Estudios Básicos a Escala 1:5000, para el resto de Laderas Homogéneas y Quiba Bajo se requiere un estudio de riesgo. El estudio para Quiba Alta ya fue realizado por el grupo de Estudios y Diseños a finales de 2021 y principios del presente año.

Tabla 5. Priorización de Estudios por Movimientos en Masa para la Cuenca.

No.	CLASE SUELO	PRIORIDAD	NOMBRE	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	% ÁREA
1	CENTRO POBLADO	Corto Plazo	Quiba Alta	364275.64	36.43	19.53%
2	NODO EQUIPAMIENTO	Corto Plazo	Quiba Bajo	96995.39	9.70	5.20%
3	EXPANSIÓN	Largo Plazo	Expansión	1403761.40	140.38	75.27%

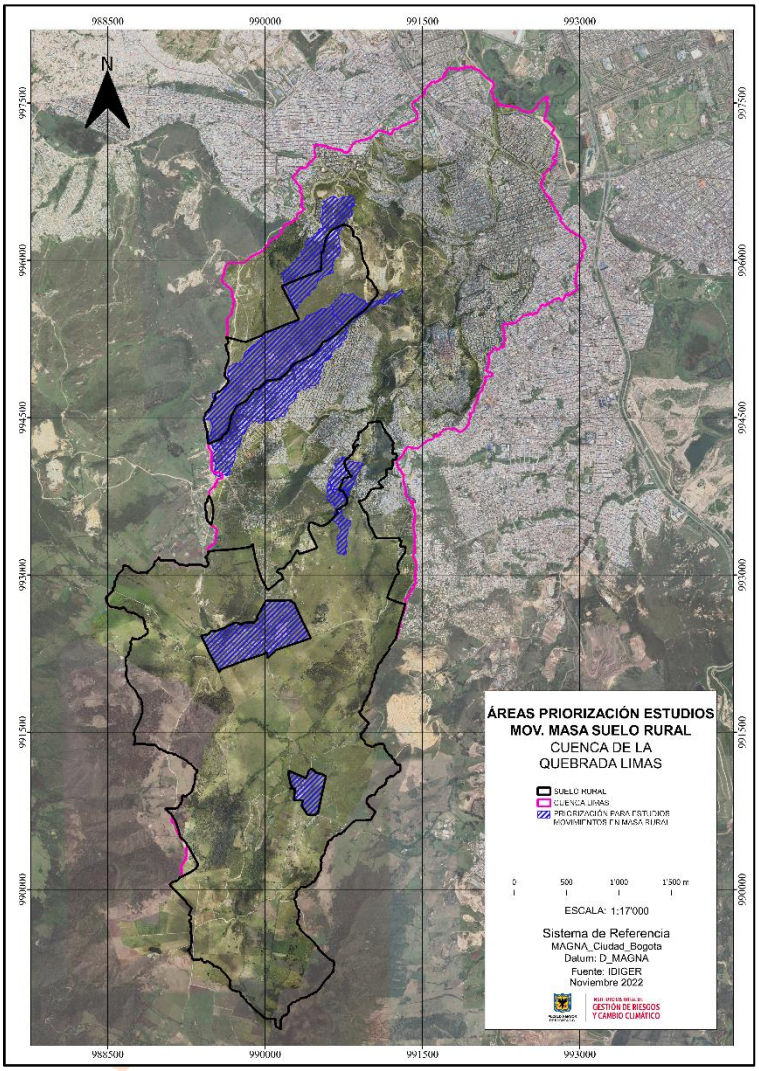


Figura 8. Mapa de Áreas Priorizadas para estudios por movimientos en masa en la cuenca de la quebrada Limas.

De acuerdo a lo anterior, se puede evidenciar los requerimientos de información sobre el escenario de movimientos en masa para la cuenca.

5.1.2 Diagnósticos de Asistencia Técnica

En el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias de Bogotá (SIRE), se encontró que el IDIGER ha emitido documentos técnicos asociados a movimientos en masa para el polígono de estudio y sus sectores aledaños. Según las capas temáticas de la GDB de instrumentos de gestión del riesgo del IDIGER, en la zona rural de la cuenca Limas se les han realizado a aproximadamente 42 predios un diagnostico técnico,

predios localizados en su mayoría hacia la zona del sector Bella Flor tal como se evidencia en la Figura 9.

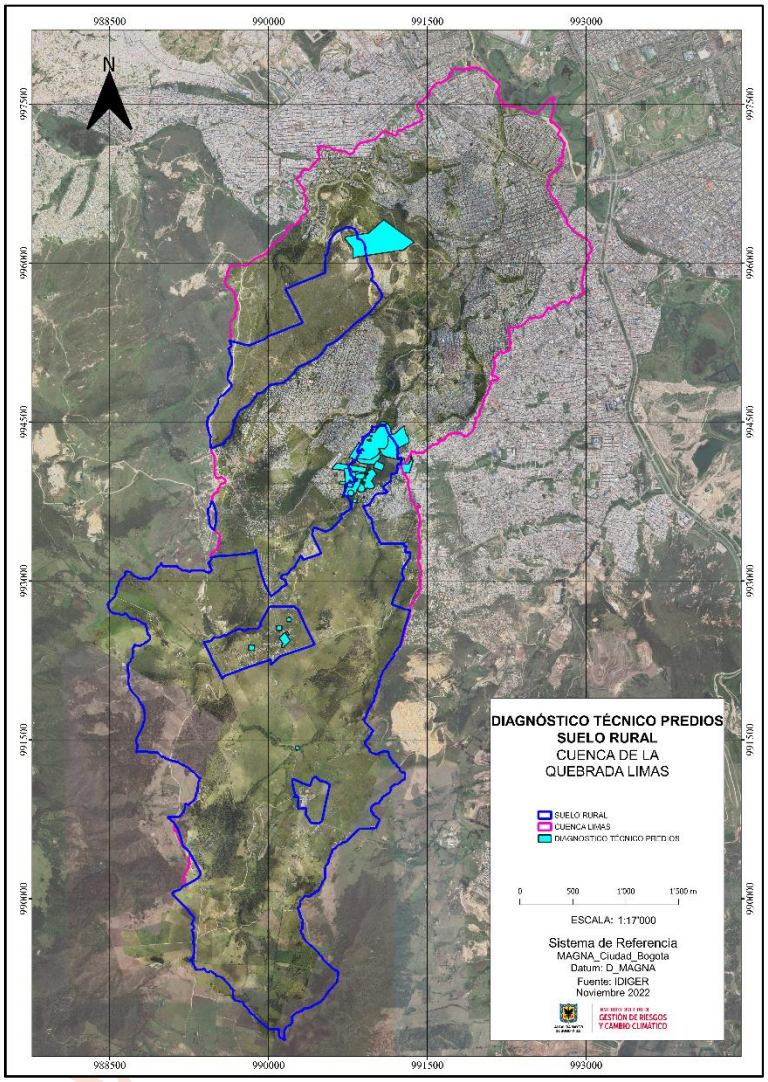


Figura 9 Predios con Diagnostico técnico en suelo rural cuenca Limas.

Todos los mapas DI Limas, listado de información y conclusiones de estudios de diagnósticos técnicos se pueden evidenciar en el ANEXO 01

5.1.3 Conceptos Técnicos de Legalización y Regularización

De igual manera, se cuenta con información de conceptos técnicos realizados a lo largo de la cuenca y que se encuentran dentro del área de suelo rural, estudio del presente documento. Esta información arroja que el área de estudio de suelo rural dentro de la cuenca Limas se encuentra dentro 2 unidades de planeación Local: UPL Arborizadora y UPL de la Cuenca del Tunjuelo con áreas de suelo rural de 102.93 Ha y 819.50 Ha respectivamente. Adicionalmente, se encuentra la existencia áreas dentro de la zona rural de tres barrios legalizados: Bella Flor y Arborizadora Alta y El paraíso con áreas aproximadas en suelo rural de 9.14 Ha, 4.84 Ha y 9.40 Ha respectivamente. La zona de suelo rural dentro de la cuenca Limas cuenta con 11 Barrios sin legalizar: El Edén y

Libimani, El Verbenal, S.C El Mochuelo II, S.C. Arborizadora Alta, S.C. Bella Flor Sur, S.C. Bella Flor Sur Rural, S.C. Cerro Colorado, S.C. Ciudad Bolívar, S.C. Nueva Esperanza, S.C. Quiba Alto, S.C. Quiba Bajo con un área total de 912.70 Ha con como se muestra en la Figura 10.

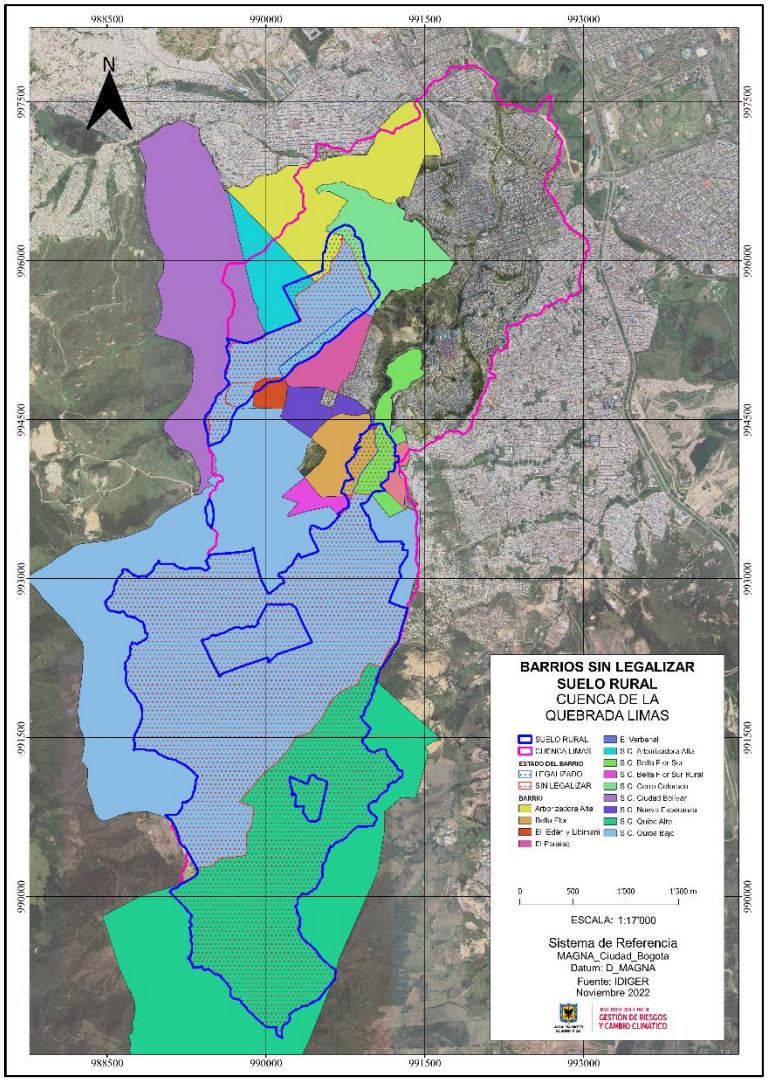


Figura 10 Concepto técnico – Barrios legalizados en suelo en rural cuenca limas.

En los conceptos técnicos de legalización se encuentra una zonificación de la amenaza hacia el sector de desarrollo localizado en las zonas de barrios legalizados mencionados anteriormente. Esta zona de desarrollo cuenta con un área total dentro de suelo rural de 6.87 Ha. La zonificación de amenaza para este sector arroja que aproximadamente el 53.15% (3.65 Ha) se encuentra clasificado como suelo de Amenaza Alta No Urbanizable (AANU) para movimientos en masa, seguido de un 30.52% (2.10 Ha) clasificado como amenaza Alta y finalmente 1.12 Ha (16.33%) en amenaza Media, viéndose afectado este sector de Bella Flor principalmente como se muestra en la Figura 11.

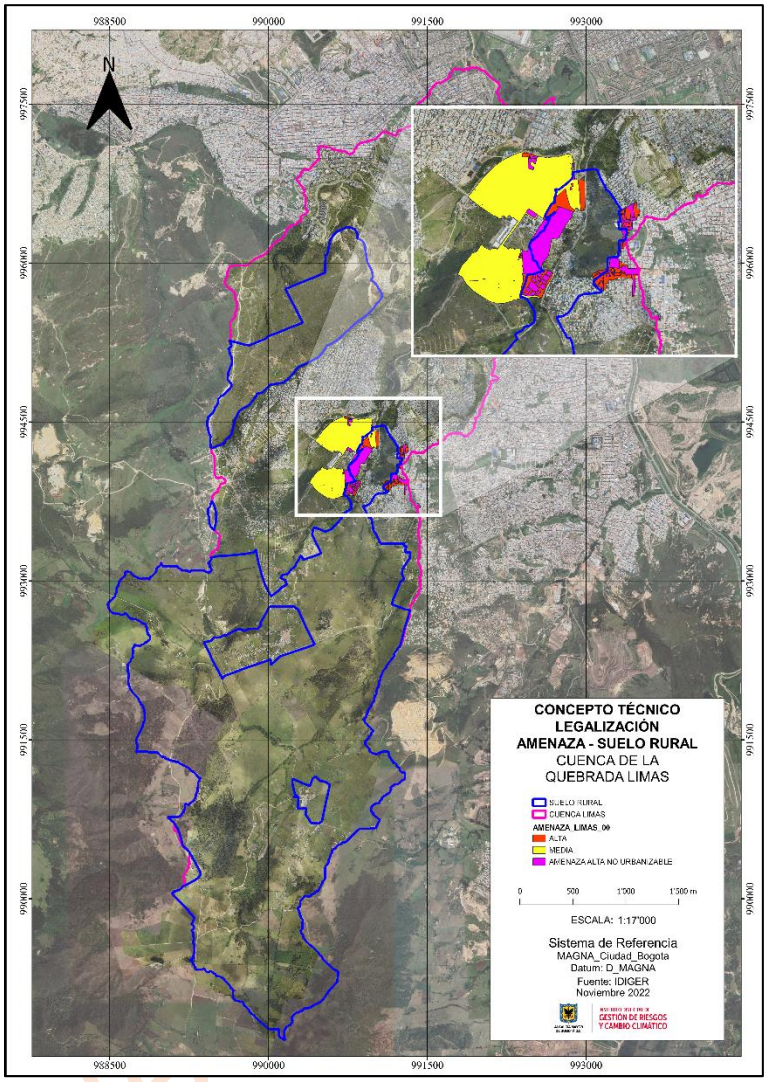


Figura 11 Concepto técnico Legalización – Clasificación de la amenaza en suelo en desarrollo rural cuenca limas.

En los conceptos técnicos de planes parciales, se encentra otra zonificación de la amenaza hacia los sectores rurales de Cerro Colorado y Ciudad Bolívar 74, los cuales cuentan con un área aproximada en suelo rural de 22.46 Ha y 17.83 Ha respectivamente. Los resultados de la zonificación arrojan que un 46.39% (18.69 Ha) se encuentran en amenaza alta por movimientos en masa, localizada principalmente en la zona de Ciudad Bolívar 74, un 51.38% (20.70 Ha) clasificado como amenaza Media localizado principalmente en la zona Cerro Colorado y un 2.23% (0.90 Ha) en amenaza Baja tal como se muestra en la Figura 12.

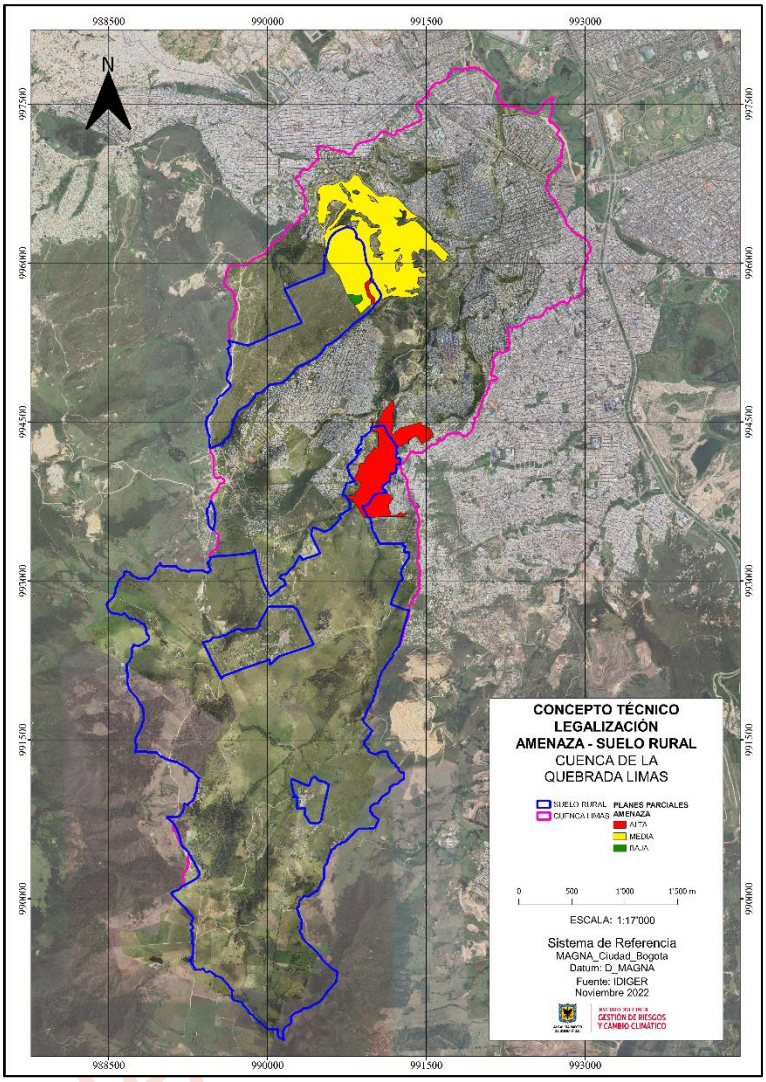


Figura 12 Concepto técnico Planes Parciales – Clasificación de la amenaza en suelo rural cuenca Limas.

Todo el listado resumen de estudios de conceptos técnicos se pueden evidenciar en el ANEXO 01.

5.1.4 Estructura Ecológica Principal

Respecto a la Estructura Ecológica Principal (EEP) sobre la cuenca Limas, se identifican diferentes capas temáticas respecto a áreas de conservación InSitu, áreas de resiliencia climática y Protección por Riesgo, áreas de conector ecosistémico, áreas de paramos, áreas de proyectos, zonas del Sistema Distrital de Áreas Protegidas, Áreas del sistema Hídrico de la zona rural, áreas de suelo de protección, entre otros. De esta información se resalta:

- En las Áreas de Conservación Insitu se cuenta con la Reserva Forestal Protectora Productora - Cuenca Alta del Río Bogotá localizado en la parte alta de la cuenca Limas con un área en suelo rural de 137.43 Ha aproximadamente.

- En las Áreas de resiliencia climática y Protección por Riesgo se cuenta con 43 polígonos distribuidos en la parte media de la cuenca con un área total en suelo rural de 1.66 Ha aproximadamente.
- En las Áreas de conector ecosistémico se cuenta con Conector ecosistémico Media Luna del Sur.
- El área dentro del suelo rural para paramos es de 76.92 Ha, correspondiente al Corredor Páramo Cruz Verde – Sumapaz localizado en la parte alta de la cuenca Limas.
- Se identifican 5 áreas dentro de la zona rural de la cuenca con proyectos EEP, con un área total de 1550 Ha.
- El sistema distrital de áreas protegidas establece dos zonas de protección: Agro parque Quiba y Parque Distrital Ecológico de Montaña Cerro Seco, con áreas aproximadas dentro de suelo rural de 247.11 Ha y 51.12 Ha respectivamente.
- En el Sistema hídrico dentro del suelo rural se cuenta con zonas para el manejo y preservación ambiental, cuerpos naturales y artificiales y rondas hídricas correspondientes a áreas de Humedales, afluentes y zonas de drenaje a la Quebradas Limas, Quiba, Trompetica, Peña colorada y Mochuelo. El total de área acotada para este sistema es de 204.99 Ha, con prevalencia en un 66.2% de esta área al afluente, drenaje y zona de cauce de la Quebrada Limas.
- En el área de suelo de protección por riesgo se encuentran 6 predios correspondientes a 6 zonas de los Barrios: Bella Flor, Bella Flor Sur, Ciudad Bolívar, La Torre, Paraíso y Quiba Bajo par aun total de 22.47 Ha protegidas, clasificada con un 58.8 % (13.21 Ha) como Amenaza Alta No urbanizable y un 41.2% (9.26 Ha) como Alto riesgo No Mitigables.

5.2 INSUMOS CARTOGRÁFICOS

Los insumos cartográficos y topográficos se toman de la información de referencia recopilada de la “Evaluación de Riesgo por Avenidas Torrenciales y/o Crecientes Súbitas para la Cuenca de la Quebrada Limas” (IDIGER, 2022) el cual cuenta con:

1. Mosaico fotogramétrico RBG (3 bandas) con resolución espacial o GSD de 10 cm. Información disponible en formato EWC con Sistema de Referencia UTM.
2. Modelo digital de terreno con resolución de 0.5 m generado por el IDIGER a partir de información LiDAR (MDT LiDAR IDIGER) y Curvas de nivel cada metro generado por Planeación Distrital (MDT1m) y curvas de nivel cada 5 m.

En el informe de hidrología se describe que debido a que el modelo de elevación digital generado a través de LiDAR por IDIGER en 2019 no cubre en su totalidad la Cuenca Limas, se complementó con el MDT generado a partir de curvas de nivel (con espaciamiento de 1 y 5 m) con un tamaño de pixel de 0.5 m a fin de mantener la precisión del LiDAR IDIGER. La Figura 13 muestra el tamaño de los modelos digitales del terreno respecto a la cuenca limas.

Versión final

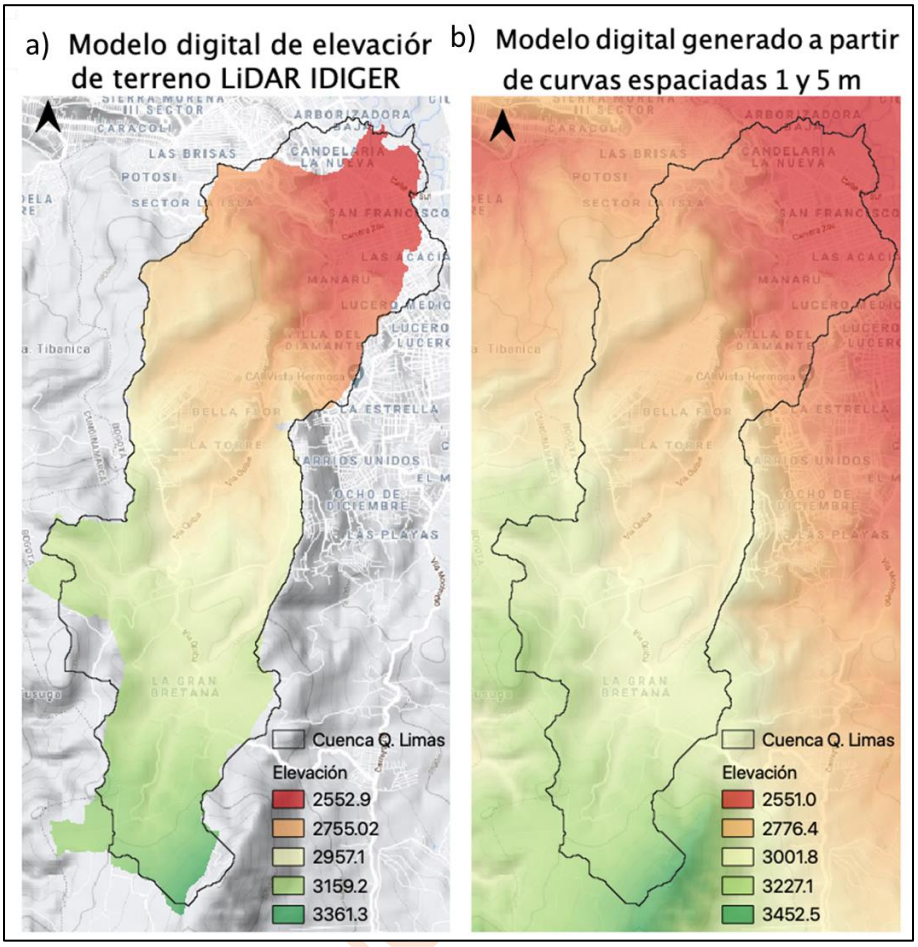


Figura 13 Tamaño de los modelos digitales del terreno: a) DTM LiDAR IDIGER b) DTM a partir de Curvas de Nivel

Fuente: Informe Hidrología, IDIGER 2022

El modelo digital para toda la cuenca Limas obtenido a través de la combinación de estas dos fuentes de información cartográfica se muestra en la Figura 14.

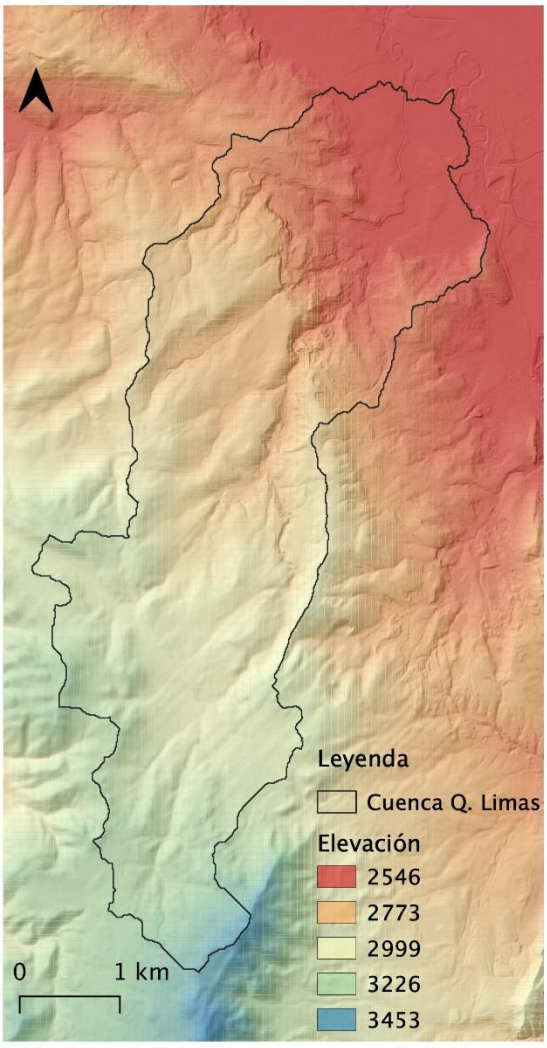


Figura 14 Modelo digital de terreno para toda la cuenca de la quebrada Limas

Fuente: Informe Hidrología, IDIGER 2022

Todos los insumos cartográficos utilizados para los análisis de zonificación de amenaza de movimientos en masa de suelo rural de la Cuenca Limas se presentan en el ANEXO 02.

5.3 INSUMOS TEMÁTICOS

Desde la parte de insumos antecedentes se cuenta Los estudios temáticos disponibles para la cuenca corresponden a los obtenidos en el proyecto*: "Evaluación de Riesgo por Avenidas Torrenciales y/o Crecientes Súbitas para la Cuenca de la Quebrada Limas"*.

Entre los estudios temáticos disponibles se resaltan:

- **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 diciembre de 2021, a escala 1:2000.
- **Susceptibilidad Geomorfológica a Avenidas Torrenciales:** a escala 1:2000, enfocada en la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas.
- **Espesores de Suelo:** Corresponde a un mapa de espesores de suelo obtenido de un análisis de regresión múltiple a partir de puntos observados en la cuenca.
- **Hidrología y Evaluación del Drenaje Superficial:** se cuenta con información hidrológica la cual se incluirá en los análisis en el escenario más desfavorable.
- **Sismología:** Las condiciones de amenaza sísmica a utilizar serán las establecidas para la zona conforme a la normatividad vigente.

5.4 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".

Versión Inicial

6. FACTORES INTRÍNSECOS

A continuación, se presenta el desarrollo de la geología, unidades geológicas superficiales, elementos geomorfológicos y cobertura de tierra y uso del suelo para el área de estudio.

6.1 GEOLOGÍA

Aquí se presenta la descripción geológica de los materiales presentes en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas, asociada principalmente a la identificación de las Unidades Geológicas Superficiales UGS, así como el contexto de geología estructural y meteorización en la cuenca.

6.1.1 Geología estructural

La cuenca presenta una alta complejidad tectónica relacionada con los esfuerzos enmarcados en un estilo estructural compresivo asociado al levantamiento de la Cordillera Oriental, que suponen un control estructural sobre la red de drenaje de la cuenca, dando la evidencia de la morfología asimétrica de la cuenca.

Se presentan cuatro (4) direcciones preferenciales como las que se pueden ver en la Figura 15 y se describen en la Tabla 6, dentro de los que se pueden distinguir fallas y lineamientos en dirección NNW – SSE, con trazos paralelos entre sí, como la falla Mochuelo, cuya expresión en superficie marca el cambio súbito del relieve entre la cuenca baja y la cuenca media, representado por un escarpe de falla que pone a cabalgar las rocas de la Formación Arenisca Labor – Tierna sobre rocas de la Formación Guaduas; pliegues menores con ejes paralelos a estos y fallas secundarias casi perpendiculares a los anteriores que generan un control estructural sobre las corrientes hídricas principales, los cuales presentan un patrón paralelo en dirección NE – SW. Este último, constituye la orientación preferencial de uno de los sistemas de fallas más importantes de la cuenca Limas (Fallas Limas y Primavera), porque, ejercen control estructural sobre algunas de las corrientes hídricas principales (Quebradas Honda y Trompetica).

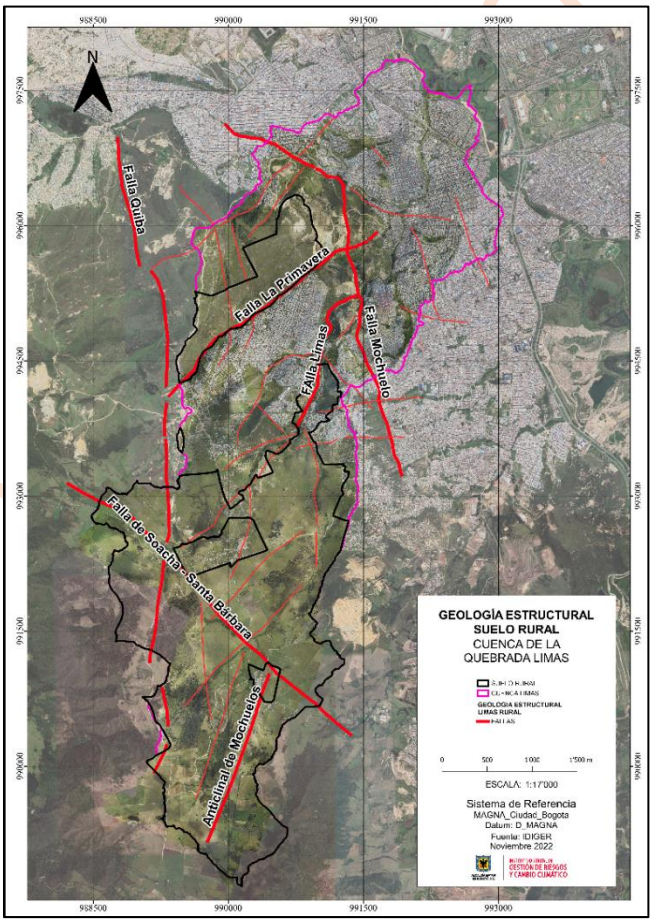


Figura 15. Geología estructural y direcciones preferenciales en la Cuenca Limas
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

Las principales estructuras que configuran el relieve en la cuenca de la quebrada Limas, corresponden a pliegues anticlinales y homoclinales erodados y afectados por fallamiento, principalmente asociado a la deformación de las rocas del Grupo Guadalupe. En la Tabla 6, se clasifican estas estructuras (fallas y pliegues) según las direcciones preferenciales identificadas, con el fin de contemplar el escenario geológico estructural en el que se encuentra la cuenca y de esta manera, establecer relaciones entre la geología como factor geo ambiental y las condiciones de susceptibilidad a movimientos en masa.

Tabla 6 Clasificación de las estructuras identificadas según su orientación estructural preferencial

ORIENTACIÓN PREFERENCIAL DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	ESTRUCTURA	OBSERVACIONES
NNW-SSE	**Falla Mochuelo**	Falla de componente vertical que pone a cabalgar las rocas de la formación Arenisca Labor – Tierna sobre rocas de la formación Guaduas y cuya expresión en superficie, marca el cambio súbito del relieve entre la cuenca baja y la cuenca media.
	Falla Quiba	Falla de rumbo localizada al costado occidental, afectando principalmente a las rocas del grupo Guadalupe
NE-SW	**Falla Limas**	Falla de tipo inverso con plano buzando al occidente.
	Falla Primavera	Falla de rumbo dextral y componente vertical que controla el curso de la quebrada Peña Colorada y se encuentra cubierta por depósitos de pendiente. Lineamientos paralelos generan control estructural sobre las quebradas Honda y Trompetica.
	Anticlinal de Mochuelo	Estructura muy fragmentada tectónicamente
NW – SE	**Falla Soacha-Santa Bárbara**	Falla de rumbo sinestral que pone en contacto las rocas de la formación Arenisca Dura con la formación Areniscas Labor-Tierna y cuya expresión en superficie marca cambios súbitos en la topografía circundante, representado en la presencia de zonas relativamente planas, distinguibles del relieve circundante.
	Falla Terreros	Falla inversa que rompe la secuencia del Grupo Guadalupe y lo pone en contacto con la formación Guaduas
E - W	**Lineamientos menores**	Lineamientos perpendiculares a la dirección general de la cordillera oriental, que pueden generar discontinuidades en la topografía

Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

De igual manera se identificaron fallas también paralelas entre sí con dirección NW – SE, cuya expresión en superficie se ve representada por cambio súbitos en la topografía de la cuenca, como es el caso de la falla Soacha-Santa Bárbara (rumbo sinestral), cuya topografía aproximadamente plana a lo largo del trazo de la misma, se distingue del relieve circundante conformando geoformas de origen estructural.

Versión final

6.1.2 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

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.

De acuerdo al enfoque del presente estudio, haremos 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, teniendo en cuenta la información geotécnica obtenida a partir de apiques y sondeos principalmente, además de la fotointerpretación de las unidades en planta.

Las unidades geológicas superficiales en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas se encuentran representadas por macizos rocosos de muy mala calidad hasta macizos rocosos de regular calidad, cuya propiedad está determinada principalmente por el grado de fracturamiento y la incidencia de procesos erosivos superficiales, los cuales así mismo han sido de alguna manera acelerados por la actividad antrópica.

La Tabla 7 recopila las unidades geológicas superficiales y áreas de estas dentro del suelo rural de la cuenca. La Figura 16 ilustra el mapa de unidades geológicas superficiales zona rural presentes en la cuenca Limas.

Tabla 7 Unidades geológicas presentes en la zona rural cuenca Limas

UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	NOMENCLATURA	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Aluviones de cauce activo	Qa	48522.4486	4.8522	0.553%
Aluviones recientes	Qal	221934.1226	22.1934	2.527%
Terrazas aluviales matriz soportadas	Qal1	19112.9573	1.9113	0.218%
Terrazas aluviales clasto soportadas	Qal2	0.8332	0.0001	0.000%
Terrazas aluviales foto interpretadas	Qal3	27004.6268	2.7005	0.308%
Depósito de flujos de detritos	Qdf1	1442.8111	0.1443	0.016%
Depósito de flujo de materiales mixtos	Qdf2	5396.8461	0.5397	0.061%
Depósitos coluviales clasto soportados	Qdp2	18581.1291	1.8581	0.212%
Depósitos coluviales matriz soportados	Qdp3	149247.0943	14.9247	1.700%
Llenos de escombros	Qe	23057.7587	2.3058	0.263%
Rellenos antrópicos clasto soportados	Qra2	30501.1060	3.0501	0.347%
Botaderos moderadamente compactados	Qrb1	15286.2971	1.5286	0.174%
Botaderos recientes	Qrb2	9145.8510	0.9146	0.104%
Suelo residual de terraza de falla	Qsr1	889889.6526	88.9890	10.134%
Macizo rocoso de muy mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Labor - Tierna	Rmmsglt	47889.6457	4.7890	0.545%
Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Dura	Rmsgd	2058424.2617	205.8424	23.441%

Versión Inicial

UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	NOMENCLATURA	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Labor - Tierna	Rmsglt	1603196.0552	160.3196	18.257%
Macizo rocoso de mala calidad de lodolitas de la Formación Plaeners	Rmsgp	1399072.8198	139.9073	15.932%
Macizo rocoso de regular calidad de areniscas de la Formación Arenisca Dura	Rrsgd	676339.3371	67.6339	7.702%
Macizo rocoso de regular calidad de lodolitas de la Formación Plaeners	Rrsgp	22156.6995	2.2157	0.252%
Suelo residual de la Formación Arenisca Dura	Sksgd	881531.5925	88.1532	10.039%
Suelo residual de la Formación Arenisca Labor - Tierna	Sksglt	417360.1186	41.7360	4.753%
Suelo residual de la Formación Plaeners	Sksgp	213817.0193	21.3817	2.435%
Suelo transportado de terraza fluviotorrencial	Sttf	2371.0374	0.2371	0.027%

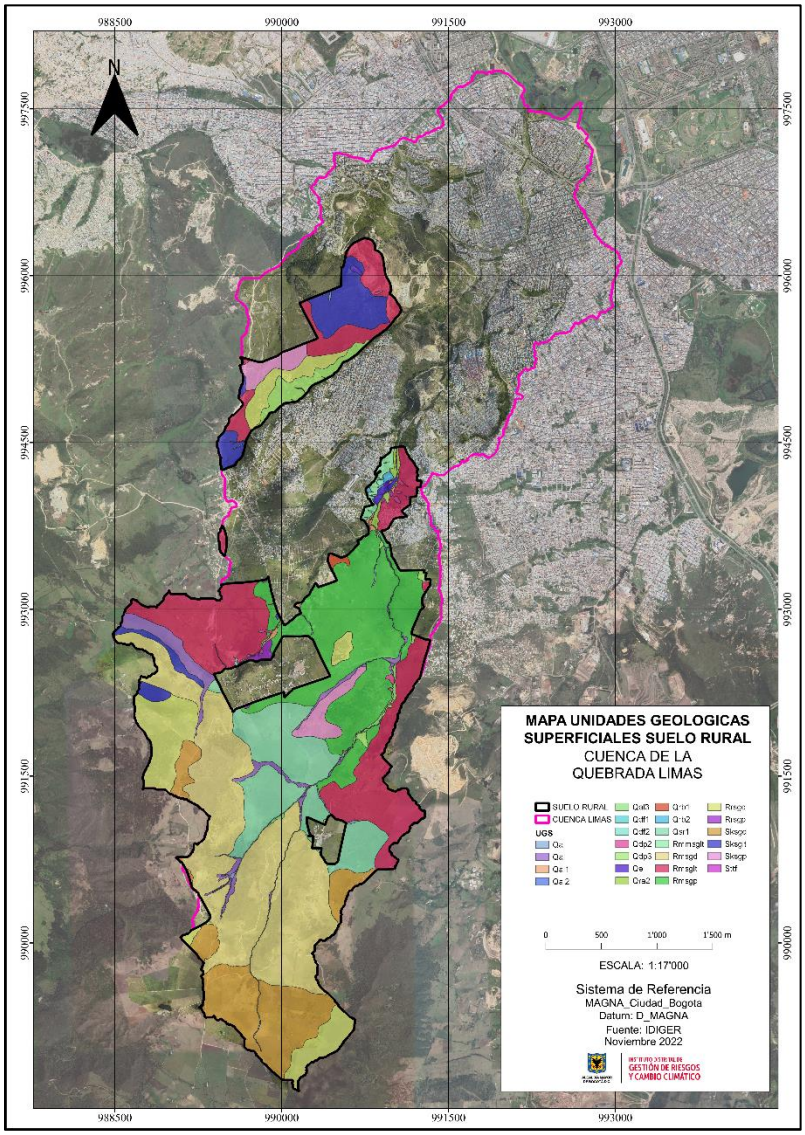


Figura 16 Unidades Geológicas Superficiales UGS presentes en la zona rural de la cuenca

6.1.2.1 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). Con el fin de establecer relaciones entre los tipos de rocas encontrados y la calidad de los mismos en términos de estructura y composición, se incluye la siguiente Tabla 8, 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 en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas.

Tabla 8. Clasificación de los macizos rocosos según su estructura y composición. Tomado y modificado de (SGC, 2017)

CALIDAD DE MACIZO	TIPO DE MACIZO	RANGO GSI	ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN
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
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.
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 deleznables con algunas limolitas deformadas entre las piezas de roca

De manera que, tal como se muestra en la siguiente Tabla 9, las unidades de roca en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas se encuentran representadas por macizos rocosos constituidos por materiales detríticos de muy mala calidad hasta macizos rocosos de regular calidad, pertenecientes a las formaciones de la más antigua a la más reciente (Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca Labor – Tierna).

Versión Final

Tabla 9. Unidades geológicas superficiales de roca, identificadas en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas

UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)	GSI
Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la formación Arenisca Dura (Rmsgd). Roca dura de arenisca, de grano fino a medio, cementadas, fuertemente fracturadas, con intercalaciones menores de limolita desintegrada parcialmente. No es clara la estratificación. Se considera de permeabilidad moderada, dependiendo del grado de fracturamiento y compactación. Localizados principalmente sobre la cuenca alta de la quebrada Limas. No presenta movimientos en masa asociados.	20 - 40
Macizo rocoso de regular calidad de areniscas de la formación Arenisca Dura (Rrsgd). Roca muy dura de arenisca, de grano fino a medio, cementadas. Se considera de permeabilidad moderada, dependiendo del grado de fracturamiento y compactación. Localizados principalmente sobre la cuenca alta de la quebrada Limas. No presenta movimientos en masa asociados.	40 - 60
Macizo rocoso de mala calidad de lodolitas de la formación Plaeners (Rmsgp). Intercalación de arcillolitas plásticas, lodolitas, limolitas silíceas con partición en cubos y en menor proporción capas delgadas de areniscas porosas de grano fino. El macizo rocoso se observa muy fracturado y altamente meteorizado. Se desarrollan suelos residuales de poco espesor. Se considera de permeabilidad lenta o baja y se localizan principalmente sobre la cuenca alta de la quebrada Limas.	20 - 40
Macizo rocoso de regular de lodolitas de la formación Plaeners (Rrsgp). Intercalación de arcillolitas plásticas, lodolitas, limolitas silíceas con partición en cubos y en menor proporción capas delgadas de areniscas porosas de grano fino. Se desarrollan suelos residuales de poco espesor. Se considera de permeabilidad lenta o baja y se localizan principalmente sobre la cuenca alta de la quebrada Limas en inmediaciones del centro poblado de Quiba Bajo.	40 - 60
Macizo rocoso de muy mala calidad de areniscas de la formación Arenisca Labor – Tierna (Rmmsglt). Arenisca de grano fino a medio, fuertemente fracturada, de color amarilla gris con oxidaciones, se identifican más de cuatro familias de diaclasas rellenas con material limo arcilloso. Se considera de permeabilidad alta o rápida. Localizados principalmente sobre la cuenca media de la quebrada Limas, en inmediaciones de los barrios Bella Flor y Mirador El Paraíso. Presenta depósitos coluviales y movimientos en masa de tipo flujo, susceptibles a sufrir reactivaciones.	0 - 20
Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la formación Arenisca Labor – Tierna (Rmsglt). Cuarzo areniscas de grano fino a medio, deleznable, en estratos inclinados (capas gruesas a muy gruesas) de roca fracturada y altamente meteorizada. En intersticios material limoso. Intercalados con capas muy delgadas de limolitas y arcillolitas con partición preferencial. Permeabilidad generalmente alta (rápida) dependiendo del grado de fracturamiento, cementación y compactación. Localizados principalmente al costado oriental y nor-occidental de la cuenca de la quebrada Limas. Presenta numerosos depósitos coluviales y movimientos en masa de tipo flujo, susceptibles a sufrir reactivaciones.	20 - 40

6.1.2.2 Unidades de suelo

El suelo es un depósito suelto o blando de origen natural formado en la superficie, el cual se debilita o ablanda por inmersión en agua; puede ser el resultado de procesos físicos, químicos y biológicos. 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, transportados y antrópicos. Son materiales geológicos

Versión final

considerados de baja resistencia al corte, naturalmente débiles o se pueden debilitar por procesos naturales.

6.1.2.2.1 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. Sin embargo, vemos como las condiciones áridas propias de este sector de la ciudad de Bogotá dan como resultado el desarrollo de suelos de tipo laterítico a partir de unidades rocosas compuestas principalmente por areniscas friables y arcillolitas, así como a partir de antiguos depósitos de pendiente. 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). De manera que, son suelos residuales de poco espesor, sin horizontes claros, con extensiones y profundidades heterogéneas y en algunas zonas está ausente debido a la inclinación de las pendientes y los procesos erosivos que actúan sobre los mismos. Las prácticas agrícolas que se desarrollan hacia la cuenca alta dan indicios de un desarrollo de suelo más fértil y posiblemente de mayor espesor.

- Suelo residual de la formación Arenisca Dura (Sksgd).

Se presenta como un suelo limo arenoso, tamaño de grano arena fina a media, color gris claro, no plástico, humedad baja y con desarrollo de suelo orgánico sin plasticidad (80 cm aprox.). Estos suelos corresponden a suelos grueso granulares, bien seleccionados, de compacidad moderada a débil (Figura 17).



Figura 17. Rocas de mala calidad y suelos residuales de la formación Arenisca Dura. Sector Quiba Bajo. Estación RC25. Coordenadas (N: 991 992, E: 989 449). Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

- Suelo residual de la formación Arenisca Labor – Tierna (Sksglt).

Suelo residual arenoso (fino a medio) de composición variada, con niveles gravosos (gravas medias a finas) y con intercalaciones de niveles arcillosos. Presenta clastos meteorizados, deleznable a la presión de los dedos y hacia la parte superior se observa desarrollo de suelo orgánico. Corresponde a un suelo grueso granular, moderadamente seleccionado, sin gradación, compacidad moderada a fuerte, generalmente denso (Ver Figura 18).

- Suelo residual de terraza de falla (Qsr1)

En la siguiente Figura 18, se puede observar la apariencia en superficie que exponen este tipo de suelos, asociados al trazo de la falla Soacha Santa-Bárbara que incide sobre la topografía circundante, dando como resultado la conformación de geoformas de origen estructural (Terraza o berma de falla). Se asocia a la formación Arenisca Labor – Tierna anteriormente descrita como material parental.



Figura 18. Apariencia superficial y en perfil de los suelos residuales de la formación Labor-Tierna. Sector Quiba Alto. Estación RC2. Coordenadas (N: 991 181, E: 990441).
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

- Suelo residual de la formación Plaeners (Sksgp).

Son suelos de composición limo-arcillosa a areno-limosa, moderadamente deleznable, meteorizado, de color rojizo, con presencia de gravas finas que se asocian a fragmentos de roca blanda de arenisca de grano fino. Tal como puede verse en la Figura 19, son suelos relativamente de poco espesor (1 – 2 metros), no obstante, son especialmente susceptibles a la erosión hídrica (carcavamiento) y a presentar movimientos en masa de tipo reptación.



Figura 19. Panorámica de suelos residuales de la formación Plaeners (Sksgp) Estación RC16. Coordenadas (N: 992 766, E: 990 174). Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

- Meteorización y Espesores

En la zona rural de la cuenca se resalta que el desarrollo de suelos residuales es generalmente de poco espesor, sin horizontes claros, profundidad heterogénea y ausentes en algunas zonas, debido a la inclinación de la pendiente y a los procesos erosivos que actúan sobre la misma. Las prácticas agrícolas que se desarrollan en la parte alta de la cuenca, indican allí posiblemente, un mayor espesor de suelos, con una mayor capa de suelo orgánico, sin embargo, menores pendientes que en la parte media de la cuenca.

En la Figura 20 se presenta un ejemplo de los materiales poco profundos de la zona de estudio, con profundidades variables entre 0.20 m a 1.20 m

Versión Inicial



Figura 20. Material residual de poco espesor asociado a la formación arenisca dura.

6.1.2.2.2 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.

- Depósitos aluviales.

Están compuestos por materiales recientes depositados por las corrientes, asociados con el material del lecho de las quebradas (sedimentos, basuras, desechos y escombros), así como depósitos de inundación y terraza (antiguos) los cuales se han clasificado de acuerdo con la estructura de soporte en depósitos clasto-soportados (Qal2) y depósitos matriz-soportados (Qal1), como los que se muestran en la Figura 21, localizados sobre el margen izquierdo de la quebrada Limas, limite oriental del barrio La Torre, naturalmente susceptibles a sufrir procesos de socavación hídrica. Se incluyen aquí los depósitos aluviales relacionados con los materiales más recientes actualmente transportados por las corrientes hídricas (Qa), en donde se ha observado que, hacia la parte alta de la cuenca el agua es clara con materiales en el fondo del lecho que alcanzan tamaños hasta gravas finas. Hacia la parte media de la cuenca se observa el agua turbia, con materiales finos transportados en suspensión y basuras, en donde comienzan a formar parte del lecho

Versión N

bloques subangulares a subredondeados, asociados a depósitos coluviales que han sufrido poco o ningún transporte.



Figura 21. Apariencia en campo de depósitos aluviales de terraza matriz soportados (Qal1) Tramo R170. Margen izquierdo de la quebrada Limas. Barrio La Torre. Estación RC9. Coordenadas (N: 993 754, E: 990 708).
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

Hacía la parte baja de la cuenca se comienza a observar que los depósitos actuales de la quebrada se componen principalmente de desechos de construcción, basuras y muy posiblemente estériles de las canteras; los clastos alcanzan tamaños hasta bloques (25 cm de diámetro), angulares a subredondeados que se presentan con mayor frecuencia hacía la zona de confluencia de las quebradas Peña Colorada y Trompetica con la quebrada Limas.

Haciendo un análisis de los tipos de depósitos aluviales identificados y de las implicaciones que representan sus propiedades composicionales, así como su localización en la zona rural de la cuenca en términos de altura, inclinación de la superficie, cambios súbitos en la topografía y control estructural, encontramos ciertas particularidades que pueden ayudar a explicar el comportamiento hidrodinámico de la cuenca.

Versión final

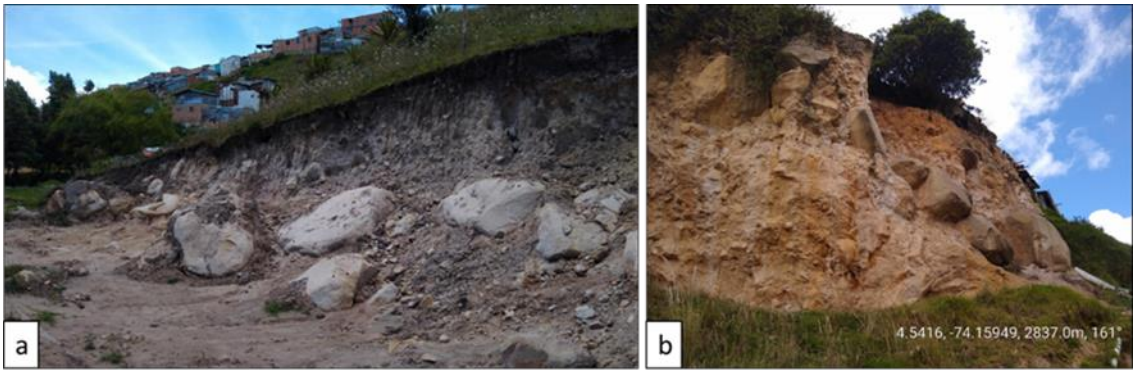


Figura 22. Suelos transportados de terraza fluviotorrencial conformando Terrazas “Colgadas” Tramo R170. Margen derecho de la quebrada Limas. Barrio Bella Flor Sur. a) Estación RC10. Coordenadas (N: 993 708, E: 990 791). b) Estación RC21. Coordenadas (N: 993 964, E: 990 900). Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

A continuación, en la Tabla 10 se resumen las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) de tipo aluvial que se identificaron en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas.

Tabla 10. Unidades geológicas superficiales correspondientes a depósitos de tipo aluvial en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas

NOMBRE DE UGS	ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
Aluviones de cauce activo	Qa	Depósitos actuales transportados por las corrientes hídricas, asociados con el material del lecho de las quebradas (sedimentos, basuras, escombros). Presentan espesores generalmente de 1 metro aproximadamente constituyendo zonas de morfología plana y conformados por material no consolidado, arenoso y limoso. Se consideran acuíferos generalmente libres, discontinuos y de naturaleza muy local (permeabilidad rápida). Se localizan constituyendo el lecho de las quebradas que conforman la cuenca Limas.
Aluviones recientes	Qal	Depósitos aluviales recientes de las corrientes, generalmente compuestos mayoritariamente por sedimentos arcillosos (inundación), de aproximadamente 1 metro de espesor, conformando zonas con pobres condiciones para almacenar y transportar fluidos (permeabilidad lenta). Se localizan mayormente sobre la cuenca alta asociadas al curso de las quebradas Limas y Quiba.
Terrazas aluviales clasto soportadas	Qal2	Depósitos clasto-soportados, compuesto por clastos que varían de gravas gruesas a bloques, subredondeados a redondeados, mal seleccionados, embebidos en una matriz areno limosa. Presentan un espesor aproximado de 3 metros, con porosidad primaria y buenas condiciones de permeabilidad (rápida). Localizadas sobre la parte baja de la cuenca asociadas a zonas de alta energía
Terrazas aluviales matriz soportadas	Qal1	Depósitos matriz-soportados, compuestos de material limo-arenoso, moderadamente seleccionados, con clastos que varían de tamaño arena media a gravas finas (5%), sin gradación y de consistencia media. Presentan aproximadamente 2 metros de espesor, con moderadas condiciones de permeabilidad.

Versión Final

NOMBRE DE UGS	ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
		Localizadas principalmente sobre los costados de la quebrada Quiba.
Terrazas Aluviales Foto interpretadas	Qal3	Interpretadas a partir de insumos digitales (fotos, DTM). No es posible establecer composición. Permeabilidad moderada (inferida). Se encuentran ampliamente distribuidas por la cuenca, asociadas a las quebradas Limas, Quiba y Trompetica.
Suelo transportado de terraza fluviotorrencial	Sttf	Depósitos aluviales antiguos de alta energía (flujo torrencial), constituidos por gravas y clastos de hasta 2 de diámetro, subredondeados a subangulares, en una matriz limo-arcillosa. Localizados a una cota más alta que el nivel base de la quebrada. Este tipo de depósitos presenta generalmente una permeabilidad moderada y en campo exhiben espesores de hasta 3 metros. Se localizan sobre el margen derecho de la quebrada Limas, hacia el sureste del barrio Bella Flor y en las inmediaciones del desarrollo El Ensueño.

- Depósitos de pendiente (Qco).

Corresponden a depósitos de ladera, provenientes de antiguos movimientos en masa, originados por procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidro-gravitacionales, en suelos saturados y no saturados, localizados mayormente sobre la cuenca media y baja de la quebrada Limas. Corresponden a depósitos heterogéneos, ligeramente plásticos, matriz soportados a clastos soportados, sueltos, que se caracterizan por presentar bloques mayormente angulosos.

Inicialmente podemos ver que los depósitos relacionados con Flujos de detritos (Qdf1) están asociados generalmente a materiales granulares generados a partir de la desintegración de rocas de tipo arenoso-friable como las areniscas de la formación Labor y Tierna, localizándose esporádicamente sobre la cuenca, principalmente sobre el costado izquierdo de la quebrada Quiba y al norte de la cuenca en zonas de cantera, en donde la disposición de las capas en pendiente estructural y el intenso fracturamiento configuran escenarios canalizados para el desarrollo de este tipo de procesos.

De igual manera, la formación Arenisca Labor y Tierna también se asocia con los depósitos coluviales clasto soportados (Qdp2) (Ver Figura 23), en este caso localizados sobre la ladera derecha de la quebrada Limas sobre la que se constituye una faceta triangular como producto de la incidencia tectónica de la falla Limas. Es posible encontrar también depósitos coluviales matriz soportados (Qdp3) en este caso asociados a rocas y suelos compuestos mayormente por sedimentos finos (limos y arcillas) como los que constituyen a la formación Plaeners, en donde se desarrollan procesos de meteorización física y química en laderas de pendientes abruptas a escarpadas (15° - 45°). Depósitos de este tipo se encuentran así mismo sobre la cuenca alta de la quebrada Peña Colorada, sobre los que comienzan a desarrollarse suelos residuales debido a la escasa cobertura vegetal tal como se muestra en la Figura 24.

Finalmente, como producto de las actividades antrópicas llevadas a cabo en las partes más altas (cimas) de las colinas residuales sobre las que se emplazan los barrios La Torre, Mirador y Bella Flor, se constituyen depósitos de flujo de materiales mixtos (Qdf2) sobre las

Versión Inicial

laderas del costado izquierdo de la quebrada Limas, constituidos por basuras, residuos de cantera, desechos y detritos generados a partir de la formación Arenisca Labor y Tierna. La localización de los mismos y su cercanía al cauce principal, hacen de la zona una de las más complejas debido a la mayor disponibilidad de materiales que puedan llegar a generar el represamiento del drenaje

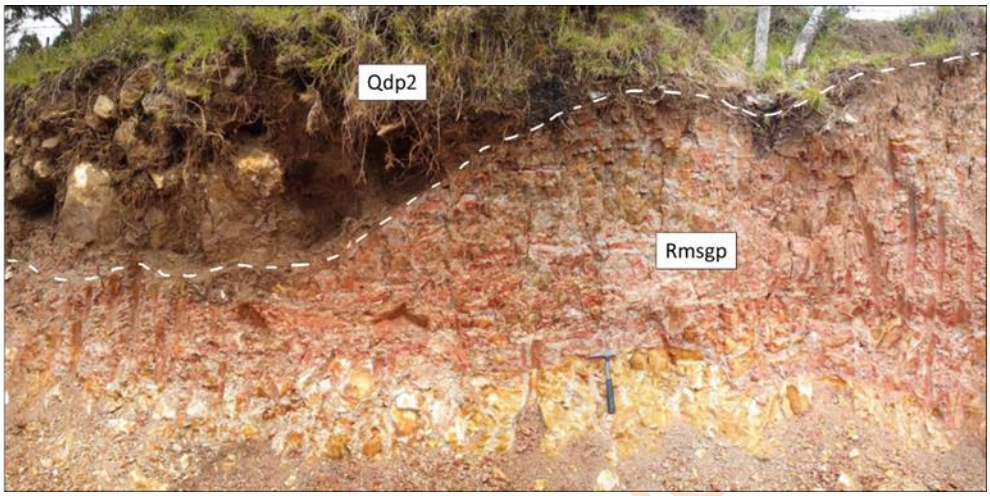


Figura 23. Deposito coluvial clasto soportado (Qdp2) sobre macizo de mala calidad de la formación Plaeners
Sector Quiba Bajo. Estación RC5. Coordenadas (N: 993 051, E: 989 930).
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)



Figura 24. Depósitos de pendiente matriz-soportados (Qdp3) sobre las márgenes de la quebrada Peña Colorada.
Estación RC28. Coordenadas (N: 994 987, E: 990 198).
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

En la siguiente Tabla 11 se resumen y describen los depósitos de tipo coluvial identificados en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas.

Tabla 11. Unidades geológicas superficiales correspondientes a depósitos de pendiente en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas

NOMBRE DE UGS	ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
Depósito de flujos de detritos	Qdf1	Depósitos clasto soportado a matriz soportado, compuesto principalmente por arenas y gravas gruesas, muy deleznable, sin gradación, mal seleccionado, denso y de compacidad moderada. Desarrollados sobre rocas de mala calidad de la formación Labor y Tierna. Presentan espesores de aproximadamente 1 metro y se consideran de permeabilidad rápida. Se localizan hacia la parte media de la cuenca y sobre la ladera izquierda de la quebrada Limas.
Depósito de flujo de materiales mixtos	Qdf2	Depósitos generalmente de tipo matriz soportado, conformado por materiales mixtos, basura, desechos, escombros y detritos, embebidos en una matriz limo-arenosa, muy húmeda. Desarrollados principalmente sobre las laderas escarpadas (suelos y rocas de la formación Labor y Tierna) del costado izquierdo de la quebrada Limas, como producto de actividades antrópicas en los desarrollos Bella Flor y Mirador El Paraíso, además de la incidencia del trazado de la falla Limas (fracturamiento). Presentan espesores cercanos a los 0.5 metros y se consideran de permeabilidad rápida. Son susceptibles a presentar reactivaciones.
Depósitos coluviales clasto soportados	Qdp2	Depósitos compuestos por bloques angulares a subangulares de variado tamaño, embebidos en una matriz de composición limo arenosa. Desarrollados mayormente sobre areniscas de calidad variable de las formaciones Labor y Tierna y Arenisca Dura. Presentan espesores de 0.5 a 4 metros y se consideran de permeabilidad moderada. Distribuidos ampliamente por toda la cuenca y localizados principalmente aledaños a las quebradas Quiba y Limas. Susceptibles a presentar reactivaciones.
Depósitos coluviales matriz soportados	Qdp3	Depósitos que presentan muy mala selección, clastos subredondeados y meteorizados. La matriz varía de acuerdo a la formación a partir de la cual se formaron, compacidad moderada y densos. Asociados mayormente a depósitos de pendiente dispuestos sobre laderas escarpadas constituidas por rocas de calidad variable de las formaciones Plaeners y Labor y Tierna. Presentan espesores generalmente de 2 a 3 metros y se consideran de permeabilidad moderada. Localizados sobre la cuenca de la quebrada Peña Colorada y la cuenca media de la quebrada Limas.

6.1.2.2.3 Suelos antrópicos

Los suelos antrópicos corresponden a materiales depositados por acción de las actividades desarrolladas por el hombre en torno a la cuenca hídrica, principalmente actividades de minería artesanal y rellenos usado como base fundacional para la construcción de viviendas (Ver Figura 25). Presentan una alta variedad composicional (residuos de construcción y minería, basuras y material granular removido de diversa índole) conformando depósitos matriz-soportados a clasto soportados con diferentes grados de compactación y que en

Versión final

ocasiones no cumplen ninguna función dentro del desarrollo urbanístico de la cuenca y que se encuentran expuestos directamente en superficie. Sin embargo, se incluyen aquí las estructuras implementadas sobre la parte baja de la cuenca de la quebrada Limas, como diques o jarillones paralelos a las márgenes del drenaje para el encauzamiento del mismo y como protección ante inundaciones, ya que la construcción de los mismos implica la presencia de terraplenes y la compactación de materiales de relleno.



Figura 25. Fotografía de detalle de la composición general de los suelos antrópicos

Las mayores áreas identificadas como zonas constituidas por depósitos antrópicos, se encuentran localizadas en zonas de cantera al norte de la cuenca compuestos por residuos de minería, algunos sin mayor compactación. Los anteriores fueron catalogados como Llenos de escombros (Qe), algunos de los cuales se encuentran actualmente fallados y amenazan con la obstrucción de la quebrada Peña Colorada. Se identifican también rellenos antrópicos mayormente de tipo clasto-soportado (Qra2), que corresponden a la compactación de escombros, desechos basuras y materiales granulares que se usan normalmente para la adecuación de viviendas u obras civiles en general, desde la parte media de la cuenca en donde se intensifican estas actividades constructivas. También se incluyen en esta categoría los botaderos (Qrb) con diferentes grados de compactación, dispuestos de forma inadecuada y conformando depósitos de gran tamaño como los que se identifican sobre la ladera izquierda de la quebrada Limas en el sector El Ensueño.

Particularmente se hace alusión también al escenario que se configura asociado a la quebrada Peña Colorada, en donde se identifica un movimiento en masa aparentemente de tipo rotacional y de carácter retrogresivo que involucra materiales de relleno dispuestos en el sector producto de antiguas actividades de minería artesanal, en las que se implementaron túneles para la extracción de carbones. Tal como se detalla en la Figura 26, el movimiento presenta grietas de tracción de 1m de ancho y de más de 2m de profundidad, configurando uno de los escenarios más complejos en el que intervienen además procesos de subsidencia del relleno antes descrito, con cambios de altura de hasta 3m. La localización de estas masas desplazadas y acumuladas sobre las márgenes del canal principal, así como zonas en donde se identifiquen cambios drásticos del gradiente, configuran áreas de interés de análisis, puesto que constituyen escenarios con un aumento considerable en la velocidad del flujo y poder erosivo.

Versión Inicial

En la Tabla 12 se definen los tipos de depósitos antrópicos encontrados en la cuenca de la quebrada Limas que, según la pertinencia del presente estudio, son naturalmente susceptibles a procesos de desestabilización.



Figura 26. Frente de explotación minera artesanal, formación Plaeners. Sector Quiba Bajo. Estación RC8. Coordenadas (N: 993 303, E: 990 423). Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

Tabla 12. Unidades geológicas superficiales correspondientes a suelos transportados de tipo antrópico en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas

NOMBRE DE UGS	ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
Llenos de Escombros	Qe	Desechos de actividad minera y materiales sueltos depositados por gravedad (desechos de construcción y basuras). También hacen parte los estériles compactados, que se comportan como depósitos clasto soportados, con clastos tamaño bloque en una matriz de arena fina a limo, deleznable, en general muy mal seleccionados. Presenta espesores de 0.5 a 4 metros aproximadamente y se considera de permeabilidad moderada. Localizados principalmente en zonas cantera hacia la cuenca baja de la quebrada Limas. Algunos de ellos actualmente fallados aledaños al curso de la quebrada Trompetica. Susceptibles a presentar procesos de erosión hídrica.
Botaderos moderadamente compactados	Qrb1	Botaderos antiguos (residuos de minería, escombros y basuras) que presentan algún grado de compactación y en ocasiones desarrollo de vegetación sobre su superficie. Presentan espesores de 2 a 4 metros y se consideran de permeabilidad moderada. Asociados a depósitos en zonas de cantera e inmediaciones del barrio San Francisco y desarrollo Mirador El Paraíso, sobre la cuenca baja de las quebradas Limas, Trompetica y Peña Colorada. Susceptibles a presentar procesos de erosión hídrica.

Versión inicial

NOMBRE DE UGS	ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN
Botaderos recientes	Qrb2	Materiales sueltos distribuidos indistintamente sobre el terreno (residuos de minería, escombros y basuras). Se localizan principalmente al costado norte del centro poblado de Quiba Alto y en inmediaciones del barrio Bella Flor y desarrollo El Ensueño. Presentan espesores de 2 hasta 8 metros con una permeabilidad rápida o alta, por consiguiente, se consideran susceptibles a procesos de erosión hídrica a partir de la incidencia del curso de las quebradas Honda y Limas.
Rellenos antrópicos clasto soportados	Qra2	Depósitos de espesor variable, correspondientes a la compactación de escombros, desechos y basuras, muy mal seleccionados, con clastos muy angulosos hasta tamaño gravas gruesas. Presentan espesores aproximadamente de 4 metros, considerados de permeabilidad moderada. Se localizan principalmente aledaños a las quebradas Trompetica, Honda y Limas.

6.1.3 Meteorización – Profundidad de suelo

La profundidad de suelo utilizara para el presente análisis, fue elaborada en el marco de la *"Evaluación de Riesgo por Avenidas Torrenciales y/o Crecientes Súbitas para la Cuenca de la Quebrada Limas*".

La estimación de la distribución espacial de la profundidad del suelo se realizó a partir de dos modelos:

1. *Un modelo de regresión lineal múltiple*. Este tipo de enfoques ha mostrado buenos resultados en cuencas de alta complejidad topográfica. La suposición fundamental aplicada es que la distribución espacial de la profundidad del suelo está relacionada con la topografía.
2. *Un método geoestadístico correspondiente a kriging con regresión* ya que este método ha mostrado ventajas y buen funcionamiento para obtener profundidades del suelo (Kuriakose et al. 2009).

Para realizar estos modelos se toman como base los 242 puntos de datos de medición de campo de profundidad ejecutados durante los meses de julio de 2019 a enero de 2020 y en el periodo enero a abril de 2022 para toda la cuenca Limas. La localización se evidencia en la Figura 27. La Figura 28 ilustra fotografías de algunos de los puntos de medición tomados.

Versión inicial

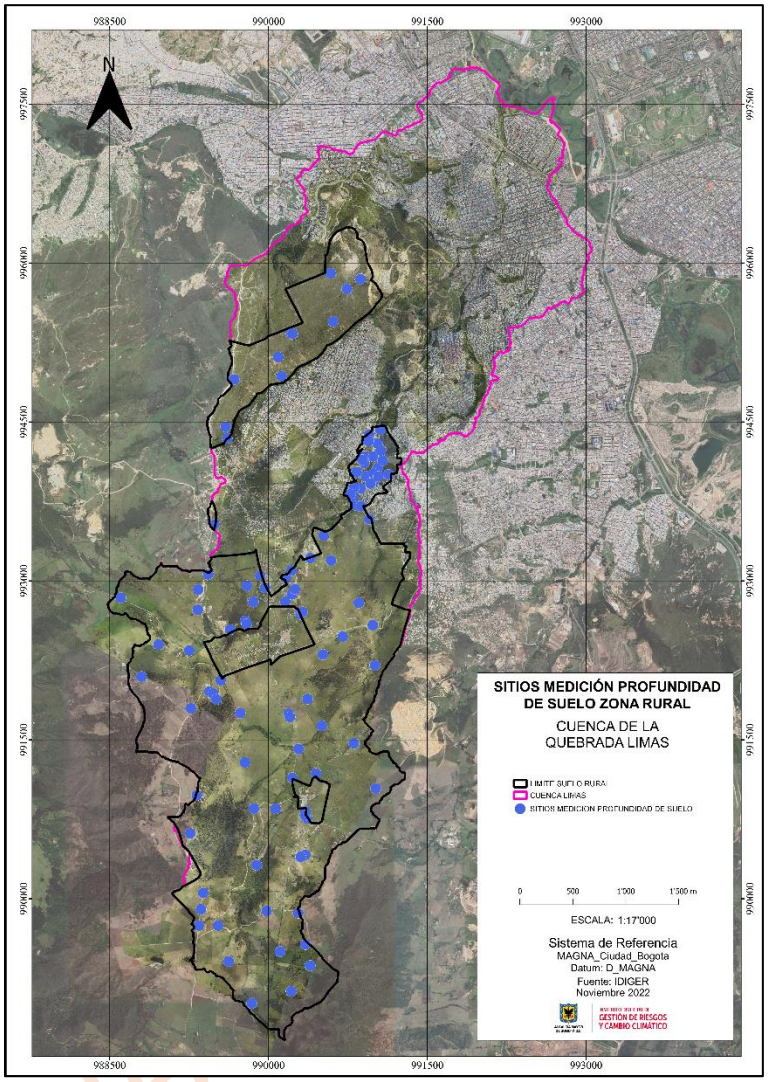


Figura 27 Localización sitios de medición de la profundidad del suelo en la cuenca de la quebrada Limas



Figura 28 Fotografías de algunos sitios de medición de la profundidad del suelo

Fuente: Evaluación de Riesgo por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas, IDIGER

Finalmente, se realizó una validación para ambos modelos (regresión lineal y RK) utilizando el método de validación cruzada dejando un dato fuera. Los resultados arrojan valores del RMSE similares para ambos modelos, sin embargo, el modelo obtenido con Kriging tiene un error ligeramente menor, por lo cual fue el usado en modelo OpenLISEM, y es el mismo utilizado para el modelo geológico - geotécnico para los análisis de la presente zonificación. En la Figura 29 se muestra el modelo de profundidad del suelo que se usara para los análisis posteriores, correspondiente al modelo proveniente de Kriging.

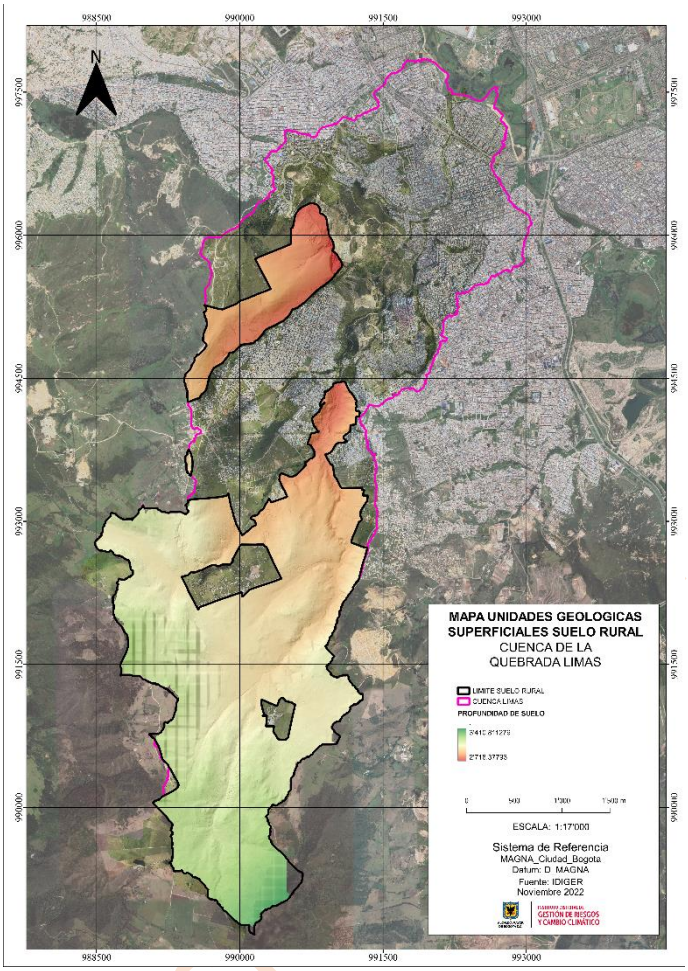


Figura 29 Mapa distribución espacial de la profundidad del suelo (m) para suelo rural.

6.1.4 Hidrogeología

Para el presente estudio, no se ahonda en el estudio de agua presente en formaciones geológicas, sin embargo, el análisis del comportamiento del agua subsuperficial se presenta en el capítulo condiciones de nivel de agua para análisis de estabilidad de taludes.

6.2 ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS

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. La cartografía geomorfológica, se realiza de acuerdo con la jerarquización geomorfológica adoptada con base en la propuesta hecha por (Carvajal, 2012), en la cual se utiliza el "Componente Geomorfológico" como la unidad cartografiable de mayor detalle, de acuerdo con la escala de trabajo 1:5.000, agrupados de acuerdo con características similares en cuanto a su origen, composición, procesos morfodinámicos, litología, grado de meteorización y tipo de suelo, entre otros.

6.2.1 Morfogénesis

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. La cuenca de la quebrada Limas es una cuenca relativamente joven que se está formando en un ambiente tectónico activo donde las principales estructuras favorecen el comportamiento de los drenajes y los procesos erosivos.

Los ambientes geomorfológicos predominantes en la zona rural de la cuenca son el denudacional y el estructural (Ver Tabla 13), 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.

Tabla 13. Ambientes morfogenéticos y porcentaje de influencia en la cuenca Limas

COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO	NOMENCLATURA	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	ÁREA (Ha)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Canteras	Ac	Antrópico	23.716	36.015	2.701%
Embalse	Aemb		0.011		0.001%
Planos y campos de llenos antrópicos	Ar		3.050		0.347%
Rellenos de basuras o rellenos sanitarios	Arb		2.443		0.278%
Rellenos de escombros y/o escombreras	Are		2.306		0.263%
Superficies de explanación	Asp		4.490		0.511%
Cima	Dc	Denudacional	31.593	356.988	3.598%
Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión	Dco		17.562		2.000%
Colina residual denudada	Dcrd		10.337		1.177%
Colina remanente	Dcre		113.395		12.913%
Escarpe de erosión menor	Deeme		27.173		3.094%
Ladera denudada	Dlden		0.222		0.025%
Ladera erosiva	Dle		34.923		3.977%
Ladera ondulada	Dlo		121.544		13.841%
Terrazas sobreelevadas “colgadas”	Dts		0.237		0.027%
Cauce aluvial	Fca	Fluvial	4.882	31.746	0.556%
Planicie aluvial confinada	Fpac		24.427		2.782%
Terraza de acumulación baja	Ftab		2.436		0.277%
Terraza o berma de falla	Sbf	Estructural	103.879	453.379	11.830%
Cornisa estructural	Scor		1.270		0.145%
Faceta triangular	Sft		6.974		0.794%
Ladera de contrapendiente	Slcp		178.363		20.312%
Ladera estructural	Sle		152.538		17.371%
Escarpe de línea de falla	Slfe		10.354		1.179%

Fuente: Tomado y adaptado de (Cuervo Silva, 2021)

Es de resaltar el contundente efecto que tiene la intervención antrópica en la cuenca, que transforma y desgasta la superficie además de aportar gran cantidad de residuos sólidos a las corrientes hídricas. La Figura 30 ilustra el mapa geomorfológico de la cuenca Limas.

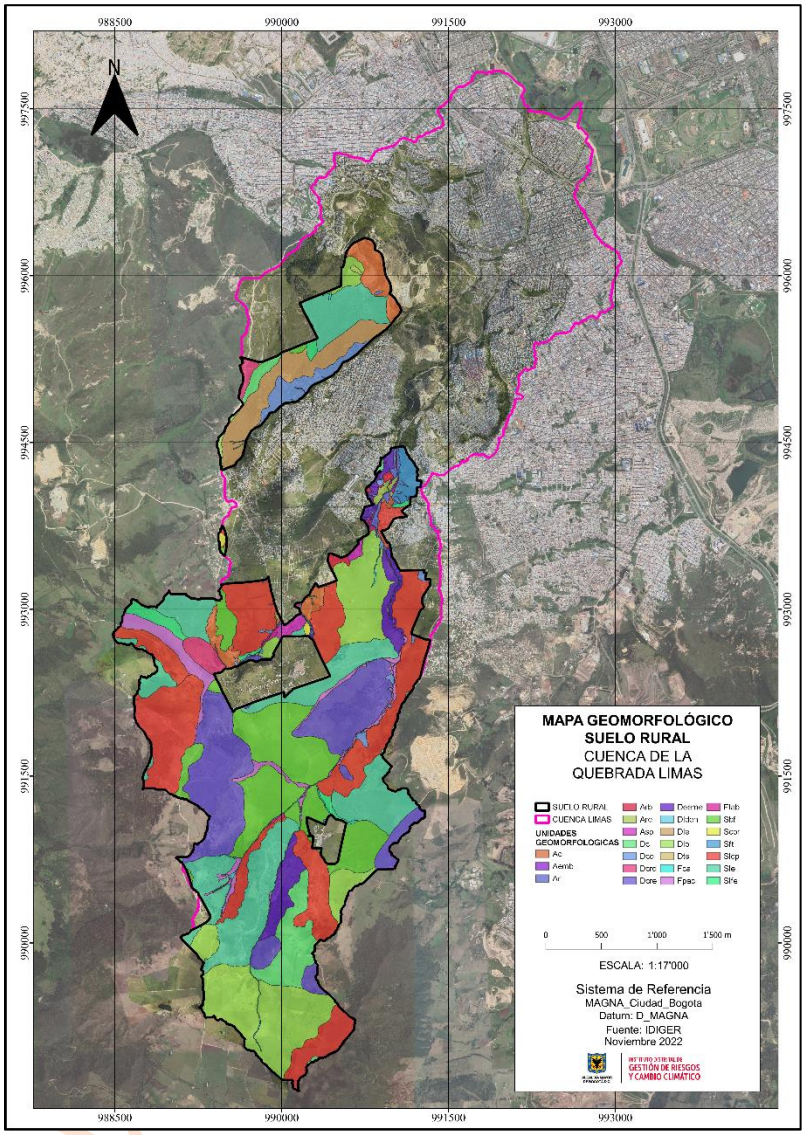


Figura 30. Mapa geomorfológico zona rural cuenca Limas

6.2.1.1 Componentes 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.

El ambiente denudacional estimulado por las condiciones climáticas áridas-semiáridas de esta región al SW de la ciudad de Bogotá y con un 20.36% (369.75 Ha), de incidencia en el área proporciona las condiciones necesarias de erosión para la conformación de geoformas residuales como cerros, colinas y cimas, asociados a procesos de erosión diferencial intensa que suavizan la superficie, desarrolladas mayormente a partir de materiales lodosos y arenosos-friables de las formaciones Plaeners y Labor Tierna respectivamente. Se incluyen naturalmente dentro de este ambiente, las geoformas relacionadas con el transporte y depositación de sedimentos, como los coluviones

originados por procesos de acumulación principalmente en la base de las laderas y generados tanto por procesos de escorrentía superficial como por flujo lento y viscoso de suelos saturados y no saturados. Estos depósitos son de amplia distribución en la zona rural de la cuenca, algunos de ellos susceptibles a presentar reactivaciones debido a las modificaciones por procesos denudativos posteriores e intervenciones antrópicas. A continuación, en la Tabla 14 se enlistan los componentes geomorfológicos de origen denudacional, indicando su porcentaje de cobertura.

Tabla 14. Componentes geomorfológicos de origen denudacional en la cuenca de la quebrada Limas

COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO	NOMENCLATURA	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Cima	Dc	315931.346	31.593	3.598%
Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión	Dco	175616.271	17.562	2.000%
Colina residual denudada	Dcrd	103373.340	10.337	1.177%
Colina remanente	Dcre	1133954.420	113.395	12.913%
Escarpe de erosión menor	Deeme	271734.195	27.173	3.094%
Ladera denudada	Dlden	2224.387	0.222	0.025%
Ladera erosiva	Dle	349234.241	34.923	3.977%
Ladera ondulada	Dlo	1215439.551	121.544	13.841%
Terrazas sobreelevadas “colgadas”	Dts	2371.040	0.237	0.027%

Fuente: Tomado y adaptado de (Cuervo Silva, 2021)

- Terrazas sobreelevadas “colgadas” (Dts)

Plano o superficie denudada de morfología alomada y colinada, de pendientes suavemente inclinadas que aparecen como relictos de antiguas terrazas y modelados fluviales, emplazados a una altura mayor que el nivel base del cauce actual. Corresponden a zonas afectadas por tectonismo o áreas donde los procesos de erosión son más influyentes que los de depositación. Se identificaron sobre el costado derecho de la quebrada Limas luego de la confluencia de la quebrada Quiba, como indicador de fenómenos de alta energía o torrenciales, los cuales se encuentran constituidos por gravas y clastos de hasta 2 de diámetro, subredondeados a subangulares, en una matriz limo-arcillosa.

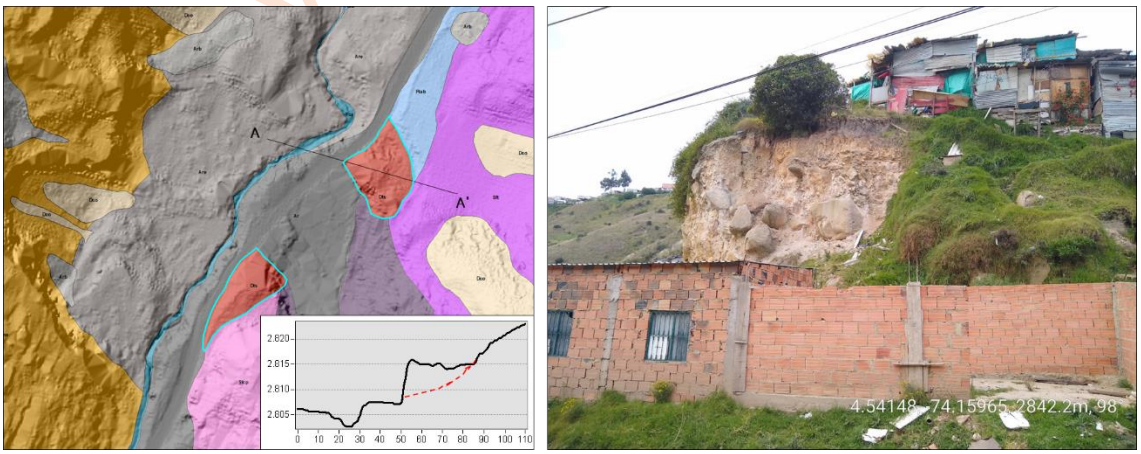


Figura 31. Terrazas colgadas (Dts) al costado derecho de la quebrada Limas (Cuervo Silva, 2021).

- Ladera ondulada (Dlo)

Superficies en declive de morfología alomada o colinada, de pendientes inclinadas a muy abruptas (5°- 30°) y longitudes que varía entre cortas y largas (50-1000 metros). El patrón de drenaje es subdendrítico a subparalelo. Estas laderas se desarrollan a partir de procesos de erosión y meteorización diferencial acentuada principalmente sobre areniscas friables de la formación Arenisca Labor - Tierna y lodolitas de las formaciones Plaeners y el miembro superior de la formación Guaduas. Presentan casos puntuales con desarrollo de procesos erosivos de tipo laminar y surcos.

- Ladera erosiva (Dle)

Superficie en declive de morfología alomada o colinada, de pendiente inclinada a escarpada y una longitud corta (50 - 250 metros). El patrón de drenaje es subdendrítico a subparalelo. Está constituida por areniscas y lodolitas del Grupo Guadalupe sobre las que inciden procesos estructurales y denudacionales, desarrollando una gran cantidad de procesos erosivos (hídrica y gravedad), ocasionados por la alta disección que ejercen numerosos drenajes y el desgaste y la acumulación de material trasportado por gravedad sobre la base de ladera. Localizada sobre la ladera izquierda de la quebrada Peña Colorada al costado nor-occidental de la cuenca Limas.

- Ladera denudada (Dlden)

Superficies de forma irregular, cóncava y/o convexa y patrón de drenaje subparalelo, de pendientes abruptas a escarpadas (16°- 46°) y de longitudes des cortas (50-250 metros). Se caracteriza por la presencia de procesos erosivos laminares y en surcos sobre materiales principalmente lodosos y arenosos pertenecientes a las formaciones Plaeners y Arenisca Labor - Tierna, acelerados por la incidencia denudativa y antrópica, ejercida por el intenso desarrollo de actividades constructivas en el sector. Se localizan al costado occidental de la cuenca de la quebrada Limas. Presentan desarrollo de procesos erosivos importantes, además de la conformación de depósitos coluviales hacia la base, susceptibles a procesos de erosión hídrica.

- Escarpe de erosión menor (Deeme)

Ladera cóncavo convexa, de longitud corta, con pendientes abruptas a muy abruptas; originadas por procesos de erosión fluvial lateral y/o fenómenos de remoción en masa a lo largo de corrientes fluviales, asociadas a las quebradas Limas, Honda y Quiba. Se destacan los localizados en inmediaciones del desarrollo El Ensueño, que presentan procesos erosivos y fracturamiento, así como desarrollo de numerosos movimientos en masa.

- Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (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 hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Tienen forma irregular y por lo general se encuentran movilizados a lo largo de laderas

Versión Inicial

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 areno - arcillosa. Son de amplia distribución en la cuenca, sin embargo, estas geoformas han sido modificadas por procesos denudativos posteriores e intervenciones antrópicas. Presentan una composición variable (detritos, escombros y basuras), además de presentarse con diferentes tipos de matriz (matriz soportada – clasto soportada), dependiendo el tipo de material a partir del cual se originan.

En la siguiente Figura 32 se delimita depósito de coluvión con aproximadamente 4m de espesor, localizado en antigua zona de cantera al norte de la cuenca Limas, generado según información de la comunidad, como producto de un sismo que ocurre entre octubre y noviembre de 2009. Además, en el sitio se han presentado fenómenos de subsidencia del terreno con una diferencia de aproximadamente 10m de altura, generados también a partir del evento sísmico y condicionado por la presencia de túneles bajo la superficie implementados en labores de minería artesanal de los años 60s.



Figura 32. Panorámica de Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)
Localizado sobre zonas de canteras al costado SW del barrio San Francisco. Estación RC42.
Coordenadas (N: 995 573, E: 991 629).
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

Dentro de esta geoforma encontramos cierta variedad en cuanto a la composición y tipo de matriz de los depósitos, las cuales fueron asociadas al material sobre el que se han desarrollado. Es así como a partir de rocas blandas (arcillosas) como las formaciones (Plaeners, Guaduas), se encontraron depósitos de tipo matriz soportado y sobre materiales pertenecientes a las formaciones de carácter arenoso como Labor y Tierna y Arenisca Dura, se identificaron movimientos en masa que involucran material granular arenoso constituyendo depósitos mayormente clasto soportados

- Colina residual denudada (Dcrd)

Prominencias topográficas que no muestran una dirección preferencial, ya que proceden de la degradación diferencial de geoformas preexistentes, debido a la acción prolongada de procesos denudacionales. Presentan elevaciones del terreno menores a 200 m sobre su nivel base, con contraste de relieve moderado, con cimas redondeadas, laderas de longitud corta a moderada, de pendiente inclinada a abrupta, cóncavo convexas, ligeramente disectadas. Constituidas por areniscas friables de la formación Arenisca Labor - Tierna, así

como por materiales lodosos pertenecientes al miembro superior de la formación Guaduas, aledaños al curso de las quebradas Quiba y Honda, cuenca media de la quebrada Limas.

- Colina remanente (Dcre)

Prominencia topográfica aislada con una altura entre 60 y 100 metros sobre su nivel de base local, que presenta una cima redondeada y amplia limitada por laderas cortas a moderadamente largas de forma convexa a recta y pendientes abruptas a escarpadas, con un índice de relieve bajo a moderado. Su origen se asocia a procesos de erosión y meteorización diferencial acentuada y antigua. Se constituyen mayormente por areniscas de la formación Arenisca Dura los niveles más arenosos de la formación Plaeners como los que se localizan hacia la cuenca alta de la quebrada Limas, aledaña a la quebrada Quiba en el sector de Quiba Bajo.

- Cima (Dc)

Superficie amplia convexa a plana, dispuesta en franjas alargadas que bordean algunas divisorias de agua. Presentan pendientes planas a inclinadas con anchos entre 60 a 200 metros, limitadas por laderas cuya inclinación puede ser moderada a escarpada. Su origen se establece a partir de procesos meteorización, erosión intensa y actividades antrópicas. Se desarrollan principalmente sobre materiales arenosos pertenecientes a las formaciones Arenisca Dura y Arenisca Labor - Tierna, localizadas en inmediaciones de los barrios Mirador y Bella Flor.

6.2.1.2 Componentes de origen estructural

Como puede verse en la anterior Tabla 13, el ambiente morfogenético de más influencia en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas es el estructural con un 26.41% (479.72 Ha) de incidencia en el área el cual imprime algunas de las propiedades morfológicas más particulares de la superficie de la cuenca, además de su incidencia en el comportamiento hidrodinámico de la misma. Dentro de las anteriores se resaltan los cambios súbitos en la topografía a causa de fallas de cabalgamiento y la alineación estructural de drenajes tributarios a la quebrada, cuyas propiedades dan lugar a la conformación de geoformas de origen estructural como terrazas o bermas de fallamiento, facetas triangulares y cornisas estructurales entre las más relevantes. Son geoformas 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. A continuación, en la Tabla 15 se enlistan los componentes geomorfológicos de origen estructural, indicando su porcentaje de cobertura.

Tabla 15. Componentes geomorfológicos de origen estructural en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas

COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO	NOMENCLATURA	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Terraza o berma de falla	Sbf	1038792.488	103.879	11.830%
Cornisa estructural	Scor	12702.314	1.270	0.145%
Faceta triangular	Sft	69743.056	6.974	0.794%
Ladera de contrapendiente	Slcp	1783633.258	178.363	20.312%
Ladera estructural	Sle	1525384.921	152.538	17.371%

Versión Inicial

COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO	NOMENCLATURA	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Escarpe de línea de falla	Slfe	103537.660	10.354	1.179%

Fuente: Tomado y adaptado de (Cuervo Silva, 2021)

- Terraza o berma de falla (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 asociadas al trazo de las fallas de Quiba y Soacha - Santa Bárbara, hacia los costados sur y nor-occidental de la cuenca de la quebrada Limas.

- Cornisa estructural (Scor)

Saliente estructural u hombrera rocosa, tabular de morfología alomada suavemente inclinada. Se presenta a manera de repisa en laderas de contrapendiente generalmente irregulares a escalonadas. Su origen se debe a la acción conjunta de procesos estructurales y erosión diferencial en unidades duras y blandas. Constituidas por areniscas y lodolitas de las formaciones arenisca Labor - Tierna y Plaeners respectivamente. Se localizan en las inmediaciones del centro poblado de Quiba Bajo y aledaño al trazo de la falla Quiba al occidente de la cuenca.

- Faceta triangular (Sft)

Plano vertical a subvertical abrupto, recto con una geometría en planta triangular a trapezoidal (base amplia y techo angosto). Su origen se relaciona al truncamiento y desplazamiento de relieves estructurales o de interfluvios, por procesos de fallamiento y posterior erosión diferencial. Se constituyen por areniscas de la formación Labor - Tierna, asociadas al trazo de las fallas Quiba y Limas.

- Ladera de contrapendiente (Slcp)

Laderas de longitud corta a larga (51-1000 m), de forma irregular o escalonada definida por los planos de estratificación dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. Se presenta con una longitud corta a moderada, con pendientes muy abruptas (21°-30°), constituidas por areniscas y lutitas del Grupo Guadalupe y concentradas hacia la parte alta de la cuenca de la quebrada Limas, en inmediaciones del centro poblado de Quiba Alto.

- 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. Puede presentarse con longitudes de cortas a largas (50 - 1000 metros) y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas. En esta geoforma los datos estructurales no permiten establecer una asociación con alguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, homoclinal, monoclinal, entre otros). Se constituyen por rocas (areniscas y lodolitas) y suelos de calidad variable pertenecientes al Grupo Guadalupe, distribuidas ampliamente sobre la cuenca alta y media de la quebrada Limas.

Versión Inicial

- Escarpe de línea de falla (Slfe)

Planos verticales a subverticales, de longitud corta a muy corta, cóncavo a convexo y de pendiente abrupta. 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 sobre areniscas de la formación Labor - Tierna, que se evidencia hacia la parte media y baja de la cuenca de la quebrada Limas.

6.2.1.3 Componentes de origen fluvial

Estas subunidades incluyen las geoformas 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). Las geoformas de origen fluvial con un 1.62 % (28.05 Ha) de influencia, están representadas básicamente, por planicies, terrazas y llanuras de inundación asociadas al curso de la quebrada Limas, cuyas superficies también han sido modificadas por la depositación de material antrópico y por depósitos de pendiente. A continuación, en la Tabla 16 se enlistan los componentes geomorfológicos de origen fluvial, indicando su porcentaje de cobertura.

Tabla 16. Componentes geomorfológicos de origen fluvial en la zona rural de la cuenca

COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO	NOMENCLATURA	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Cauce aluvial	Fca	48824.319	4.882	0.556%
Planicie aluvial confinada	Fpac	244269.293	24.427	2.782%
Terraza de acumulación baja	Ftab	24362.490	2.436	0.277%

Fuente: Tomado y adaptado de (Cuervo Silva, 2021)

- Cauce aluvial (Fca)

Canales de forma irregular excavados por la erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces generalmente se presentan como valles estrechos en forma de “V” moderadamente encajados, asociados en gran parte al control estructural de fallas de rumbo y cabalgamiento o diaclasas con orientación preferencial NE-SW, como la de las fallas Limas y Primavera que se alinean a las quebradas Limas y Peña Colorada.

- Planicie aluvial confinada (Fpac)

Franja de terreno de morfología plana, muy angosta eventualmente inundable, en forma de “U”, limitada por otras geoformas de morfología colinada, alomada o montañosa, que bordean los cauces fluviales, en los cuales se observa el estrangulamiento o

Versión Inicial

estrechamiento del mismo. Se desarrollan principalmente en valles amplios, conformando planicies compuestas por sedimentos tamaño arcilla y limitadas por diversas causas (estructurales, coluviales y antrópicas). Estas unidades fueron identificadas a lo largo del cauce de la quebrada Peña Colorada, con evidencias de procesos de erosión hídrica acentuada (carcavamiento) sobre materiales mayormente lodosos y naturalmente susceptibles a procesos de alteración (depósitos de pendiente). En el sitio se forman canales de aproximadamente 2 metros de ancho. En épocas de lluvias intensas, la socavación lateral y la evolución natural del carcavamiento genera la desestabilización de los sectores aledaños al curso del drenaje.



Figura 33. Morfología en planta y perfil de Planicie aluvial confinada (Fpac), desarrolladas a lo largo de la quebrada Peña Colorada sobre depósitos arcillosos de pendiente.
Estación RC28. Coordenadas (N: 994 983, E: 990 201).
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

- Terraza de acumulación baja (Ftab)

Geoformas planas a ligeramente inclinadas menor a 5°, alargadas, limitadas por un talud o escarpe, adyacentes a los cursos actuales de los y ríos drenajes tributarios asociados. Se forman por la acumulación de material, mediante procesos fluviales, dejando diferentes niveles con alturas menores a los 3 metros. Los valles presentan formas en "V" y exhiben un patrón de drenaje anastomosado y meandriforme. Estas geoformas son fácilmente afectadas por erosión lateral y sujetas a inundaciones debido a la cercanía a las corrientes de agua. En la zona corresponden a las terrazas más recientes. Escenarios como este se desarrollan al costado oriental del barrio Bella Flor, en donde el curso de la quebrada Limas adquiere un patrón meandriforme dejando a su paso depósitos de baja energía matriz soportados (arcillosos), como los que se muestran en la siguiente Figura 34.

Versión

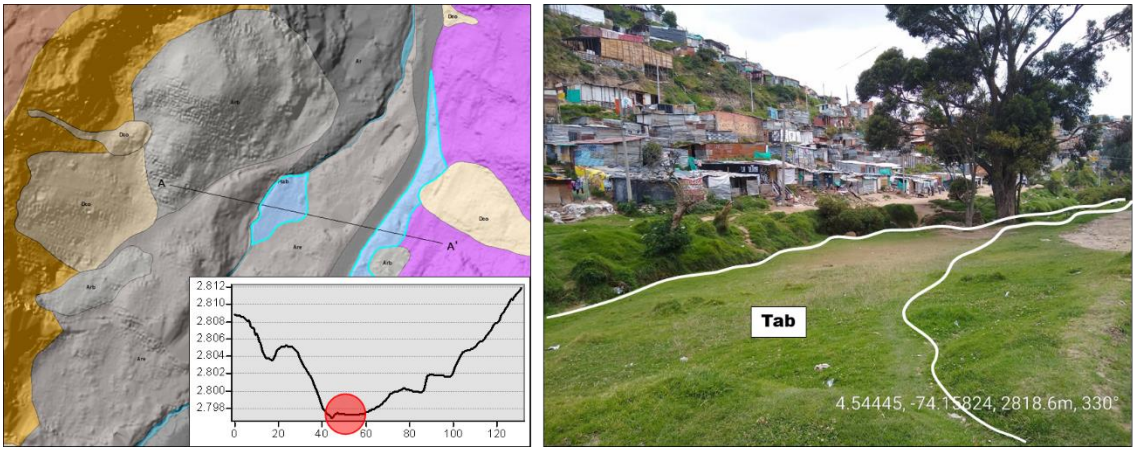


Figura 34. Morfología en planta, perfil y panorámica de Terraza de acumulación baja (Ftab), desarrolladas sobre el margen derecho de la quebrada Limas. Barrio Bella Flor. Estación RC22. Coordenadas (N: 994 298, E: 991 034). Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

6.2.1.4 Componentes de origen antrópico

Finalmente, la actividad antrópica con un 2.28% (41.42 Ha) de influencia, constituye dentro de la zona rural de la cuenca Limas un fuerte impacto sobre el relieve, con la presencia de actividades extractivas que genera el debilitamiento de los macizos rocosos, debido a la falta de planificación en el proceso. Lo anterior genera la disposición de materiales de manera desordenada sobre el terreno, que quedan expuestos a la erosión y posterior transporte, constituyendo volúmenes de material disponible a lo largo de las corrientes hídricas (Limas, Peña Colorada y Trompetica), además de modificar en algunos casos el trazado natural de las mismas. Se identifica también la reconformación del terreno mediante la compactación de desechos, basuras y escombros producto de actividades constructivas, que en algunos casos son modeladas por las corrientes fluviales que van incorporando este material a la corriente. A continuación, en la Tabla 17 se enlistan los componentes geomorfológicos de origen antrópico, indicando su porcentaje de cobertura.

Tabla 17. Componentes geomorfológicos de origen antrópico en la cuenca de la quebrada Limas

COMPONENTE GEOMORFOLÓGICO	NOMENCLATURA	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Canteras	Ac	237158.443	23.716	2.701%
Embalse	Aemb	105.011	0.011	0.001%
Planos y campos de llenos antrópicos	Ar	30501.100	3.050	0.347%
Rellenos de basuras o rellenos sanitarios	Arb	24432.149	2.443	0.278%
Rellenos de escombros y/o escombreras	Are	23057.759	2.306	0.263%
Superficies de explanación	Asp	44898.984	4.490	0.511%

Fuente: Tomado y adaptado de (Cuervo Silva, 2021)

- 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. Localizadas principalmente hacia la parte aja de la cuenca, al occidente de los barrios Juan

Versión inicial

José Rondón y San Francisco, así como aledañas al curso de la quebrada Quiba en inmediaciones del centro poblado de Quiba Bajo.

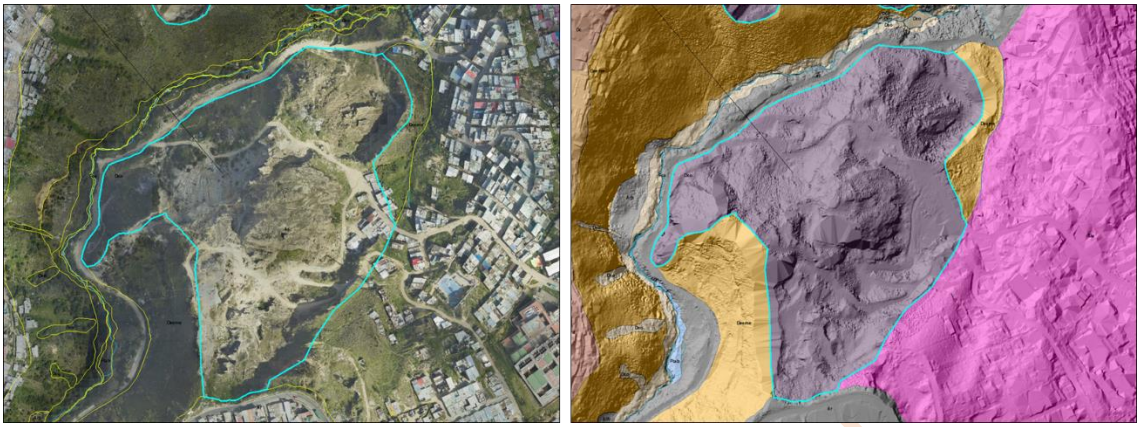


Figura 35. Vista en planta de Canteras (Ac), sobre foto mosaico y modelo de sombras.
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

Versión inicial

- Embalse (Aemb)

Acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de la quebrada Limas generada por el hombre para uso recreativo de la comunidad aledaña. Se presenta limitada por planicies aluviales y escarpes de erosión sobre los que se han generado procesos erosivos superficiales.

- Planos y campos de llenos antrópicos (Ar)

Superficies planas a suavemente inclinadas o ligeramente colinadas, con escarpes de pendiente abrupta, longitud y espesor variable que no supera los 4 metros, hechos artificialmente con material de relleno para la construcción de vías, canalización de drenajes, parques y/o acondicionar terrenos anegadizos. Técnicamente están compuestos por gravas, bloques y arena bien compactados, sin embargo, comúnmente son de escombros y desechos de construcción. Se localizan principalmente sobre la cuenca media y baja de la quebrada Limas y algunas márgenes de los cauces tributarios, modificando la morfología de las terrazas aluviales y así mismo son modeladas por las corrientes fluviales que van incorporando estos materiales a la corriente.

- Rellenos de escombros y/o escombreras (Are)

Corresponden a todo tipo de residuo sólido, resultante de demoliciones, reparación de inmuebles, construcción de obras civiles y actividad minera; es decir, los sobrantes de cualquier acción que se ejerza en las estructuras urbanas, en el cual el proceso de disposición puede ser técnico o no técnico. Se presentan como residuos sólidos dispuestos donde la morfología natural del terreno ha sido modificada como resultado de la actividad de las canteras. Generalmente corresponden a superficies planas a suavemente inclinadas en antiguas canteras y aledañas al curso de las quebradas Limas, Trompetica y Peña Colorada, en donde se disponen adicionalmente basuras y desechos que forman pequeños montículos sobre estas superficies.



Figura 36. Panorámica de Rellenos de escombros y/o escombreras (Are).
Estación RC41. Coordenadas (N: 991 685, E: 995 629).
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

- Rellenos de basuras o rellenos sanitarios (Arb)

Montículos alomados o aterrazados formados por la acumulación de desechos orgánicos o industriales sin diferenciar, los cuales son dispuestos de manera mecánica o manual. Se presentan como montículos formados por la acumulación indiscriminada de desechos y basuras, presentando diferentes grados de compactación y consolidación. Estos montículos presentan un contraste de relieve muy bajo, con laderas muy cortas y suavemente inclinadas. En algunos sectores modifican la morfología natural de las laderas. Se encuentran rellenos recientes de este tipo como los que se muestran en las siguientes figuras, conformando montículos sin compactación compuestos por escombros, basuras y desechos de minería, localizados sobre el curso de las quebradas Limas y Honda que limitan los barrios Bella Flor, La Torre y Nueva Esperanza.



Figura 37. Panorámica de Rellenos de basuras o rellenos sanitarios (Arb) de compactación moderada, sobre el costado derecho de la quebrada Quiba.
Estación RC20. Coordenadas (N: 993 414, E: 990 509).
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

Versión Final

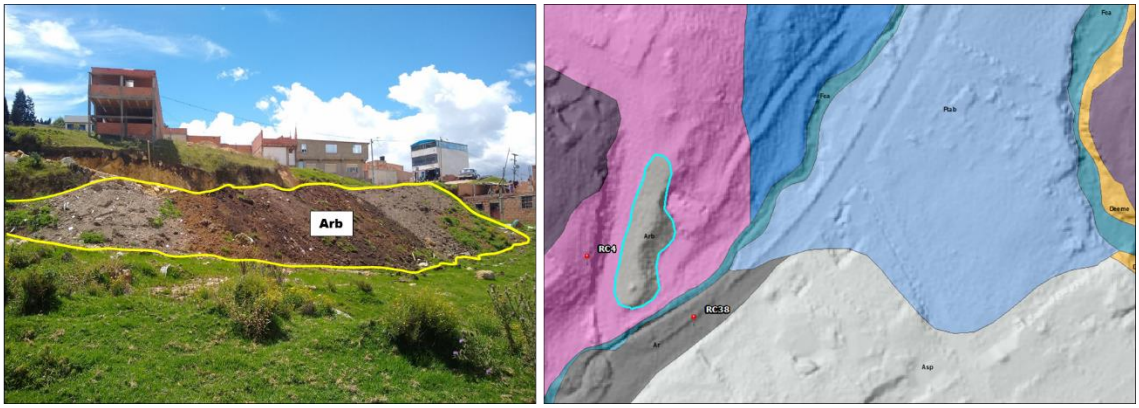


Figura 38. Panorámica y vista en planta de Rellenos de basuras o rellenos sanitarios (Arb) recientes y sin compactación, costado izquierdo de la quebrada Quiba.
Estación RC38. Coordenadas (N: 992 929, E: 990 037).
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

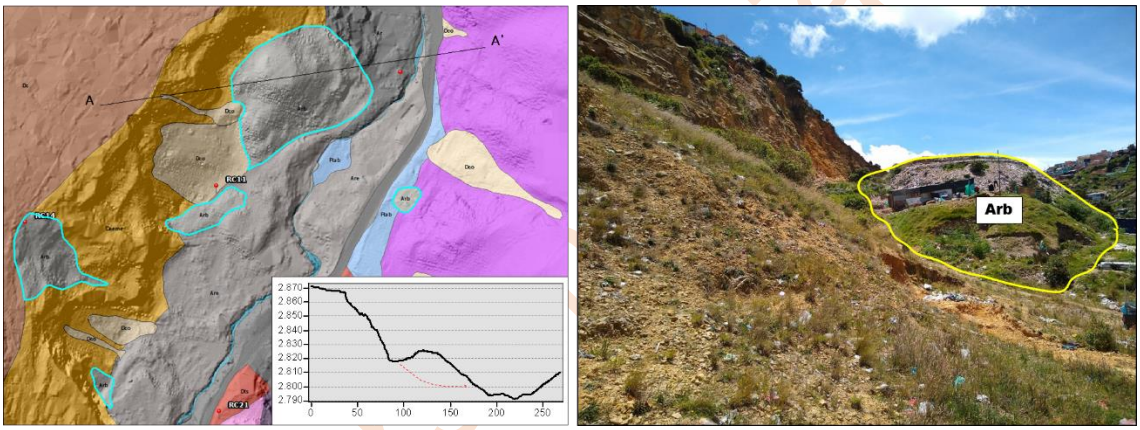


Figura 39. Vista en planta, perfil y panorámica de Rellenos de basuras o rellenos sanitarios (Arb) recientes y sin compactación, costado izquierdo de la quebrada Limas, sector El Ensueño.
Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

- Superficies 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 terraceos que disminuyen la pendiente del terreno. Implementadas principalmente en las inmediaciones del centro poblado de Quiba Bajo y en los barrios Brisas del Volador, Juan José Rondón, Villas de Bolívar, La Candelaria y San Francisco, sobre la parte baja de la cuenca de la quebrada Limas.

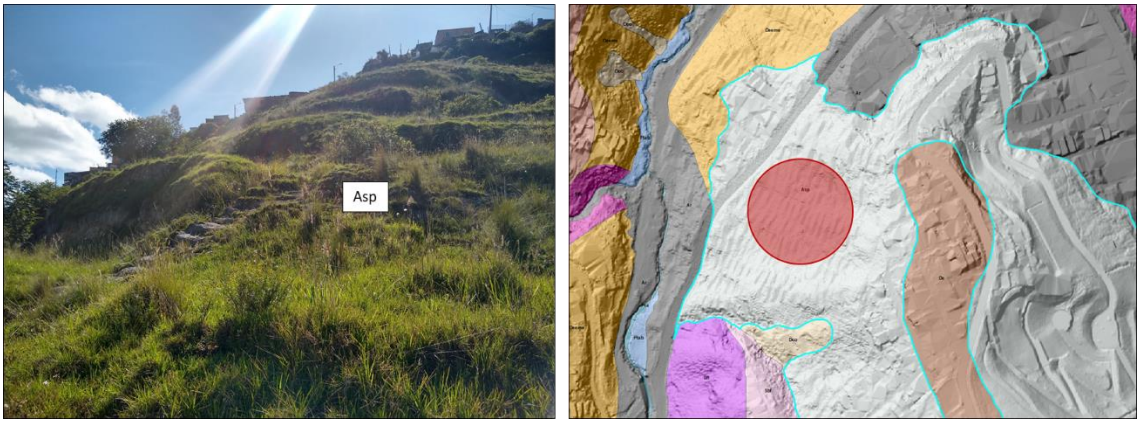


Figura 40. Panorámica y vista en planta de Superficies de explanación (Asp). Fuente: (Cuervo Silva, 2021)

6.2.2 Morfodinámica

El análisis de los procesos morfodinámicos y la elaboración de un inventario de procesos permite comprender la influencia de los diferentes factores involucrados en la generación de movimientos en masa. La importancia radica en que, si los movimientos en masa han ocurrido a partir de características particulares, podrían seguir ocurriendo de acuerdo a estas características.

Según lo propuesto en las Guías metodológicas del Servicio Geológico Colombiano para su caracterización es necesario realizar la representación cartográfica de dichos eventos, como insumos necesarios para la zonificación de la amenaza. El presente corresponde a un registro e identificación cartográfica general de movimientos en masa, teniendo en cuenta que un inventario requiere un amplio detalle. Estos fueron obtenidos a partir de criterios geomorfológicos identificados en fotointerpretación de imágenes de sensores remotos y trabajo de campo. En la Figura 41 se presentan los procesos de remoción en asa identificados en la zona rural de la cuenca.

En la Tabla 18 se resumen los movimientos en masa cartografiados en la zona rural con un total de 22 movimientos en masa cartografiados. Entre estos el mecanismo más frecuente es el deslizamiento con 16 evidencias (72.7 %), seguido por 2 flujos (9.1 %), 2 caídas (9.1 %) y por último 2 reptaciones (9.1 %). Esta información se toma como base para los análisis de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para la zona de estudio.

Versión Inicial

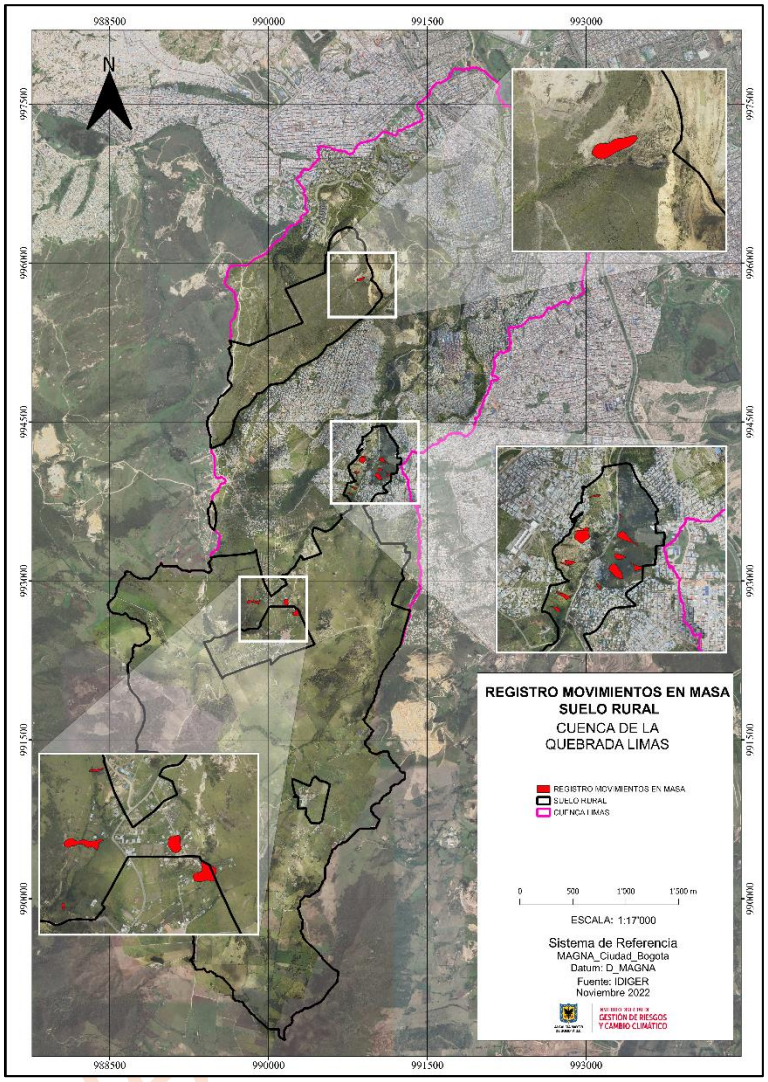


Figura 41 Mapa registro movimientos en masa suelo rural Cuenca Limas.

Tabla 18. Movimientos en masa en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas

TIPO	SUBTIPO	CANTIDAD	PORCENTAJE (%)
Deslizamientos	Traslacional	16	72.7%
Flujos	Flujo de tierra	2	9.1 %
Caídas	Caída de suelo	2	9.1 %
Reptación	Superficial	2	9.1 %

Fuente: Tomado y adaptado de (Cuervo Silva, 2021)

De acuerdo a los registros los procesos más comunes en la zona rural de la cuenca son los deslizamientos traslacionales, los cuales se localizan corresponden a suelos de poco espesor pertenecientes a las formaciones Arenisca Labor – Tierna y Plaeners, susceptibles a este tipo de procesos debido a sus propiedades composicionales y texturales (areniscas friables y arcillolitas), además de la incidencia de las intervenciones antrópicas en las que se disponen materiales de desecho y generan importantes aportes de aguas servidas desde la parte más alta de las laderas.

En el caso de los movimientos en masa de tipo flujo, se evidencia que los mismos se desarrollan sobre las areniscas friables de la formación Arenisca Labor – Tierna, en donde se configuran escenarios medianamente canalizados propios de este tipo de procesos, sobre escarpes de erosión del costado izquierdo de la quebrada Limas. Allí, es posible encontrar el desarrollo puntual de movimientos en masa de tipo caída, favorecidos por el disgregamiento de los materiales arenosos que componen los escarpes y la acumulación de detritos sobre la base de los mismos. Por último, se encuentran los movimientos en masa de tipo reptación, que se encuentra asociados a materiales finos (arcillolitas) pertenecientes a las formaciones Plaeners que constituye laderas estructurales y de contrapendiente sobre la parte media de la cuenca

En general se puede observar la baja proporción de movimientos en masa respecto al área de la zona de estudio, concentrándose en el sector de Bella Flor donde el factor antrópico afecta considerablemente el área.

6.2.3 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.

6.2.3.1 Pendientes

Se define como la inclinación de laderas respecto a un plano horizontal, permitiendo así obtener una categorización del terreno en rangos comunes. El método para la clasificación fue obtenido a partir un análisis de pendientes, arrojando como resultado que la mejor clasificación para el presente estudio era mediante rangos de Natural Breaks, el cual brinda una clasificación en rangos de acuerdo a los valores calculados para el área analizada. El análisis de pendiente se muestra en el ANEXO 03.

Para realizar el análisis se delimitó la zona de estudio tomando el modelo digital del terreno sin tener en cuenta aquellas zonas donde se complementó la información de LiDAR. En la Figura 42 se puede observar el mapa con los resultados de la discretización del terreno en función de la pendiente para la zona rural cuenca Limas. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 19.

Versión Inicial

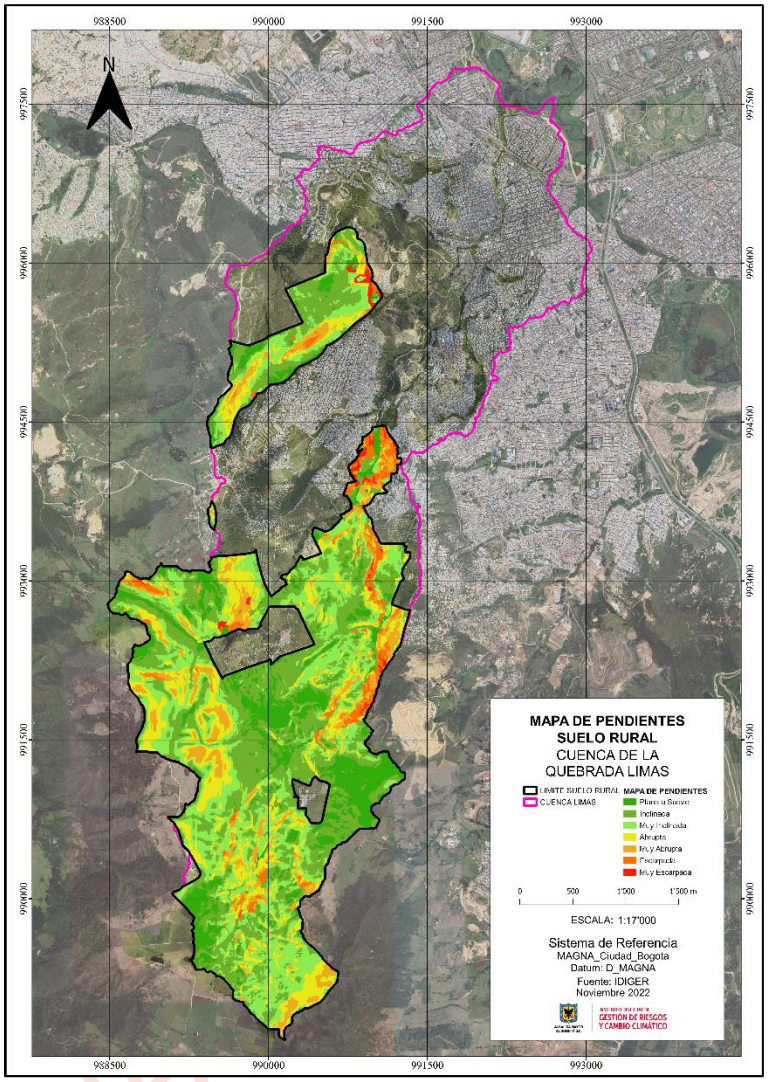


Figura 42 Mapa de pendientes para la zona rural de la cuenca Limas

Tabla 19 Rangos, áreas y porcentaje clasificación pendiente suelo rural de la Cuenca Limas

ID	INCLINACIÓN	RANGO INF.	RANGO SUP.	ÁREA (m^2)	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	Plana a Suave	0	5.2	1159714.3	116.0	13.21%
2	Inclinada	5.2	11.2	2817160.5	281.7	32.08%
3	Muy Inclinada	11.2	17.4	2305234.7	230.5	26.25%
4	Abrupta	17.4	24.6	1440861.5	144.1	16.41%
5	Muy Abrupta	24.6	33.1	699489.3	69.9	7.97%
6	Escarpada	33.1	44.6	287529.0	28.8	3.27%
7	Muy Escarpada	44.6	83.7	71314.3	7.1	0.81%

De los resultados obtenidos, se puede inferir que la zona rural de la cuenca tiene inclinaciones inferiores a muy inclinada (17.4°), pues aproximadamente el 71.54% de tiene

pendientes bajas. Las zonas de pendientes mayores corresponden a la menor proporción y se asocian a materiales rocosos.

6.2.3.2 Direcciones de laderas

De manera similar a la pendiente, se obtuvieron las direcciones de laderas para la zona rural de la cuenca. En la Tabla 20 se presentan los resultados obtenidos, mientras que en la Figura 43 se puede observar el mapa con los resultados de la discretización del terreno en función de las direcciones de laderas.

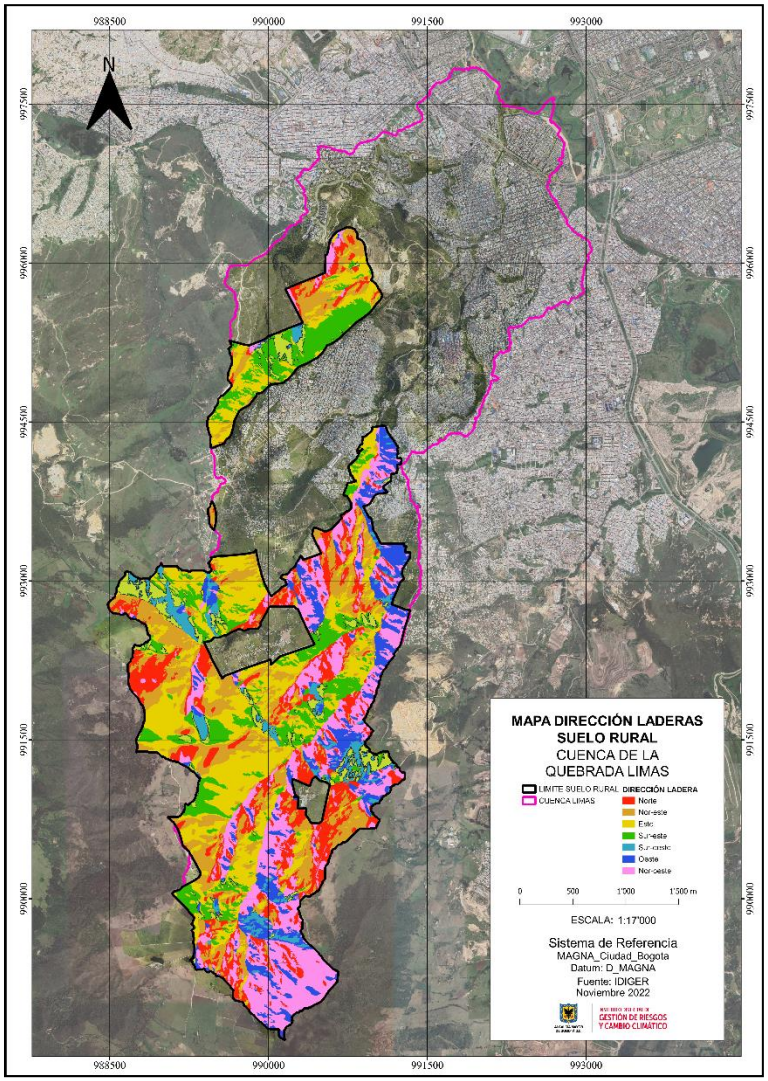


Figura 43 Mapa de direcciones de ladera para la zona rural de la Cuenca Limas

Esta variable busca permitir espacializar de mejor manera las variables analizadas, considerando laderas en formas precisas e individuales.

Tabla 20 Áreas y porcentaje aspecto suelo rural de la Cuenca Limas

ID	DIRECCIÓN	RANGO INF.	RANGO SUP.	ÁREA (m²)	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	Plano	0	0	0.0	0.0	0.00%
2	Norte	337.5	22.5	1234180.9	123.4	14.05%
3	Nor-Este	22.5	67.5	1517474.5	151.7	17.28%
4	Este	67.5	112.5	1981993.1	198.2	22.57%
5	Sur-Este	112.5	157.5	1026647.7	102.7	11.69%
6	Sur	157.5	202.5	395728.7	39.6	4.51%
7	Sur-Oeste	202.5	247.5	334037.1	33.4	3.80%
8	Oeste	247.5	292.5	741964.2	74.2	8.45%
9	Nor-Oeste	292.5	337.5	1549277.0	154.9	17.64%

De los resultados obtenidos, se puede inferir que la zona rural de la cuenca presenta en mayor proporción con un 22.57% áreas de ladera con dirección hacia el Este con aproximadamente 198.2 Ha, seguido de un 17.64% (154.9 Ha) y 17.28% (151.7 Ha) con direcciones de ladera hacia el Nor-oeste y Nor-este respectivamente.

6.3 COBERTURA DEL TERRENO Y USO DEL SUELO

A continuación, se presenta el análisis de coberturas y usos del suelo para el área de estudio.

6.3.1 Cobertura del terreno

La cobertura del terreno es un parámetro relevante para la determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa, dado que condiciona los niveles de infiltración en el terreno y la sobrecarga en el mismo.

La clasificación de la cobertura del terreno utilizara para el presente análisis, fue elaborada en el marco de la ""*Evaluación de Riesgo por Avenidas Torrenciales y/o Crecientes Súbitas para la Cuenca de la Quebrada Limas"*. Todo el proceso metodológico implementado para la clasificación, fuentes de información, procesos cartográficos y digitalizaciones para la obtención de esta clasificación se recopila en el ANEXO 04 INFORME TÉCNICO CLASIFICACIÓN DE SUELO.

La Figura 44 ilustra la cobertura de terreno a implementar en zona rural de la cuenca de la quebrada Limas.

Versión inicial

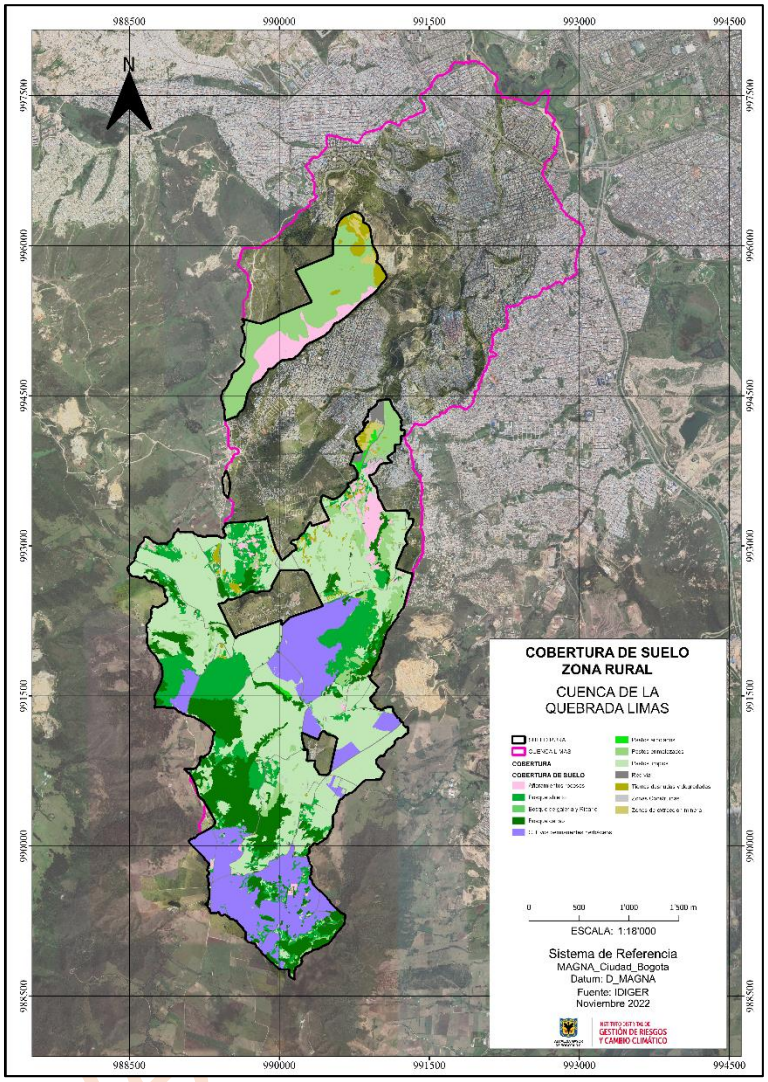


Figura 44 Cobertura del terreno en zona rural de la cuenca de la quebrada Limas

Fuente: Cobertura de uso del suelo (IDIGER, 2020)

La zona de estudio se caracteriza por presentar tres tipos de coberturas principales: pastos que corresponde con el 49.84%, cobertura tipo Bosque con un 24.74% y cultivos permanentes herbáceos que corresponde al 15.39%. Los resultados de las coberturas identificadas en el sector se resumen en la Tabla 21. La distribución de las áreas que ocupan las coberturas se muestra en la Figura 45.

Tabla 21 Tipo de cobertura de suelo zona rural de la cuenca

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA			No	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
NIVEL						
1	2	3				
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Zonas Construidas*	1	51395.34	5.14	0.59%
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	2	166407.18	16.64	1.90%
	1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera	3	64511.25	6.45	0.74%
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	4	1397623.68	139.76	15.94%
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios	5	3134086.30	313.41	35.75%
		2.3.2. Pastos arbolados	6	22360.79	2.24	0.26%
		2.3.3. Pastos enmalezados	7	1148386.84	114.84	13.10%
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1 Bosques	3.1.1. Bosque denso	8	1108877.19	110.89	12.65%
		3.1.2. Bosque abierto	9	1086791.85	108.68	12.40%
		3.1.4. Bosque de galería y Ripario	10	15000.94	1.50	0.17%
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.2. Afloramientos rocosos	11	409021.52	40.90	4.67%
		3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	12	162877.76	16.29	1.86%

Nota: * Este tercer nivel corresponde a Tejido urbano continuo según la clasificación Metodología CORINE Land Cover. Sin embargo, se ajusta debido a que se asocia a la zona rural.

Fuente: Procesamiento de la cobertura de uso del suelo (IDIGER, 2020)

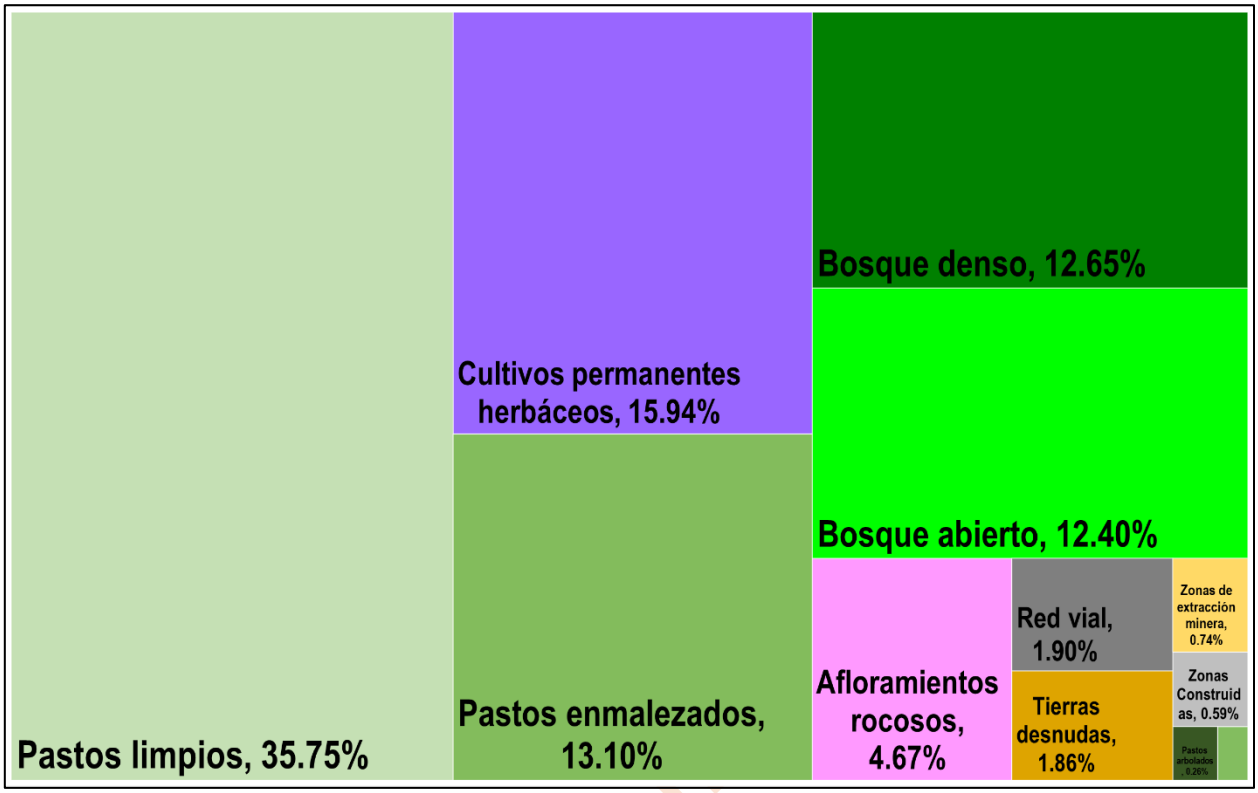


Figura 45 Distribución de la cobertura de suelo en la zona rural Cuenca Limas

A continuación, se presentan algunas descripciones de las coberturas presentes en la zona rural de la cuenca.

ZONAS CONSTRUIDAS

Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. En las Figura 46 y Figura 47 se observan las características del tejido urbano continuo que incluye las edificaciones que se encuentran en el área de estudio, que en general están construidas en mampostería simple con confinamiento deficiente y los espacios cercanos a las edificaciones.

Versión 1



Figura 46. Panorámica de algunas vías principales de la cobertura zonas construidas.



Figura 47. Vista general de la tipología de algunas viviendas del sector.

RED VIAL

Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras y autopistas. En el área de estudio se cuenta con una vía de acceso principal construida en pavimento flexible (Figura 48) y vías de acceso a los predios aledaños, las cuales no son pavimentadas (Figura 49).



Figura 48. Vía principal. Se observa una estructura en pavimento flexible.



Figura 49. Vista de acceso a predios aledaños. Se observa una estructura en afirmado.

PASTOS

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por gramíneas, dedicadas al pastoreo permanente por un período de dos o más años.

- Pastos Limpios

Esta cobertura comprende la mayor extensión de la zona rural de la cuenca, con un área de 3134086 m^2 aproximadamente y comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento del 35.75%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. (Figura 50)

- Pastos Enmalezados o con matorrales

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de rastrojos, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura del rastrojo es menor a 1,5 metros. Esta cobertura cubre una extensión de 1148386 m^2 aproximadamente correspondiente a un 13.10% del área del suelo rural de la cuenca (Figura 51)

- Pastos Arbolados

Esta cobertura comprende una de las zonas de menor extensión de la zona rural de la cuenca, con un área de 22360 m^2 aproximadamente, correspondiente al 0.26% del área de la zona rural de la cuenca.



Figura 50. Vista de pastos limpios de algunas zonas del sitio de estudio



Figura 51. Vista de pastos enmalezados o con matorrales de algunas zonas del sitio de estudio

- Cultivos Permanentes Herbáceos

Esta cobertura cubre la segunda zona con mayor extensión del suelo rural de la cuenca con un área de 1397624 m^2 aproximadamente y comprende territorios dedicados a cultivo cuyo ciclo vegetativo es inferior a un año, se observan en el área de estudio cultivos de papa y arveja. (Figura 52 y Figura 53).



Figura 52. Vista de cultivos permanentes en el área de estudio



Figura 53. Vista de cultivos permanentes en el área de estudio

- Bosque denso

Esta cobertura cubre una extensión de 1108877 m^2 aproximadamente y está constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa alrededor del 12.65% del área total de suelo rural de la cuenca, y con altura del dosel superior a cinco metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999). Se exceptúan de esta unidad los bosques fragmentados. (Figura 54)



Figura 54. Vista de bosque denso en la zona de suelo rural de la Cuenca Limas

Versión inicial

- Bosque abierto

Esta cobertura comprende una extensión de 1086792 m^2 aproximadamente y está constituida una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a cinco metros y cuya área de cobertura arbórea es del 12.40% del área total del suelo rural de la cuenca. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales. (Figura 55)



Figura 55.Vista de bosque abierto en la zona de suelo rural de la Cuenca Limas

- Bosque de galería y Ripario

Esta cobertura comprende la zona de menor extensión con un área de 15001 m^2 aproximadamente y está constituida por zonas o ecosistemas explotados por su localización aledañas a los cursos de agua, su área de cobertura es del 0.17% del área total del suelo rural de la cuenca.

- Afloramientos rocosos

Esta cobertura comprende una extensión de 409022 m^2 aproximadamente correspondiente al 4.67% del área de la zona rural de la cuenca. En el área de estudio se presentan tipos de afloramientos rocosos que algunos casos corresponden con rocas de la formación arenisca dura. (Figura 56 y Figura 57).

Versión



Figura 56. Vista de afloramientos rocosos la zona de estudio



Figura 57.Vista de afloramientos rocosos la zona de estudio

- Tierras desnudas

Esta cobertura comprende una de las zonas de menor extensión de la zona rural de la cuenca, con un área de 162878 m^2 aproximadamente, correspondiente al 1.86% del área de la zona rural de la cuenca.

- Zonas de extracción minera

Esta cobertura comprende una de las zonas de menor extensión de la zona rural de la cuenca, con un área de 64511 m^2 aproximadamente, correspondiente al 0.74% del área de la zona rural de la cuenca.

6.3.2 Usos de suelo

A partir de las leyendas de uso de Suelo actual propuestas en la guía metodológica de amenaza por movimientos en masa del SGC (2017), se definen los usos de suelo actual de la zona rural de la cuenca Limas con base a las coberturas identificadas y definidas anteriormente tal como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22 Leyendas usos de suelo a partir de coberturas de suelo de la zona rural cuenca Limas

LEYENDA USOS DEL SUELO RESPECTO A COBERTURAS DE SUELO	
COBERTURA SUELO	**USO ACTUAL**
1.1.1. Zonas Construidas*	Residencial
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Infraestructura y transporte
1.3.1. Zonas de extracción minera	Mina en abandono
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	Cultivo permanente intensivo
2.3.1. Pastos limpios	Tierras en descanso
2.3.2. Pastos arbolados	Tierras en descanso
2.3.3. Pastos enmalezados	Tierras en descanso

Versión inicial

LEYENDA USOS DEL SUELO RESPECTO A COBERTURAS DE SUELO	
COBERTURA SUELO	**USO ACTUAL**
3.1.1. Bosque denso	Áreas naturales - conservación Protección
3.1.2. Bosque abierto	Áreas naturales - conservación Protección
3.1.4. Bosque de galería y Ripario	Áreas naturales - conservación Protección
3.3.2. Afloramientos rocosos	Áreas naturales - Sin uso
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	Áreas naturales - Sin uso

La zona de estudio se caracteriza por presentar tres tipos de usos de suelo de suelo principales: Tierras en descanso que corresponde con el 49.10%, áreas naturales en protección con un 25.21% y cultivos permanentes intensivos que corresponde al 15.94%. Los resultados de los usos de suelo identificadas en el sector se resumen en la Tabla 23. La distribución de las áreas que ocupan los usos se muestra en la Figura 58.

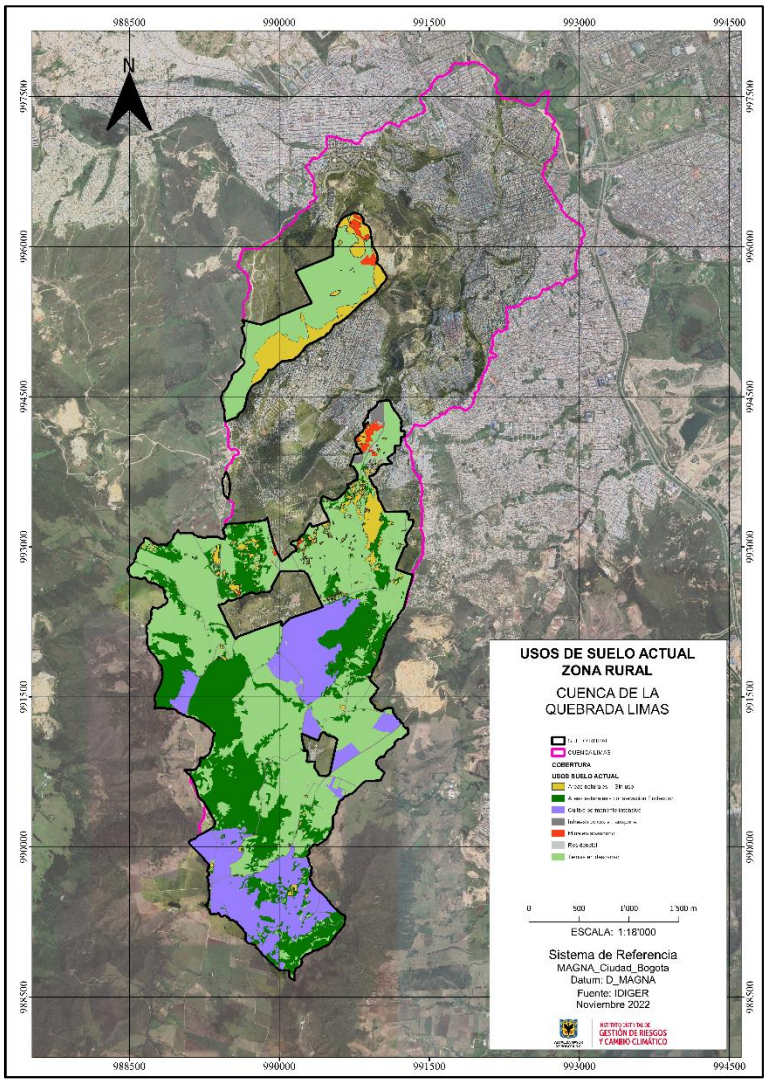


Figura 58 Cobertura del suelo en zona rural de la cuenca de la quebrada Limas

Tabla 23 Tipo de Usos de suelo zona rural de la cuenca

No	USO DE SUELO	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	Áreas naturales - Sin uso	571899.27	57.19	6.52%
2	Áreas naturales - conservación Protección	2210670.02	221.07	25.21%
3	Cultivo permanente intensivo	1397623.67	139.76	15.94%
4	Residencial	51395.34	5.14	0.59%
5	Tierras en descanso	4304833.86	430.48	49.10%
6	Infraestructura y transporte	166407.20	16.64	1.90%
7	Mina en abandono	64511.26	6.45	0.74%

De acuerdo a los usos en suelo, las zonas que no presentan intervención antrópica: áreas naturales en protección y tierras en descanso, corresponden a la mayor proporción de suelo dentro de la zona rural de la cuenca limas con un 651.55 Ha (74.31%).

Cabe la pena aclarar, que el uso residencial al momento de la captura de información (2019 – 2020), no corresponde con el área real actual para este uso, teniendo en cuenta que la ocupación en el territorio rural es mayor según las visitas en campo realizadas como se muestra en la Figura 59 y Figura 60.



Figura 59 Fotografía ocupación actual zona rural cuenca Limas y limite zona rural



Figura 60 Fotografía ocupación actual zona rural cuenca Limas

Versión Inf

7. CARACTERIZACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Debido a la metodología determinística propuesta, es necesario caracterizar los materiales a partir de un modelo comportamiento del suelo, por lo cual se presenta la parametrización realizada a los materiales identificados en el suelo rural.

7.1.1 Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio

La exploración del subsuelo utilizara para el presente estudio fue desarrollada en el marco de la *"Evaluación de Riesgo por Avenidas Torrenciales y/o Crecientes Súbitas para la Cuenca de la Quebrada Limas"* que fue ejecutada bajo el Contrato 500 de 2019 de IDIGER.

La exploración del subsuelo consto de exploración directa con la ejecución de sondeos, apiques y exploración indirecta mediante líneas de refracción sísmica MASW. Adicionalmente se realizó el muestro 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.

La ubicación de la exploración del subsuelo se presenta en la Figura 61, en la que se puede identificar la distribución de los puntos de exploración del subsuelo en la zona rural de la cuenca de la quebrada Limas.

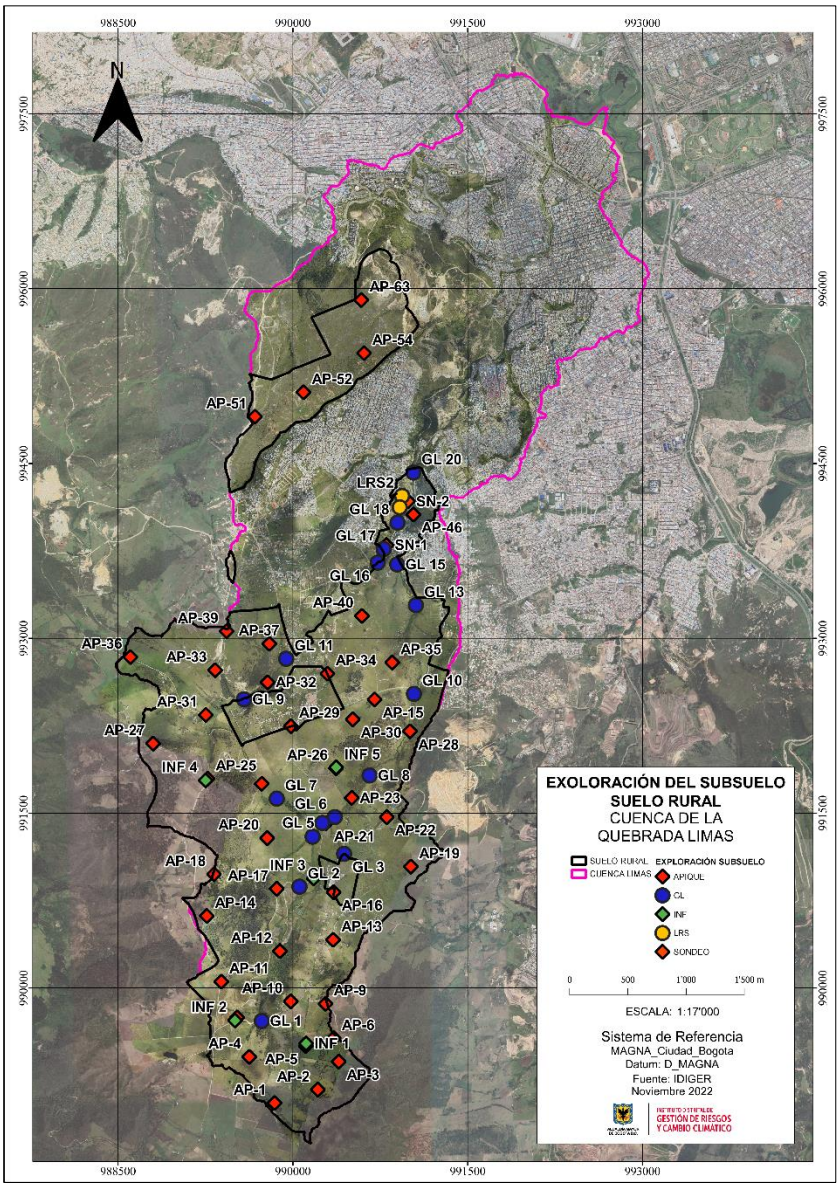


Figura 61. Ubicación de la exploración del subsuelo Cto 500 – 2019.

Se encontraron 69 puntos de exploración en el subsuelo rural de la cuenca de la quebrada limas, todos con coordenadas conocidas. Se cuenta con información correspondiente a exploración directa (sondeos y apiques) y exploración indirecta (Líneas de Refracción Sísmica) en menor medida. En la Tabla 24 se presenta la cantidad y porcentaje de los tipos de exploración.

Tabla 24. Resumen de la exploración del subsuelo directa antecedente para la cuenca de la quebrada Limas

TIPO	CANTIDAD	PORCENTAJE (%)
SONDEO	2	2.9%

TIPO	CANTIDAD	PORCENTAJE (%)
APIQUE	43	62.3%
LRS	2	2.9%
INF	5	7.2%
GL	17	24.6%

De la tabla se puede observar la importante cantidad de sitios de exploración para la zona rural de la cuenca, correspondiente en su mayoría a apiques ejecutados a una profundidad de 1.50 m, identificando las capas más superficiales de los materiales.

De la exploración del subsuelo se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas como se puede apreciar en la Figura 62, Figura 63 y Figura 64. Las cuales fueron llevadas a laboratorio para la ejecución de ensayos de caracterización y resistencia de acuerdo a su tipo y calidad.





Figura 62. Muestras apiques zona rural cuenca Limas. Izquierda: Bloque arenisca. Derecha Suelo Orgánico.





Figura 63. Muestras apiques zona rural cuenca Limas. Izquierda: Muestra bolsa de arena. Derecha Bloque Suelo Limoso.





Figura 64. Exploración directa con Sondeos. Muestras apiques zona rural cuenca Limas. Izquierda: Muestras Sondeo 2. Derecha: Equipo S2 sector Bella Flor Rural.

La cantidad de ensayos de laboratorio se presenta en la Tabla 25. En el ANEXO 06 se presenta la información correspondiente a la exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio disponibles.

Tabla 25. Ensayos de laboratorio ejecutados en la zona rural cuenca de la Quebrada Limas Cto 500 - 2019

ÍTEM	UNIDAD	CANTIDAD EJECUTADA
Granulometría por tamizado sin lavado	UND	44
Peso unitario	UND	4
Peso específico	UND	28
Límites de Consistencia	UND	25
Granulometría por lavado T#200	UND	26
Contenido de humedad	UND	49
Compresión inconfinada	UND	14
Textura (Por Hidrómetro)	UND	17
Materia Orgánica	UND	21
Corte directo en suelos (CD)	UND	2
Compresión simple en roca	UND	1
Carga puntual	UND	1

7.1.2 Parámetros de los materiales

Los parámetros de resistencia de acuerdo al modelo de comportamiento Morh – Coulomb se estimaron para las Unidades Geológicas Superficiales, teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de laboratorio y parámetros de estudios y diseños antecedentes existentes en la entidad y disponibles para la cuenca, entre los que se encuentran los siguientes:

- "Análisis e investigación de procesos de avenidas torrenciales como eventos generadores de riesgo en la cuenca alta del Rio San Cristóbal"
- "Estudio de Amenaza y Riesgo por Remoción en Masa del Predio El Clavel, por Reubicación del Colegio Mochuelo Bajo de la Localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D.C"
- "Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de medidas recomendadas en el barrio Bella Flor, localidad de Ciudad Bolívar"
- "Estudio de zonificación de amenaza para los asentamientos de Brisas del Volador y Tabor – Alta Loma de la Localidad de Ciudad Bolívar, en la Ciudad de Bogotá"
- "Estudio detallado de Amenaza y Riesgo por fenómenos de remoción en masa para el proyecto HACIENDA MIRADOR"
- "Estudio detallado de amenaza y riesgo por movimientos en masa y diseño de obras de mitigación en el barrio Bella Flor, localidad de Ciudad Bolívar de Bogotá, D.C"

En el ANEXO 07 se presenta el análisis de los parámetros de resistencia de acuerdo a información de estudios y diseños antecedentes.

La Tabla 26 recopila los valores medios de los parámetros de resistencia de los suelos determinados de los resultados de laboratorio de la exploración realizada y de información recopilada de estudios antecedentes para la zona rural de la cuenca.

Versión inicial

Tabla 26 Parámetros de resistencia suelos para análisis de estabilidad

UGI	NOMBRE MATERIAL	PESO UNITARIO (kN/m^3)	ANGULO DE FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (kPa)
Qa	Aluviones de cauce activo	17.00	30.00	12.00
Qal	Aluviones recientes	17.30	28.00	17.00
Qal1	Terrazas aluviales matriz soportadas	21.00	25.00	20.00
Qal2	Terrazas aluviales clasto soportadas	20.39	29.00	16.00
Qal3	Terrazas aluviales foto interpretadas	20.39	29.00	15.00
Qdf1	Depósito de flujos de detritos	17.30	26.00	16.00
Qdf2	Depósito de flujo de materiales mixtos	17.20	25.00	15.00
Qdp2	Depósitos coluviales clasto soportados	18.70	29.00	14.50
Qdp3	Depósitos coluviales matriz soportados	20.00	29.00	18.00
Qe	Llenos de escombros	16.80	33.50	10.00
Qra2	Rellenos antrópicos clasto soportados	18.30	30.00	18.00
Qrb1	Botaderos moderadamente compactados	17.50	30.00	12.00
Qrb2	Botaderos recientes	17.00	33.00	13.50
Qsr1	Suelo residual de terraza de falla	17.00	23.50	21.00
Rmmsglt	Residual Macizo rocoso de muy mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Labor - Tierna	17.30	23.60	25.00
Rmpggm	Residual Macizo rocoso de mala calidad de arcillolitas de la Formación Guaduas	19.00	32.00	12.00
Rmsgd	Residual Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Dura	19.50	30.00	31.00
Rmsglt	Residual Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Labor – Tierna	17.50	21.50	20.00
Rmsgp	Residual Macizo rocoso de mala calidad de lodolitas de la Formación Plaeners	17.80	24.30	19.10
Rrsgd	Residual Macizo rocoso de regular calidad de areniscas de la Formación Arenisca Dura	19.50	31.00	28.00
Rrsgp	Residual Macizo rocoso de regular calidad de lodolitas de la Formación Plaeners	17.80	26.00	22.00
Sksgd	Suelo residual de la Formación Arenisca Dura	17.15	25.00	18.00
Sksglt	Suelo residual de la Formación Arenisca Labor - Tierna	17.10	23.50	20.00
Sksgp	Suelo residual de la Formación Plaeners	17.10	24.20	17.00
Sttf	Suelo transportado de terraza fluviotorrencial	19.50	26.75	24.00

Versión Inicial

Se debe tener en cuenta la variabilidad de los parámetros de resistencia de los materiales terreos, siendo una limitante intrínseca en los análisis de geotecnia en extensiones y áreas grandes.

- PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Po otro lado, en la Tabla 27 se presentan los parámetros hidráulicos implementados en los análisis de modelación de flujo de aguas subsuperficiales a partir de las propiedades hidráulicas de los materiales se rigen bajo el modelo de curva de retención de agua del suelo (SWRC) de van Genuchten basados en las texturas de los materiales de la clasificación United States Department of Agriculture (USDA) encontrados de acuerdo con su granulometría.

Tabla 27 Parámetros hidráulicos para modelaciones de flujo de agua subsuperficiales – Van Genuchten

UGS	NOMBRE MATERIAL	TIPO DE SUELO - CLASIFICACIÓN USDA	PARÁMETROS PERMEABILIDAD	PARÁMETROS VAN GENUTCHEN	
			PERMEABILIDAD SATURADA (m/s)	PARÁMETRO ALFA (1/m)	PARÁMETRO n
Qa	Aluviones de cauce activo	Sandy Loam	1.25.E-05	7.50	1.89
Qal	Aluviones recientes	Loam	2.9E-6	3.6	1.56
Qal1	Terrazas aluviales matriz soportadas	Silt Loam	1.25.E-06	2.00	1.41
Qal2	Terrazas aluviales clasto soportadas	Sandy Loam	1.25.E-05	7.50	1.89
Qal3	Terrazas aluviales fotointerpretadas	Sandy Loam	1.25.E-05	7.50	1.89
Qdf1	Depósito de flujos de detritos	Sandy Loam	1.25.E-05	7.50	1.89
Qdf2	Depósito de flujo de materiales mixtos	Sandy Loam	1.25.E-05	7.50	1.89
Qdp2	Depósitos coluviales clasto soportados	Silt Loam	1.25.E-06	2.00	1.41
Qdp3	Depósitos coluviales matriz soportados	Silt Loam	1.25.E-06	2.00	1.41
Qe	Llenos de escombros	Loamy Sand	4.00.E-05	12.40	2.28
Qra2	Rellenos antrópicos clasto soportados	Sand	8.25.E-05	14.50	2.68
Qrb1	Botaderos moderadamente compactados	Loamy Sand	4.00.E-05	12.40	2.28
Qrb2	Botaderos recientes	Loamy Sand	4.00.E-05	12.40	2.28

Versión Final

UGS	NOMBRE MATERIAL	TIPO DE SUELO - CLASIFICACIÓN USDA	PARÁMETROS PERMEABILIDAD	PARÁMETROS VAN GENUTCHEN	
			PERMEABILIDAD SATURADA (m/s)	PARÁMETRO ALFA (1/m)	PARÁMETRO n
Qsr1	Suelo residual de terraza de falla	Loamy Sand	4.00.E-05	12.40	2.28
Rmmsglt	Macizo rocoso de muy mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Labor - Tierna	Sandy Clay Loam	3.65.E-06	5.90	1.48
Rmpggm	Macizo rocoso de mala calidad de arcillolitas de la Formación Guaduas	Sandy Clay Loam	3.65.E-06	5.90	1.48
Rmsgd	Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Dura	Sandy Loam	1.25.E-05	7.50	1.89
Rmsglt	Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Labor - Tierna	Sandy Clay Loam	3.65.E-06	5.90	1.48
Rmsgp	Macizo rocoso de mala calidad de lodolitas de la Formación Plaeners	Sandy Loam	1.25.E-05	7.50	1.89
Rrsgd	Macizo rocoso de regular calidad de areniscas de la Formación Arenisca Dura	Sandy Clay Loam	3.65.E-06	5.90	1.48
Rrsgp	Macizo rocoso de regular calidad de lodolitas de la Formación Plaeners	Sandy Clay Loam	3.65.E-06	5.90	1.48
Sksgd	Suelo residual de la Formación Arenisca Dura	Sandy Loam	1.25.E-05	7.50	1.89
Sksglt	Suelo residual de la Formación Arenisca Labor - Tierna	Sandy Clay Loam	3.65.E-06	5.90	1.48
Sksgp	Suelo residual de la Formación Plaeners	Sandy Loam	1.25.E-05	7.50	1.89

Versión Inicial

UGS	NOMBRE MATERIAL	TIPO DE SUELO - CLASIFICACIÓN USDA	PARÁMETROS PERMEABILIDAD	PARÁMETROS VAN GENUTCHEN	
			PERMEABILIDAD SATURADA (m/s)	PARÁMETRO ALFA (1/m)	PARÁMETRO n
Sttf	Suelo transportado de terraza fluviotorrencial	Sandy Clay Loam	3.65.E-06	5.90	1.48

Estos parámetros fueron utilizados para el análisis de flujo en las laderas producto de las descargas de las viviendas, siendo este el factor detonante identificado en la ocurrencia de procesos inestables en la zona.

8. FACTORES DETONANTES

En algunos sectores de la cuenca son evidentes los procesos de inestabilidad de laderas, asociados a la carga de agua tanto de la precipitación como de la saturación por disposición directa de las aguas servidas de las viviendas. Es el caso que se observa en la Figura 65.



Figura 65. Desprendimiento de material por efecto de la temporada de lluvias. Abril 2022.

8.1 PRECIPITACIÓN

Para la caracterización hidrológica de las zonas de estudio se cuenta con el análisis hidrológico (Rogelis, 2020) realizado para la cuenca de la quebrada Limas en el marco de la *"Evaluación de Riesgo por Avenidas Torrenciales y/o Crecientes Súbitas para la Cuenca de la Quebrada Limas"*, en los que se realizaron múltiples análisis hidrológicos como:

- Delimitación del área de estudio y cuenca de drenaje

- Características morfométricas de la cuenca
- Cálculo del tiempo de concentración
- Análisis de datos de precipitación
- Estaciones del área de estudio
- Patrones espaciales y temporales de la precipitación en la cuenca de la quebrada limas
- Escenarios de tormenta
- Curvas de intensidad-duración-frecuencia (idf)
- Distribución temporal de la tormenta y duración
- Tormentas considerando cambio climático
- Análisis de datos de nivel
- Estimación de hidrogramas de diseño

En la Figura 66 se presenta el mapa de la distribución de precipitación media anual para la cuenca de la quebrada Limas.

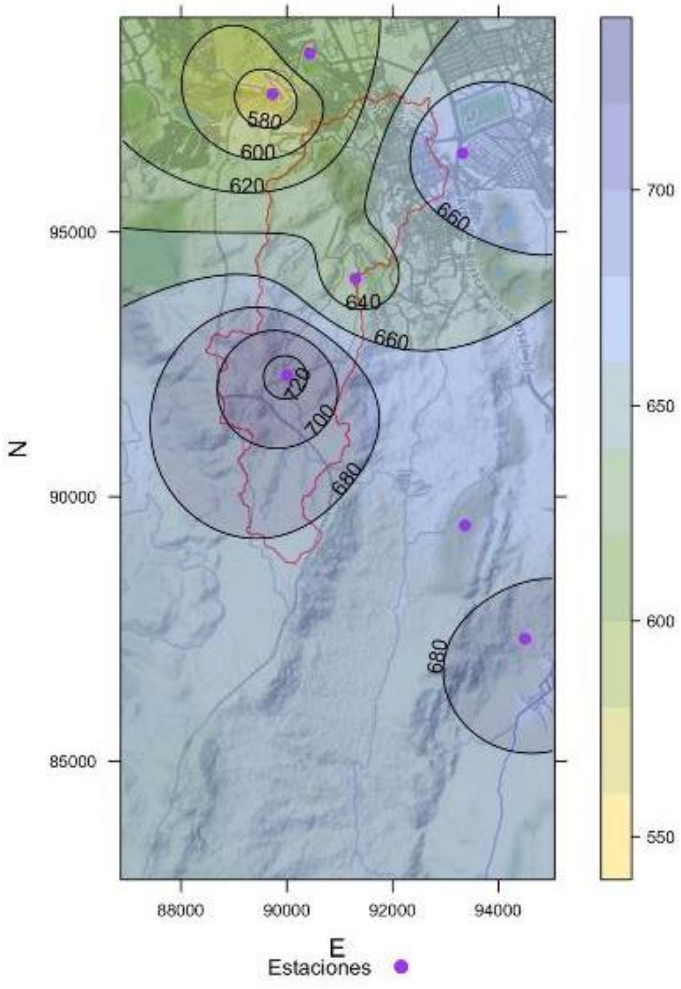


Figura 66. Distribución espacial de la precipitación media anual en milímetros.

Fuente: (Rogelis, 2020)

En razón de que para el análisis de la amenaza a escala 1:5000 se requiere asumir 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:

$$P_{f20} = (\overline{P}_f - 1{,}65\ CV\ P_f) - (I_{i20} * 24)$$

Donde:

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

$\bar{\bar{P}}_f$: 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

DE la formula se obtiene que la serie de acumulados anuales de lluvia infiltrable sigue una distribución normal por ser suma de eventos de precipitación individuales. El valor de 1,65 corresponde, entonces, al valor Z de la distribución normal estándar asociado a una probabilidad de excedencia anual de 0,05, correspondiente a un periodo de retorno de 20 años.

A partir de la formulación, se realiza un análisis de cálculo de esta profundidad (P_{f20}), el cual es obtenido de las curvas IDF existentes para la localidad con una intensidad de lluvia $(I_{i20})\ de\ 26.67\ mm/hora$, para una profundidad de media de nivel freático de 1.0 m. Para este análisis se realiza una variación del coeficiente CVP_f desde 0 – 1.0.

Los resultados arrojan que el nivel freático para un coeficiente $CVP_f = 0$, arrojan una profundidad de $P_{f20} = 30.0cm$ y para un $CVP_f = 1.0$ una profundidad$P_{f20} = 35.84cm$, por lo que la variación de la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años a partir de estos análisis no es considerable. Por tal razón, se realiza un análisis de modelación de flujo de agua subterráneas para el sector de estudio en futuros capítulos del presente informe.

Todo el análisis de profundidad el nivel freático asociado a una lluvia de 20 años de periodo de retorno se puede evidenciar en el ANEXO 08.

Por otro lado, de acuerdo a la identificación en campo, se puede observar que las vías del nodo no cuentan con obras de drenaje pluvial, como se puede observar en la Figura 67 y la Figura 68.

Versión Inicial



Figura 67. Vista de las condiciones de drenaje en el área de estudio, sector sur.



Figura 68. Vista de las condiciones de drenaje en el área de estudio, sector sur.

Consultando con un residente del sector, comenta que el sistema de disposición de aguas servidas de las viviendas corresponde a pozos sépticos, sin embargo, no fue posible conocer sobre el estado y mantenimiento de éstos. Por tal motivo, se tendrán en cuenta en

los análisis y modelaciones algunos caudales puntuales en los sitios donde se evidencia la presencia de flujo de materiales mixtos debido a la disposición de aguas residuales provenientes de las viviendas en la parte alta del talud.

El abastecimiento de agua se hace a las viviendas y zonas agrícolas por medio de mangueras conectadas al acueducto veredal regido por los directrices de la autoridad ambiental CAR.

8.2 SISMO

De acuerdo con el Decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C., el área de estudio se encuentra en las zonas sísmicas de Depósitos de Ladera y Cerros tal como se evidencia en la Figura 69.

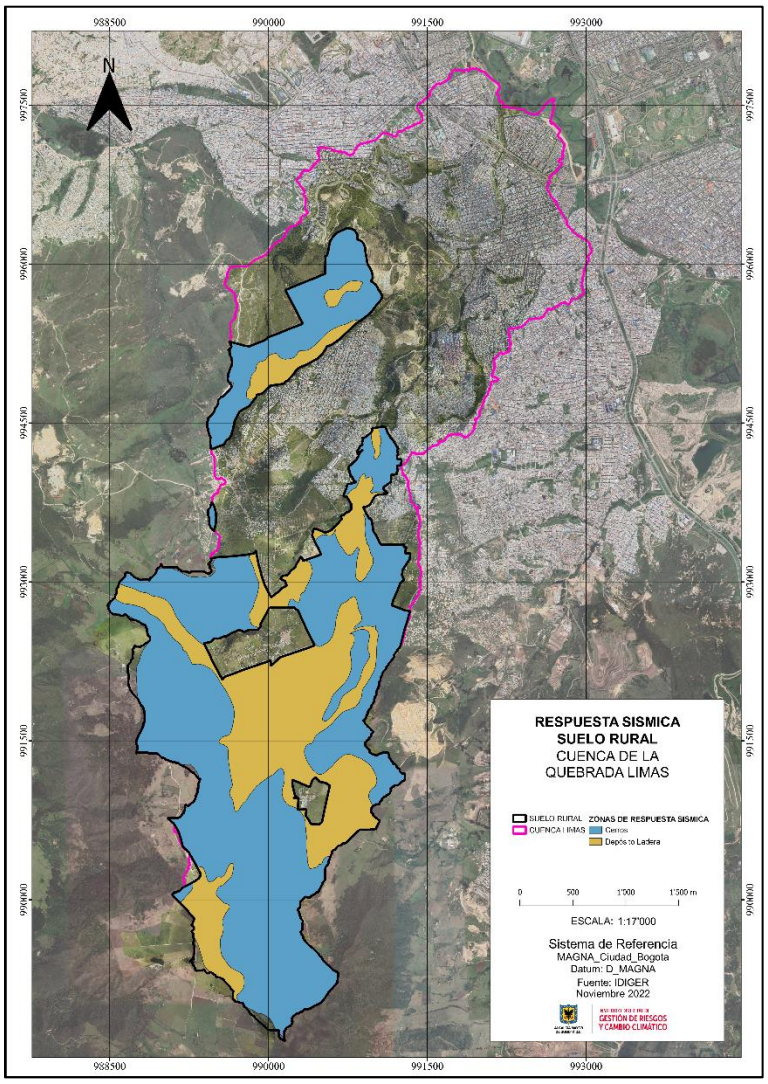


Figura 69. Respuesta Sísmica – Decreto 523 de 2010

Las características y descripciones de las estas dos zonas de respuesta sísmica donde se encuentra la zona rural de la cuenca Limas se recopilan en la Tabla 28.

Tabla 28 Descripción de las zonas de respuesta sísmica en la zona rural de la Cuenca de la Quebrada Limas

ZONA	ESPESOR DEL DEPÓSITO (M)	PERIODO FUNDAMENTAL DEL SUELO (S)	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA GENERAL	VELOCIDAD ONDA PROMEDIO 50 m VS (M/S)	HUMEDAD PROMEDIO 50 m Hn (%)	EFECTOS DEL SITIO RELACIONADOS
Cerro	-	< 0.3	Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores inferiores a 6 m	> 750	< 10	Topográfico
Depósito Ladera	6 - 25	< 0.3	Depósitos de ladera con espesores superiores a 6 m de composición variable	Variable según depósito	Variable según tipo de depósito	Topográfico

Fuente: Tomado y adaptado del Decreto 523 de 2010 – Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C

En la Zona sísmica de Cerros y Depósitos de Ladera tienen efectos de sitio relacionados de carácter topográfico. Estas zonas cuentan con los valores de coeficientes de diseño de respuesta sísmica recopilados en la Tabla 29.

Tabla 29. Coeficientes de diseño zonas sísmicas zona rural Cuenca Limas

ZONA SÍSMICA	FA	FV	A0 (g)	TL (S)	ÁREA (Ha)
Cerros	1.35	1.3	0.18	3	582.1
Depósito Ladera	1.65	1.7	0.22	3	284.0

Para los análisis, el detonante de sismo es evaluado tomando el valor de aceleración horizontal de las zonas propuestas (Ao). A su vez, la componente vertical de la carga sísmica se tomó como 1/3g de la horizontal.

8.3 ANTRÓPICO

Debido a la dinámica poblacional y de ocupación del territorio, en la cuenca de la quebrada Limas se identifica un importante grado de ocupación informal del territorio, aumentado la degradación del material en las laderas asociadas a sistemas de acueducto y alcantarillado rudimentarios, generalmente construidos con tuberías y mangueras que comúnmente tienen filtraciones de agua. En la Figura 70 se pueden observar los trazados del loteo realizado en la parte media de la cuenca, este trazado no tiene en cuenta características

Versión Inicial

de diseño geométrico ni de estabilidad geotécnica, por otro lado, no se observan vallas de licenciamiento para la construcción en dichos predios.



Figura 70. Vista de la ocupación informal en la parte media de la cuenca. Marzo 2022.

Cabe la pena aclarar, que la razón por la que se identifica una ocupación agresiva de la zona rural de la cuenca Limas, corresponde a los precios del suelo en esta zona. En el ANEXO 09 se presenta un análisis de los valores de terrenos para vivienda en la zona rural de la cuenca.

Uno de los mayores factores antrópicos que se observan en la cuenca corresponde a las antiguas zonas de explotación minera de materiales obtenidos de las areniscas que conforman el terreno. Estos efectos antrópicos han dejado en la parte alta y a lo largo de la cuenca en la zona rural cortes casi verticales en dónde se evidencian desprendimientos y caídas de bloques de los materiales, como se puede apreciar a continuación.



Figura 71. Vista de zonas de antigua explotación minera. Septiembre 2022.

8.4 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DETONANTES

Para los escenarios de análisis se tendrán en cuenta los detonantes de sismo y agua y la combinación de estos de acuerdo a los análisis realizados de nivel freáticos y microzonificación existente en la zona de estudio.

El efecto antrópico se presenta en las modelaciones a partir de los criterios de lámina de agua se analizada según el capítulo de condiciones de nivel de agua para análisis de estabilidad y en el caso donde evidencia presencia de cargas por viviendas existentes a partir de una aplicación de carga externa en las modelaciones según el ANEXO 10.

Finalmente, los escenarios evaluados para la condición de agua y sismo para las modelaciones y análisis fueron:

- **Escenario 1**: Situación actual, sin lámina de agua, sin sismo.
- **Escenario 2:** Situación actual, con lámina de agua (Resultado modelaciones condiciones de nivel de agua), sin sismo
- **Escenario 3**: Situación actual, sin lámina de agua, con sismo.
- **Escenario 4:** Situación actual, con lámina de agua (Resultado modelaciones condiciones de nivel de agua), con sismo.

9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

A continuación se presenta el análisis de amenaza por movimientos en masa teniendo en cuenta los análisis de estabilidad por talud infinito, estabilidad por equilibrio limite y distancia de viaje en zonas de caídas de rocas dentro del área rural de la cuenca Limas.

9.1 CONDICIONES DE NIVEL DE AGUA PARA ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

A continuación, se presenta un análisis bidimensional del flujo de agua para el sitio de estudio, cuyo objetivo es identificar el comportamiento teórico del agua subsuperficial, pudiendo identificar los efectos en las variaciones de las presiones de poros para luego tenerlo en cuenta en los análisis de estabilidad.

9.1.1 Secciones de análisis

Para los análisis de condiciones de flujo se establecen 3 sitios para determinar las el nivel de agua subsuperficial para implementar en los estabilidad en taludes. Las coordenadas de localización de estas 3 secciones se recopilan en la Tabla 30. En la Figura 72 y Figura 73 se muestra la planta de localización de las secciones.

Tabla 30 Coordenadas de localización secciones de análisis

ID SITIO ANÁLISIS	COORDENADAS PLANAS	
	ESTE	NORTE
SITIO 1 (SITIO CAUDAL PUNTUAL)	990917.40	994313.37
SITIO 2 (SITIO CAUDAL PUNTUAL)	991104.83	994417.21
SITIO 3 (SITIO ESPECIAL BELLA FLOR)	990958.04	994193.52

La primera y segunda sección de análisis corresponden a los sitio 1 y 2 correspondientes a sitios de Caudal Puntual localizadas en el sector Bella Flor al costado izquierdo y derecho del talud respectivamente como se muestran en la Figura 72. En estos sitios se evidencia la presencia de flujo de materiales mixtos a raíz de un caudal de aguas residuales provenientes de las viviendas localizadas en la parte alta del talud.

Estos sitios están conformados por las unidades superficiales de residual de Macizo rocoso de mala y muy mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Labor – Tierna “Rmsglt” y “Rmmsglt” en la parte alta de los taludes y un relleno antrópico clasto soportado Qra2 en la parte baja. Adicionalmente, en sitio 01 Caudal Puntual, se evidencia la unidad Depósito de flujo de materiales mixtos “Qdf2” en el intermedio del talud en la parte superficial del residual de macizo rocoso de muy mala calidad.

Versión inicial

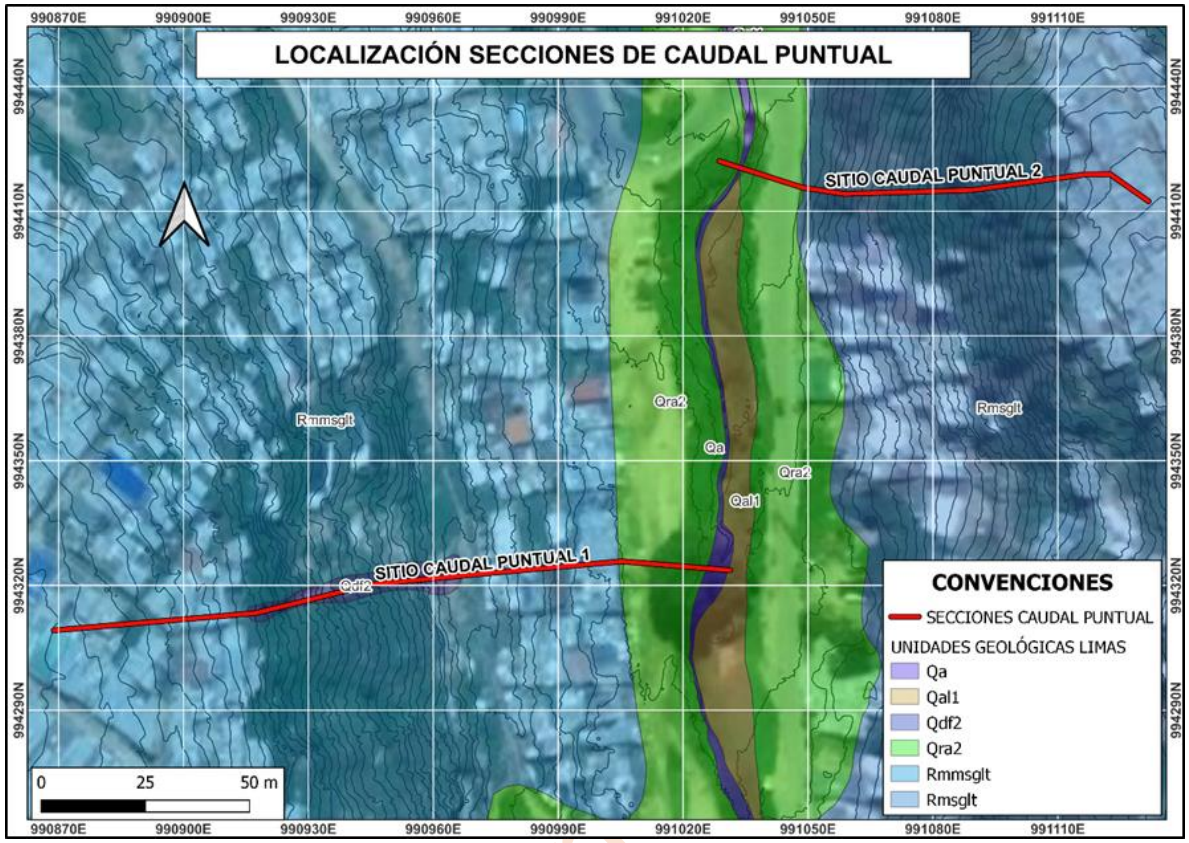


Figura 72 Localización planta secciones 1 y 2 de análisis para caudal puntual.

La tercera de estas secciones se localiza en el sector Bella flor, predominando en la parte alta del talud del costado izquierdo una unidad geológica de botaderos recientes Qrb2 y hacia la parte baja un relleno antrópico clasto soportado Qra2. La Figura 73 ilustra la localización en planta de la sección de análisis para el sitio especial Bella flor.

Versión



Figura 73 Localización planta sección de análisis Sección 3 - Sitio especial Bella Flor

9.1.2 Modelación flujo de aguas subsuperficiales

La modelación se hace de forma bidimensional, buscando simplificar las posibles consideraciones y variaciones del relieve y la distribución de los materiales, dando la idea de un posible comportamiento del flujo usando modelos de comportamiento ampliamente aceptados y utilizados en el ámbito de la geotecnia y estabilidad de taludes.

9.1.2.1 Condiciones de contorno

Como condiciones de contorno para los análisis de modelaciones de flujo de aguas subsuperficiales en los sitios especiales, se toman las alturas de las láminas de agua del afluente más cercano a cada sección obtenidas de los análisis hidrodinámicos calculados para un periodo de retorno de Tr=2.33 años. Estas alturas se encuentran a 2795.32 m.s.n.m. (Sitio especial Bella Flor), 2785.70 m.s.n.m. (Sitio 01 Caudal Puntual) y 2780.25 m.s.n.m. (Sitio 02 Caudal Puntual), estos puntos serán involucrados como puntos de cabeza total de presión para la condición de contorno del modelo de flujo.

Adicionalmente, se involucra condiciones de contorno de infiltración correspondiente a la precipitación mínima (37 mm/día) y máxima (65 mm/día) reportada en la estación más cercana y descrita en el estudio hidrológico de la zona de estudio.

Versión

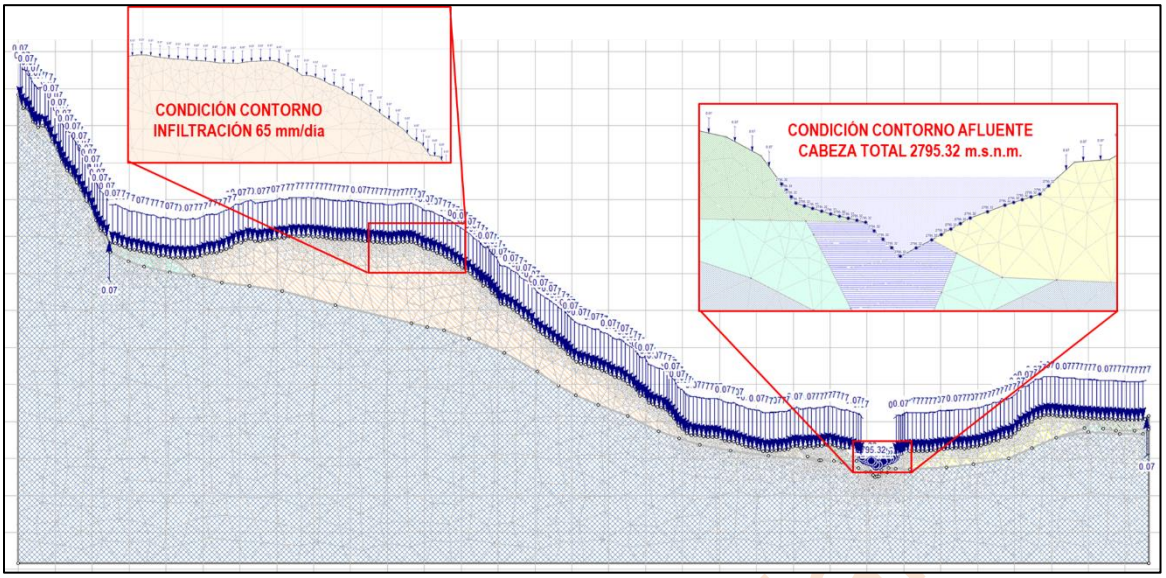


Figura 74 Condiciones de contorno para modelaciones de flujo sitios especiales.

Se debe tener en cuenta que el borde inferior y lateral izquierdo del límite externo de los modelos de las figuras anteriores reciben la condición predeterminada de flujo nodal cero y a la superficie del talud se le da una condición límite desconocida (P=0 o Q= 0) en escenarios donde no se incluye la infiltración.

Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad de la altura de la lámina de agua para flujo transitorio, variando el valor de la condición de contorno de infiltración en el tiempo desde 1.0x10-05 m/día a 1.0x10-02 m/día, caudal cercano al reportado en los análisis hidrodinámicos calculados para un periodo de retorno de Tr=2.33 años.

9.1.2.2 Modelación flujo estado estacionario

- Escenarios de análisis

Para la sección 3 sitio especial Bella Flor se manejó dos escenarios de análisis para las modelaciones de flujo de aguas subsuperficiales, donde se tiene en cuenta la altura de la lámina de agua del afluente más cercano a la sección obtenida de los análisis hidrodinámicos calculados para un periodo de retorno de Tr=2.33 años e infiltración correspondiente a la precipitación mínima (37 mm/día) y máxima (65 mm/día) reportada en la estación más cercana y descrita en el estudio hidrológico de la zona de estudio.

- **Escenario 1**: Modelación de flujo con condiciones de contorno Infiltración mínima: 37mm/día y altura de la lámina de agua del afluente.
- **Escenario 2:** Modelación de flujo con condiciones de contorno Infiltración máxima: 65mm/día y altura de la lámina de agua del afluente.

Adicionalmente, para las secciones 1 y 2 de análisis de Caudal puntual, se involucra un escenario adicional donde se incluye el caudal de aporte provenientes de las viviendas localizadas en la parte alta del talud que procude un flujo de materiales mixtos.

Este caudal de aporte es cálculado usando un 20% del caudal de dotación de agua potable para viviendas localizadas en una altura promedio superior a 2000 m.s.n.m , a partir de los

Versión Inicial

lineamientos adoptados en el reglamento del sector de agua potable y saneamiento (RAS,2017) y de la indentificación de cantidad de viviendas que contribuya al flujo puntual de agua de escorrentia que llega al talud, relacionando 4 habitantes en promedio por vivienda. Los caudales adoptados para estas modelaciones son de 3.264 m3/s (Sección 01 Caudal puntual) y 3.648 m3/s (Sección 02 Caudal puntual).

- **Escenario 3 (Seccciones Caudal puntutal):** Modelación de flujo con condiciones de contorno Infiltración y altura de la lámina de agua del afluente, con caudal puntual de aporte.

➢ Sección 1 - Sitio Caudal puntual

Los resultados de las modelaciones de flujo para las condiciones de infiltración mínima y máxima bajo el caudal de 3.264 m3/s se muestran en la Figura 75 y Figura 76 respectivamente.

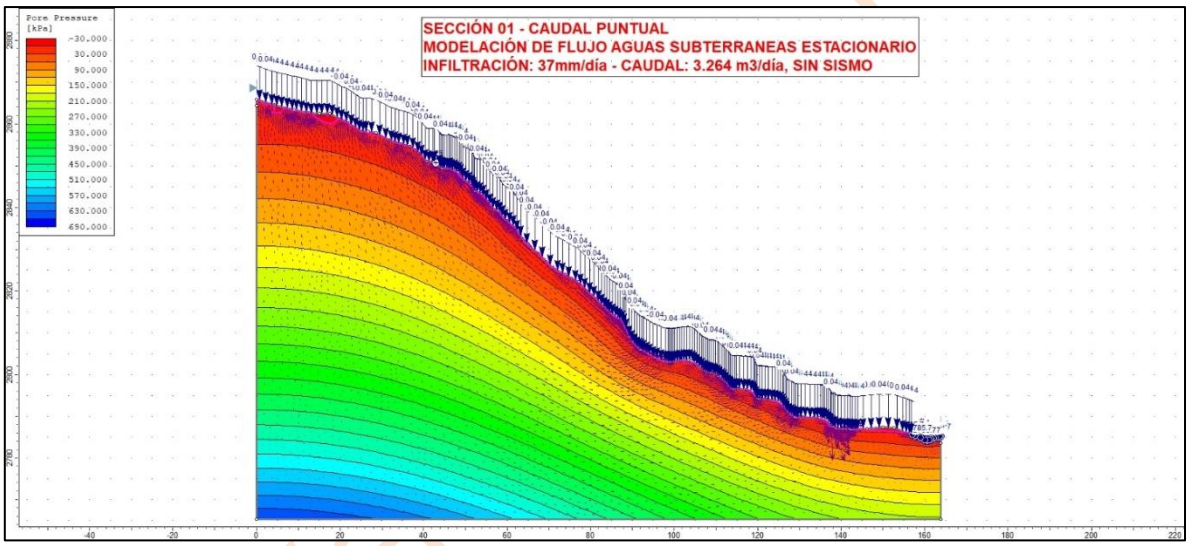


Figura 75 Modelación de flujo Sección 1 Caudal Puntual: 3.26m3/s - condiciones de contorno Infiltración mínima: 37mm/día

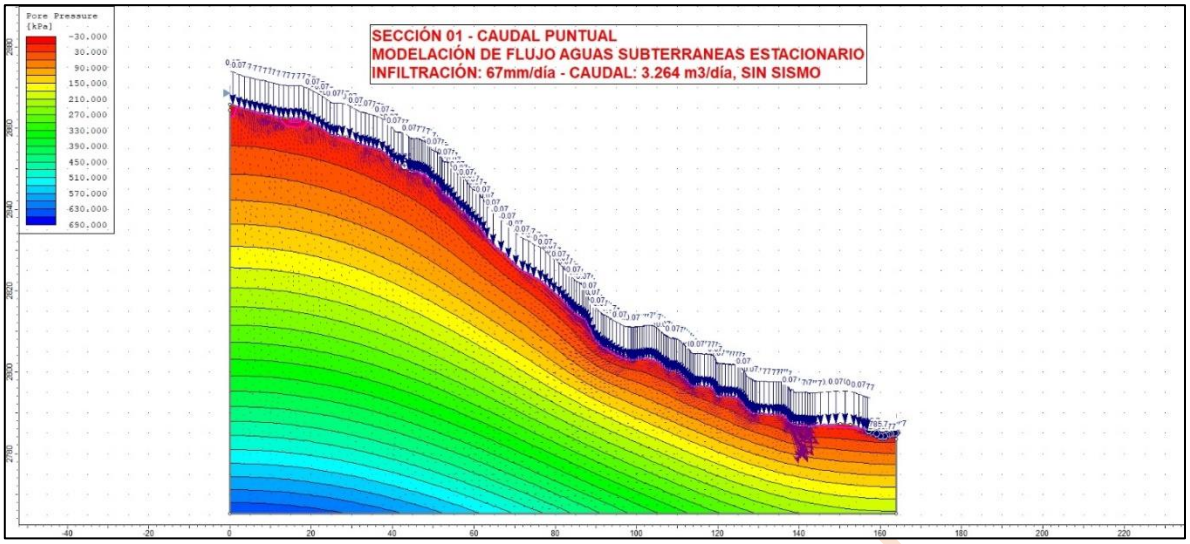


Figura 76 Modelación de flujo Sección 1 Caudal Puntual: 3.26m3/s - condiciones de contorno Infiltración máxima: 65mm/día

- Sección Sitio Caudal puntual 2

Los resultados de las modelaciones de flujo para las condiciones de infiltración mínima y máxima bajo el caudal de 3.648 m3/s se muestran en la Figura 77 y Figura 78 respectivamente.

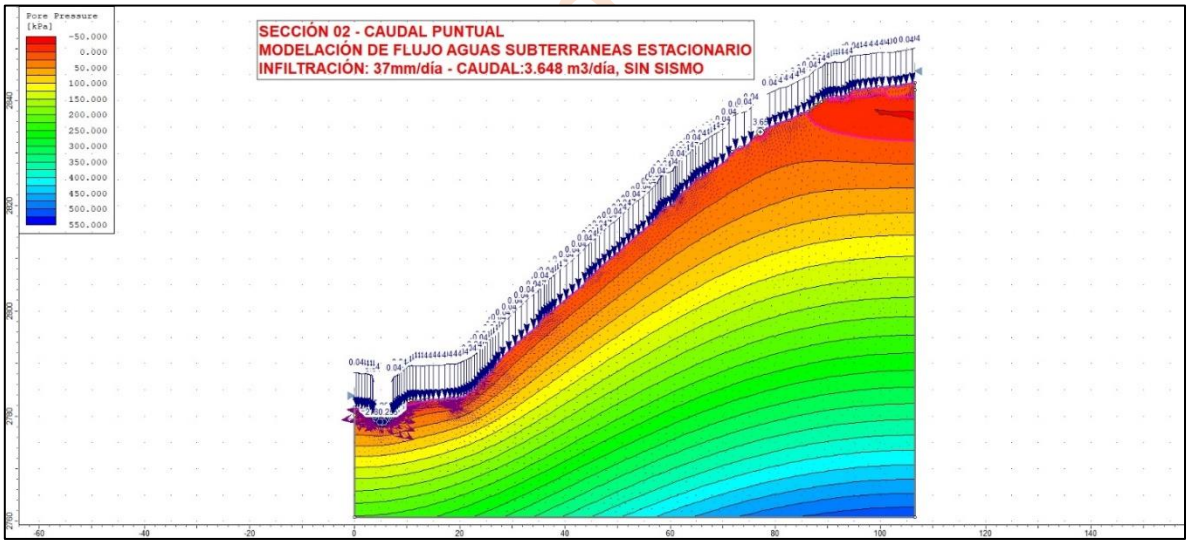


Figura 77 Modelación de flujo Sección 2 Caudal Puntual: 3.65m3/s - condiciones de contorno Infiltración mínima: 37mm/día

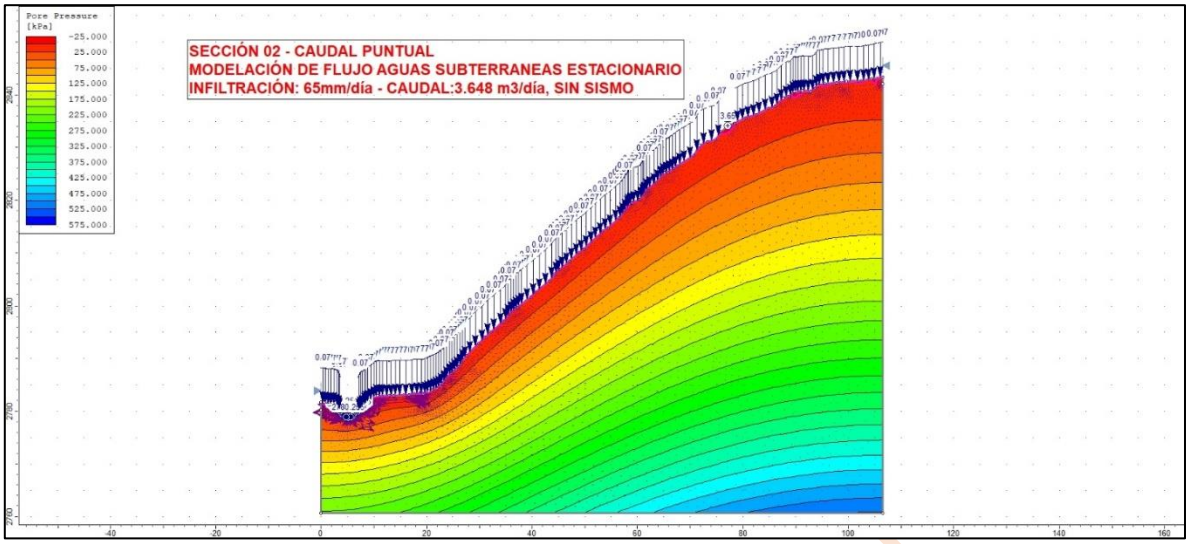


Figura 78 Modelación de flujo Sección 2 Caudal Puntual: 3.65m3/s - condiciones de contorno Infiltración máxima: 65mm/día

- Sección 3 - Sitio especial Bella Flor

Los resultados de las modelaciones de flujo para las condiciones de infiltración mínima y máxima se muestran en la Figura 79 y la Figura 80 respectivamente.

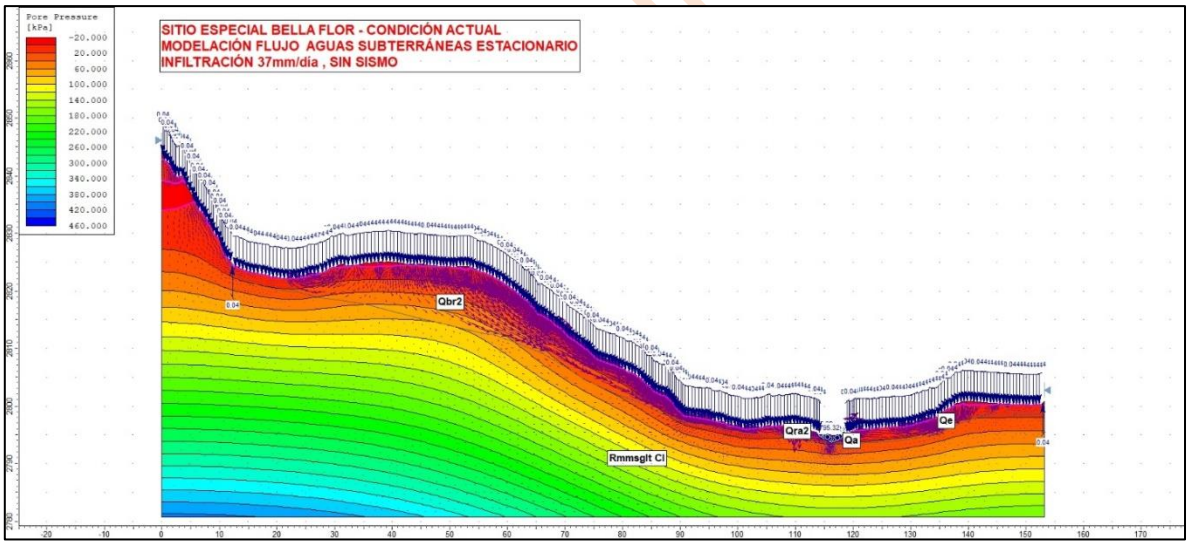


Figura 79 Modelación de flujo Sección 3 Sitio especial Bella Flor - condiciones de contorno Infiltración mínima: 37mm/día

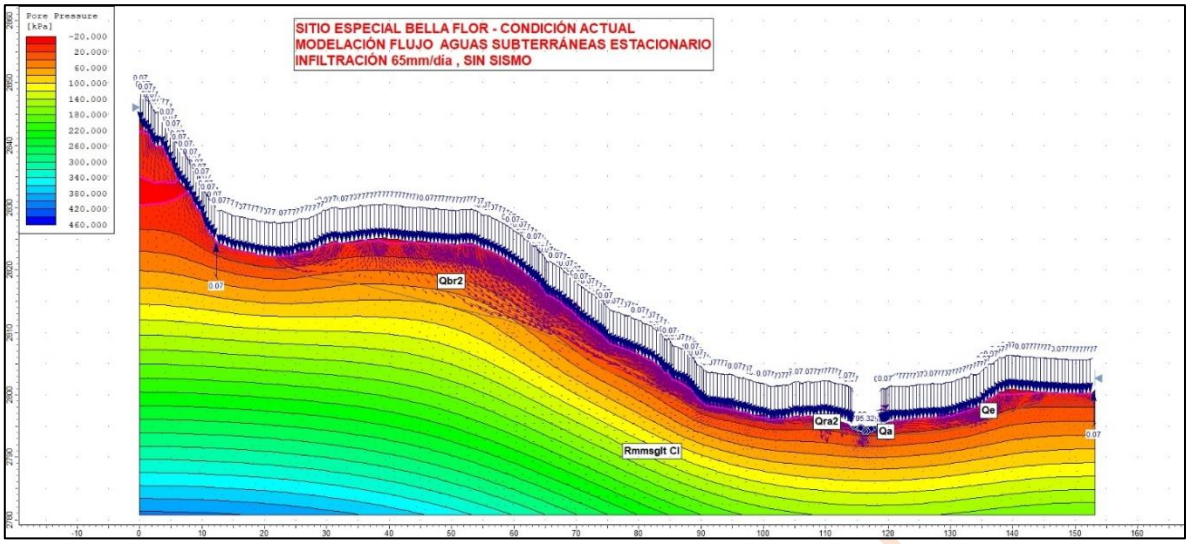


Figura 80 Modelación de flujo Sección 3 Sitio especial Bella Flor - condiciones de contorno Infiltración máxima: 65mm/día

De los resultados mostrados anteriormente, se identifica que para flujo estacionario no existe variación del nivel de agua al variar la infiltración de 37mm/día a 65 mm/día, inclusive con la inclusión de caudal puntual dentro de los análisis.

9.1.2.3 Modelación flujo estado transitorio - Sensibilidad lámina de agua

De la Figura 81 a la Figura 85 se recopilan los resultados del análisis de sensibilidad de la altura de la lámina de agua para flujo transitorio para los 4 escenarios de variación del valor de infiltración en el tiempo propuestos.

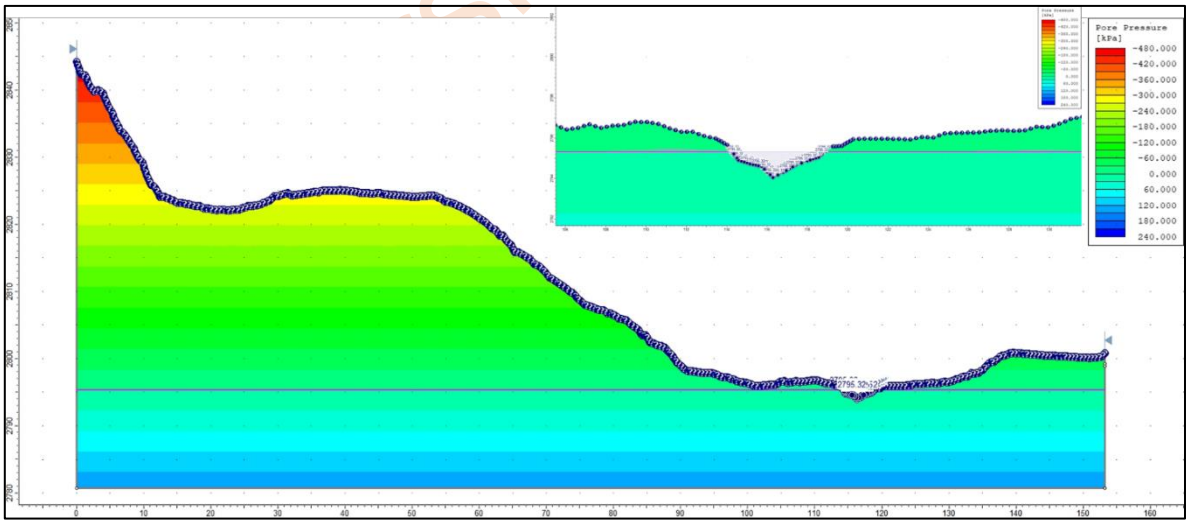


Figura 81 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario inicial, sin infiltración

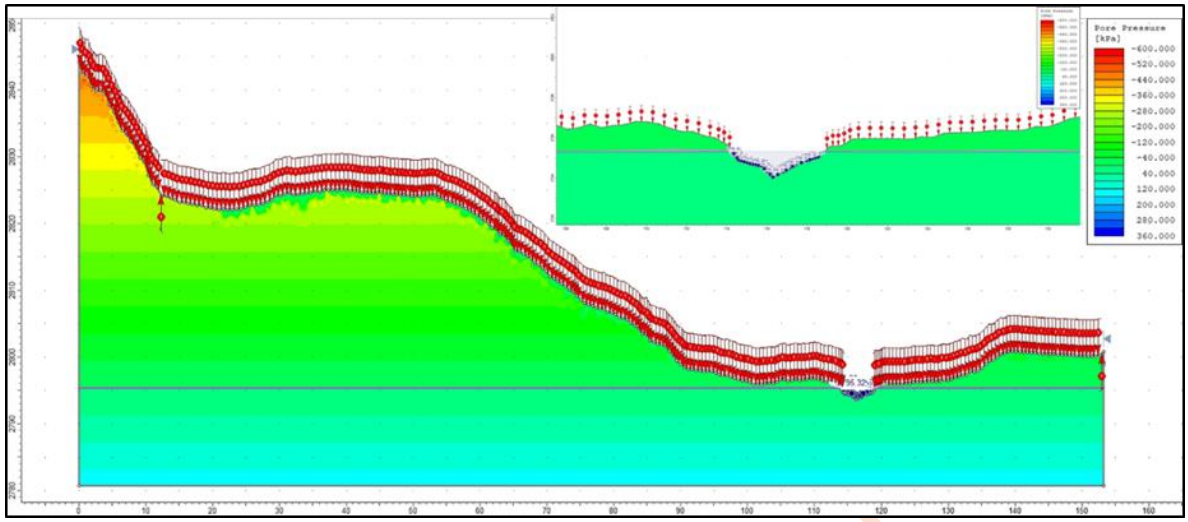


Figura 82 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario Infiltración 1.0x10-05 m/día

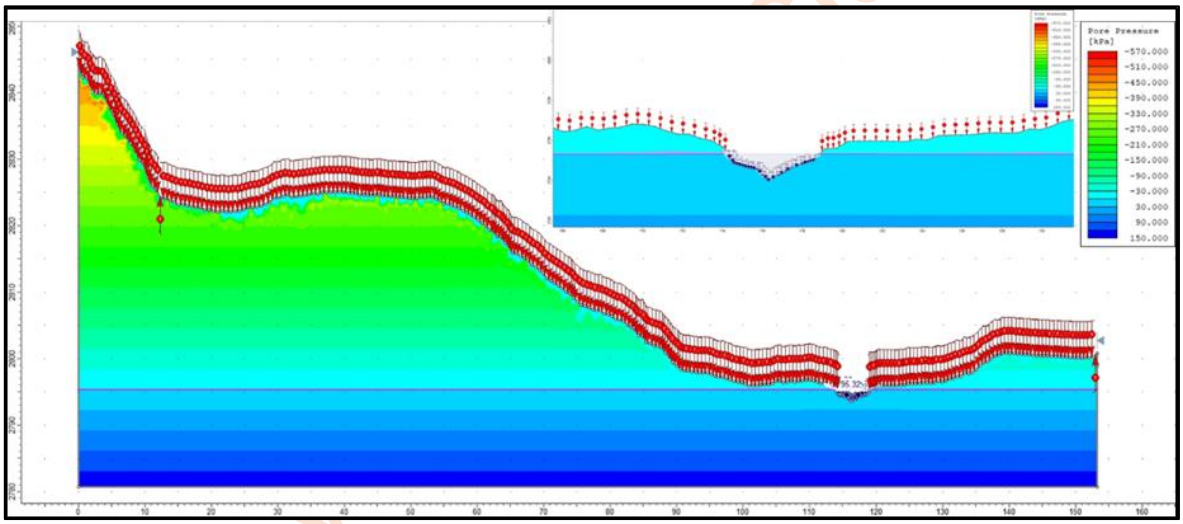


Figura 83 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario Infiltración 1.0x10-04 m/día

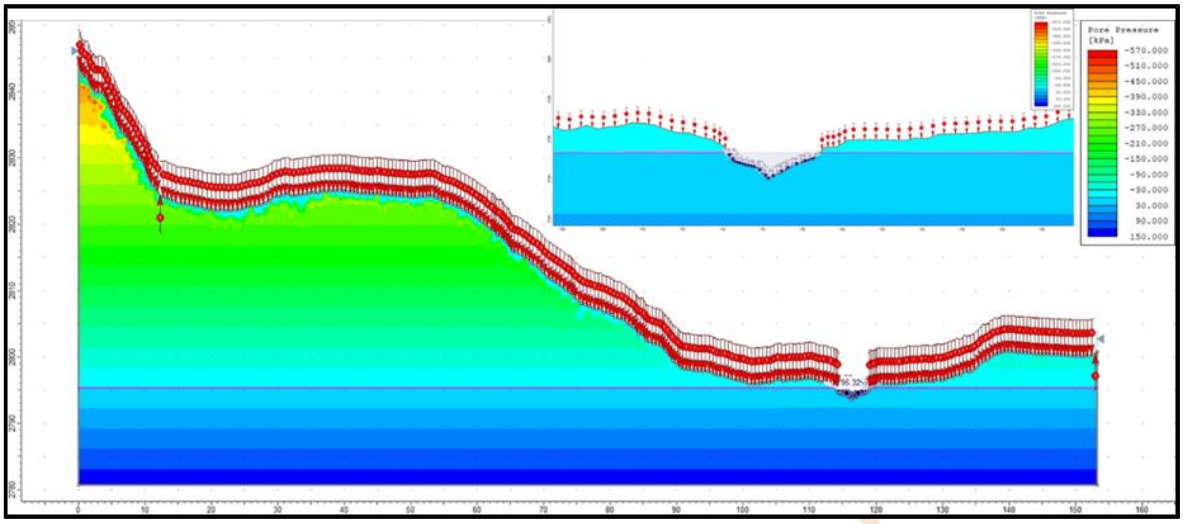


Figura 84 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario Infiltración 1.0x10-03 m/día

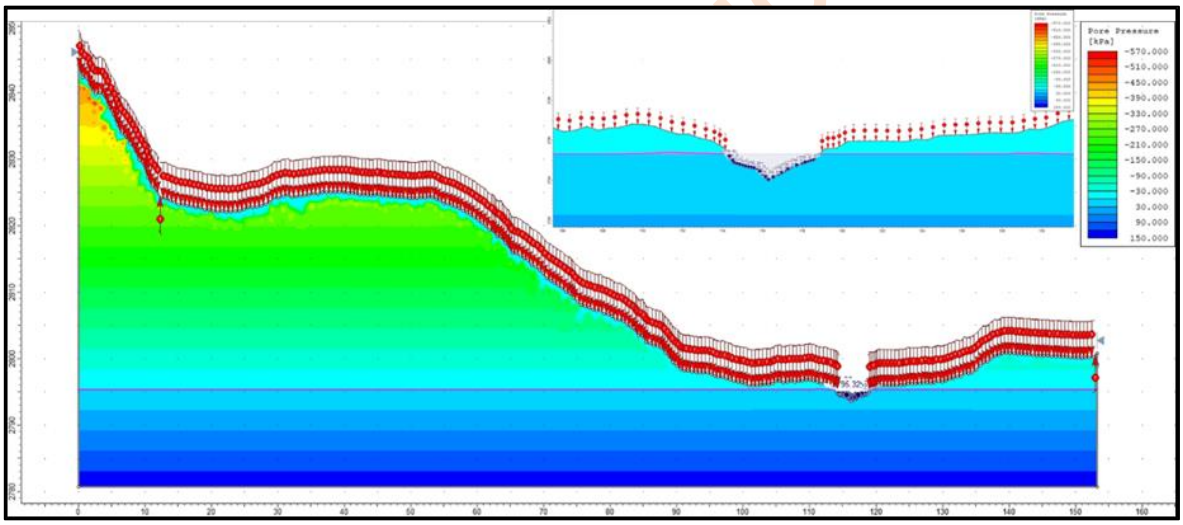


Figura 85 Análisis sensibilidad Modelación de flujo estado transitorio Sección 3 - Sitio especial Bella Flor- Escenario Infiltración 1.0x10-02 m/día

De las figuras de resultados de flujo anteriores, se identifica que no existe una variación considerable del nivel de aguas freáticas en la modelación de flujo en el tiempo para la sección de análisis.

9.1.2.4 Comparación láminas de agua respecto a variación curvas de succión Van Genuchten

Las propiedades hidráulicas de los materiales usada en las modelaciones se rigen bajo el modelo de curva de retención de agua del suelo (SWRC) de van Genuchten basados en las texturas de los materiales encontrados de acuerdo con su granulometría. Estas curvas fueron tomadas determinadas por defecto a treves del software de modelación de elementos finitos a partir de la asignación de las propiedades mostradas en la Tabla 27.

Sin embargo, se busca identificar la variación de la lámina de agua limitando este esfuerzo para diferentes succiones inferiores a la prevista en el programa. Para las secciones de análisis se limitó el esfuerzo de succión del suelo a 100 kPa, 150kPa y 300kPa, arrojando como resultado poca variación de la altura de lámina de agua, respecto a esta inicial tal como se muestra en la Figura 86.

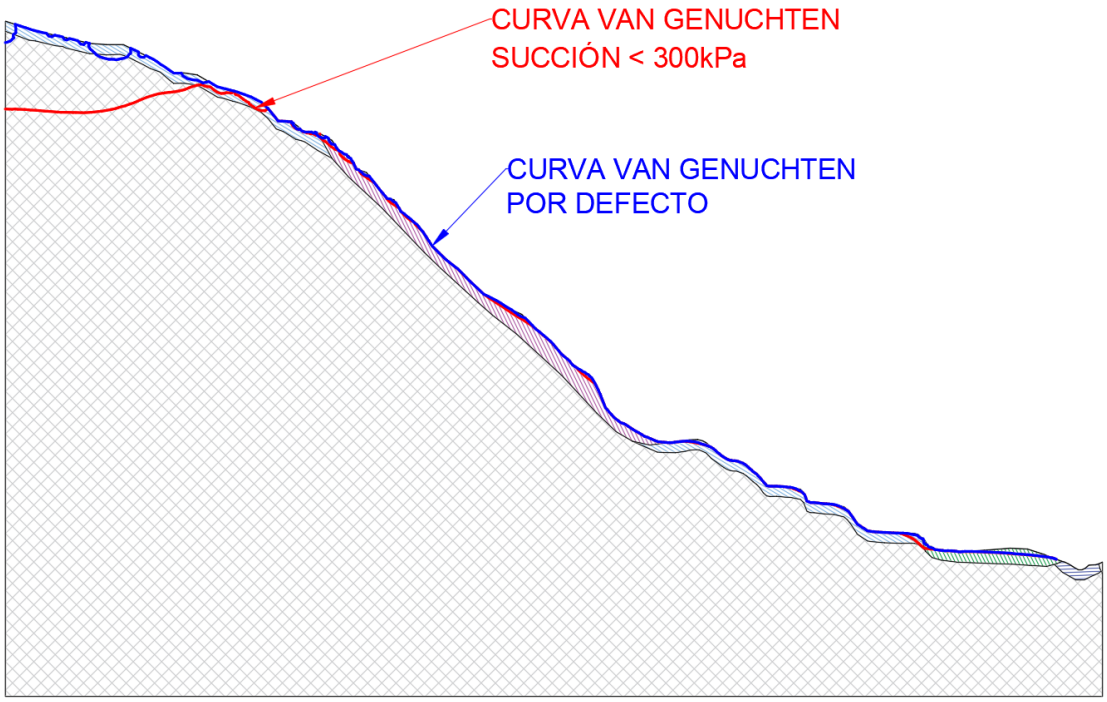


Figura 86 Comparación Láminas de agua limitando Succión curva Van Genuchten inferior a 300 kPa – Sección 1

A fin de identificar cantidad de suelo en la sección de análisis que se encuentra por debajo de la lámina de agua, se obtienen las áreas correspondientes respecto al total de la sección como se muestra en la Tabla 31. ***Los resultados arrojan suelos saturados por encima del 97.0% para la lámina de agua más baja, por tal motivo, se debe considerar un material totalmente saturado en los análisis de estabilidad.***

Tabla 31 Comparación áreas en sección de análisis con suelo saturado

COMPARACIÓN ÁREA SUELO SATURADO		ÁREA (m2)	PORCENTAJE (%)
Área Suelo Saturado	Área curva de retención succión 750 kPa	9204.70	99.7%
	Área curva de retención Succión menor 300 kPa	8954.59	97.0%
	Total Área Suelo en Sección	9234.70	100.0%

9.1.2.5 Análisis de resultados

Como se pudo evidenciar en los resultados de las figuras de modelación de flujo estacionario, sensibilidad de lámina de agua con flujo transitorio y comparación de láminas de agua variando las curvas de succión de los capítulo 9.1.2.2, 9.1.2.3 y 9.1.2.4 respectivamente, y mediante los resultados de factores de seguridad implementando estas láminas de agua mediante equilibrio límite mostrados en la Tabla 32, se obtiene poca variación del nivel freático con la variación de la infiltración desde el punto mínimo (37mm/día) hasta la máxima (65mm/día), inclusive cuando se incorpora el caudal puntual correspondiente.

A fin de identificar las condiciones críticas, se realizan modelaciones para estas secciones de análisis, ubicando un nivel de aguas máximo sobre la superficie del terreno. Dichos resultados arrojan menores factores de seguridad respecto a los encontrados mediante modelaciones de flujo estacionario como se evidencia en la última columna de la Tabla 32. Por tal motivo, Las modelaciones de estabilidad de taludes se realizarán teniendo en cuenta un material totalmente saturado y con altura de la lámina de agua máxima.

Tabla 32 Factores de seguridad modelaciones de flujo - condiciones de nivel de agua

FACTORES DE SEGURIDAD MODELACIONES DE FLUJO - CONDICIONES DE NIVEL DE AGUA SIN SISMO					
SITIO ESPECIAL	**ESC. 1**	**ESC. 2**	**ESC. 3**		**LÁMINA DE AGUA MÁXIMA**
	MODELACIÓN FLUJO ESTADO ESTACIONARIO INFILT_MÍN	**MODELACIÓN FLUJO ESTADO ESTACIONARIO INFILT_MÁX**	**MODELACIÓN FLUJO ESTADO ESTACIONARIO INFILT_MÍN y Q**	**MODELACIÓN FLUJO ESTADO ESTACIONARIO INFILT_MÁX y Q**	
CAUDAL PUNTUAL SECCIÓN 1	0.888	0.888	0.888	0.888	**0.570**
CAUDAL PUNTUAL SECCIÓN 2	0.879	0.861	0.887	0.861	**0.585**
BELLA FLOR SECCIÓN 3	0.840	0.840	-	-	**0.599**

9.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR TALUD INFINITO

Los resultados de análisis de estabilidad por talud infinito se realizan de acuerdo a lo descrito Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa (Servicio Geológico Colombiano, 2016) para la zona rural de la cuenca, metodología que se desarrolla a continuación.

9.2.1 Metodología de análisis

Para la zonificación básica de amenaza es necesario 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:

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

Versión Final

Donde
c' y Φ': Parámetros de resistencia del suelo en la base de la columna de suelo, en termino de esfuerzos efectivos.|
y: 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.
y_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 (φ') 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 87).

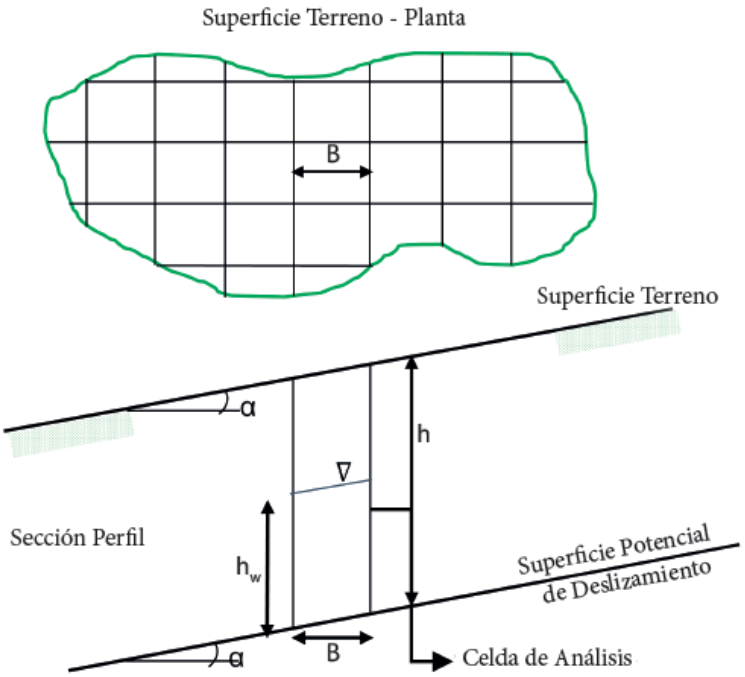


Figura 87. Parámetros para análisis de amenaza básica en unidades tipo suelo.

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2016)

9.2.2 Resultados de análisis

A partir de la metodología de análisis para el cálculo de estabilidad por talud infinito definida, se obtienen los resultados de clasificación de la amenaza por movimientos en masa

recopilados de la Tabla 33 a la Tabla 36, con los resultados de los escenarios: escenario Critico (Sismo y Agua), escenario Con Sismo y Sin Agua, escenario Sin Sismo y Con Agua y escenario Sin Sismo y Sin Agua.

Tabla 33 Resultados de Factor de Seguridad con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Critico (Sismo y Agua)

No	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ZONAS SIN ESPESOR DE SUELO	164253.18	16.43	1.87%
2	ZONAS T.I. FS < 1.1	2600.12	0.26	0.03%
3	ZONAS T.I. 1.1 < FS < 1.5	172101.60	17.21	1.96%
4	ZONAS T.I. FS > 1.5	8237809.93	823.78	93.81%
5	ZONAS BORDE ÁREA ESTUDIO	204517.22	20.45	2.33%

Tabla 34 Resultados de Factor de Seguridad con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Con Sismo y Sin Agua

No.	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m²)	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ZONAS T.I. FS < 1.1	788.63	0.08	0.0%
2	ZONAS T.I. 1.1 < FS < 1.5	124177.40	12.42	1.5%
3	ZONAS T.I. FS > 1.5	8385883.91	838.59	98.5%

Tabla 35 Resultados de Factor de Seguridad con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Sin Sismo y Con Agua

No.	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m²)	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ZONAS T.I. FS < 1.1	0.00	0.00	0.0%
2	ZONAS T.I. 1.1 < FS < 1.5	3368.61	0.34	0.0%
3	ZONAS T.I. FS > 1.5	8449641.81	844.96	100.0%

Tabla 36 Resultados de Factor de Seguridad con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito para el Área de estudio, para el escenario Sin Sismo y Sin Agua

No.	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m²)	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ZONAS T.I. FS < 1.1	0.00	0.00	0.0%
2	ZONAS T.I. 1.1 < FS < 1.5	804.61	0.08	0.0%
3	ZONAS T.I. FS > 1.5	8452205.80	845.22	100.0%

En la Figura 88 se ilustra el mapa de amenaza por movimientos en masa para suelo rural obtenido del análisis de estabilidad por talud infinito para el escenario crítico de análisis con sismo y agua.

Versión Inicial

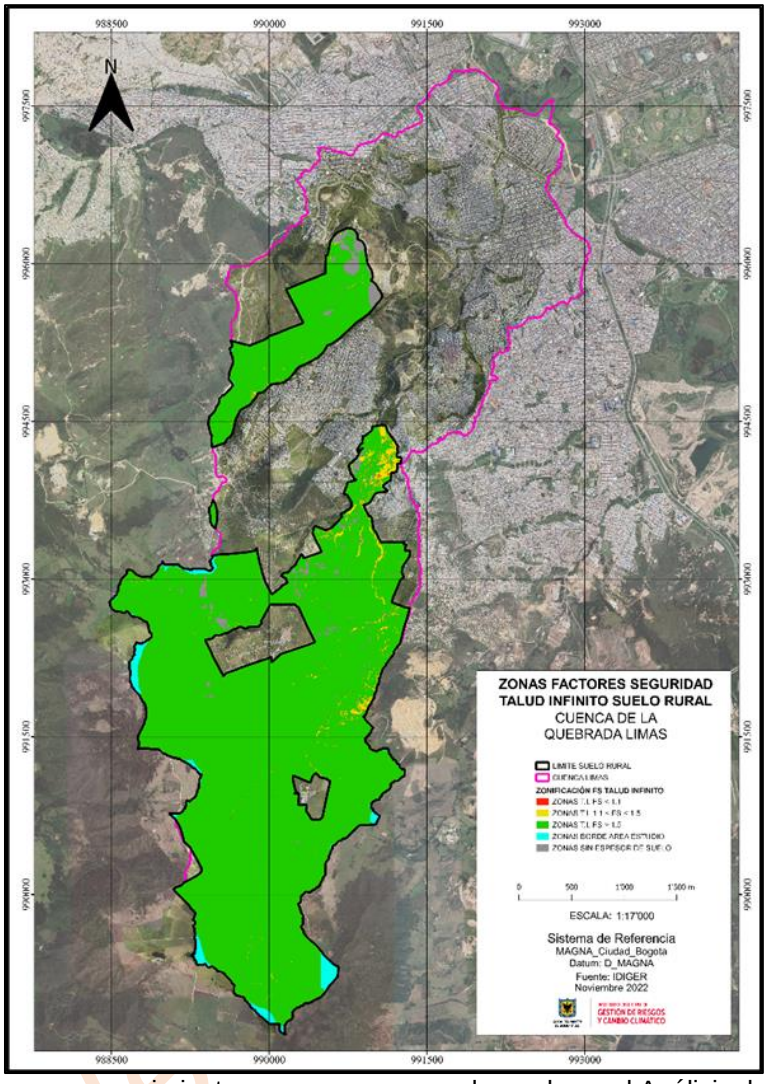


Figura 88 Amenaza por movimientos en masa para suelo rural con el Análisis de Estabilidad por Talud Infinito – Escenario crítico (Sismo y Agua)

9.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR EQUILIBRIO LÍMITE

Los análisis de estabilidad de taludes por equilibrio limite se realizaron mediante el Método de Bishop Modificado, el cual es una extensión del Método de las tajadas, que corresponde a un análisis en dos dimensiones, donde se evalúa el factor de seguridad como una función del peso unitario, la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo, además del nivel de la tabla de agua y la geometría del terreno. A continuación, se presentan las secciones de análisis y resultados de modelaciones realizadas dentro de la zona de estudio.

9.3.1 Secciones de análisis

Para los análisis de estabilidad de taludes se establecen 8 secciones de análisis. Las 3 primeras secciones corresponden a las descritas en el capítulo 9.1.1 en los análisis de condiciones de nivel de agua. Las localización y coordenadas del resto de secciones se

recopilan en la Tabla 37. En la Figura 89 y Figura 91 se muestra la planta de localización de estas secciones de análisis restantes.

Tabla 37 Coordenadas de localización secciones de análisis

ID SITIO ANÁLISIS	COORDENADAS PLANAS	
	ESTE	NORTE
SECCIÓN 4	991096.02	994165.08
SITIO 5	990799.58	993867.19
SITIO 6	990898.01	993823.23
SITIO 7	990900.20	993719.63
SITIO 8 (CORTES TALUD VÍA QUIBA)	990441.40	993271.69

La cuarta de estas secciones se localiza en el sector Bella flor, predominando en la parte alta del talud del costado derecho una unidad geológica de Residual Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Labor – Tierna (Rmsglt) y hacia la parte baja una terrazas aluviales matriz soportadas (Qal1), en la margen izquierda predomina en superficie un material de rellenos antrópicos clasto soportados (Qra2) y Llenos de escombros (Qe). La Figura 89 ilustra la localización en planta de la sección de análisis para esta sección 4.

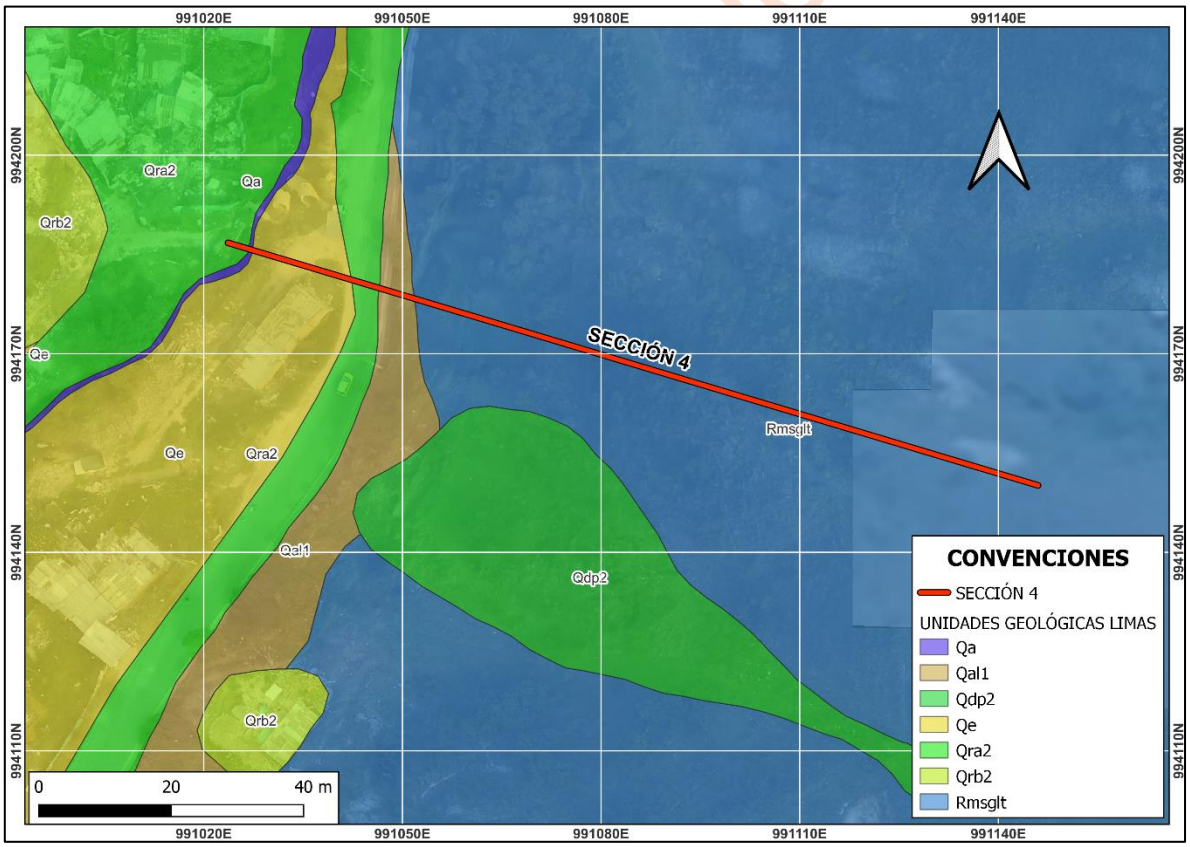


Figura 89 Localización planta sección de análisis Sección 4

Para la sección 5 se evidencia la presencia de flujo de materiales mixtos (Qdf2) en el intermedio del talud en la parte superficial del residual de macizo rocoso de muy mala

calidad “Rmmsglt “, en la parte baja del talud en superficie de identifica una terrazas aluviales matriz soportadas (Qal1), como se muestran en la Figura 90.

La sección 6 y 7 de análisis están conformadas por las unidades superficiales de residual de Macizo rocoso de mala calidad de areniscas de la Formación Arenisca Labor – Tierna “Rmsglt” en la parte alta de los taludes y un relleno antrópico clasto soportado Qra2 en la parte baja. En la Figura 90 se ilustra la localización en planta de estas secciones.

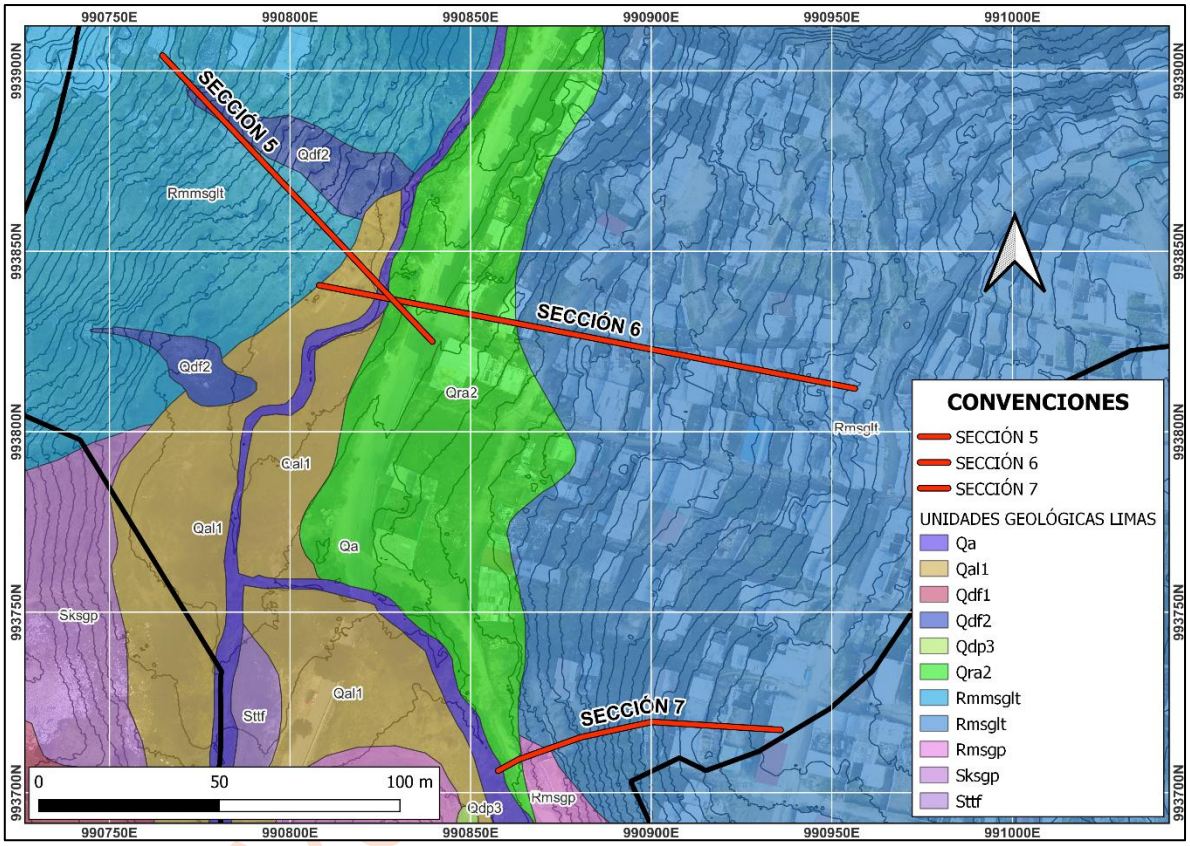


Figura 90 Localización planta secciones 5, 6 y 7 de análisis

La última sección de análisis se localiza en el sector vía Quiba, predominando en superficie un material residual Macizo rocoso de mala calidad de lodolitas de la Formación Plaeners Rmsgp tal como se ve en la Figura 91.

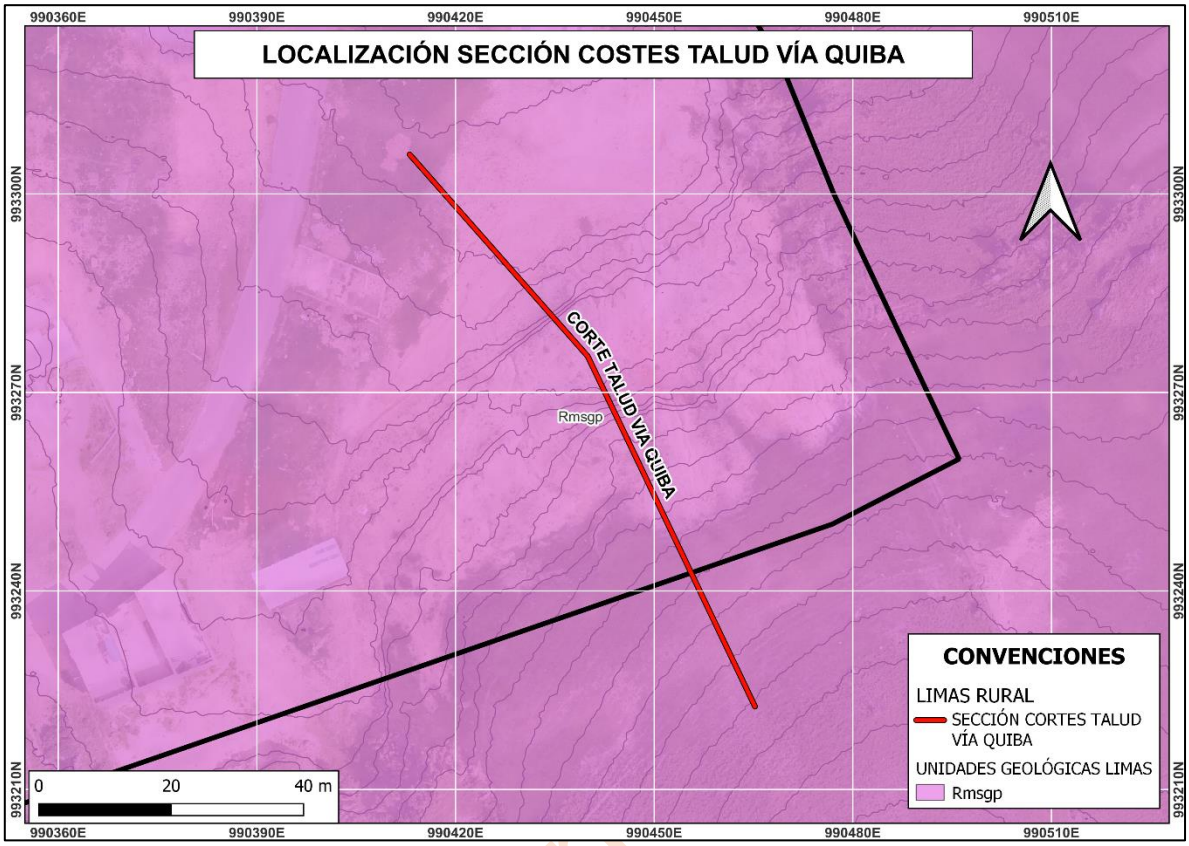


Figura 91 Localización planta sección 8 de análisis sitio Cortes en Talud Vía Quiba

9.3.2 Metodología de modelación

Para los análisis estabilidad de taludes se usó de un software equilibrio límite, mediante el cual es posible realizar la modelación de múltiples superficies de falla, definidas aleatoriamente por el programa, y determinar así, cuál de ellas es la que presenta un valor mínimo para el factor de seguridad.

Para la condición dinámica se tomó un coeficiente de aceleración de 0.22g, valor que corresponde a la aceleración máxima pico de la zona de estudio. A su vez, la componente vertical de la carga sísmica se tomó como 1/3g de la horizontal.

En términos de drenaje se asocia las modelaciones de flujo de aguas subsuperficiales realizadas para los diferentes escenarios mencionados en el capítulo 9.1.2. Las modelaciones se realizarán teniendo en cuenta un material totalmente saturado y con altura de la lámina de agua máxima.

Se consideran mecanismos de falla rotacionales principalmente, debidos a los fuertes procesos de erosión y meteorización en los materiales tipo suelo. *Algunos mecanismos o superficies de falla presentados, se encuentran localizados a la profundidad que se encuentra la roca, sin embargo, hace referencia a materiales residuales correspondientes*

Versión

a la capa superficiales de dicha roca y la posible falla por rotación que pueden sufrir este tipo de suelo de poco espesor en superficie.

En la sección 8 de análisis se deben tener en cuenta consideraciones de corte en talud ejecutados para las construcciones y ocupaciones del sector tal como se evidencia en la Figura 92.



Figura 92 Fotografía del sector Vía Quiba, evidencia de cortes en talud para ocupación de la zona

Las cargas a tener en cuenta en las modelaciones para estas ocupaciones se toman de 8kN/m, de acuerdo a la determinación de cargas para secciones en construcciones de un piso que se muestra en el ANEXO 10.

Las profundidades de suelo para los diferentes materiales modelados son obtenidas de los resultados de los análisis del modelo definido y descrito en el capítulo 6.1.3 Profundidades de suelo.

9.3.3 Escenarios de análisis

Los escenarios evaluados para la condición actual para cada una de las secciones de análisis fueron:

- **Escenario 1**: Situación actual, sin lámina de agua, sin sismo.
- **Escenario 2:** Situación actual, con lámina de agua máxima (Saturación total), sin sismo

- **Escenario 3**: Situación actual, sin lámina de agua, con sismo.
- **Escenario 4:** Situación actual, con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo.

9.3.4 Sección 1 - Sitio Caudal puntual

En la Figura 93 y Figura 94 se presentan los resultados de las modelaciones de estabilidad de taludes para la sección 1, en los escenarios 1: sin lámina de agua, sin sismo y escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total).

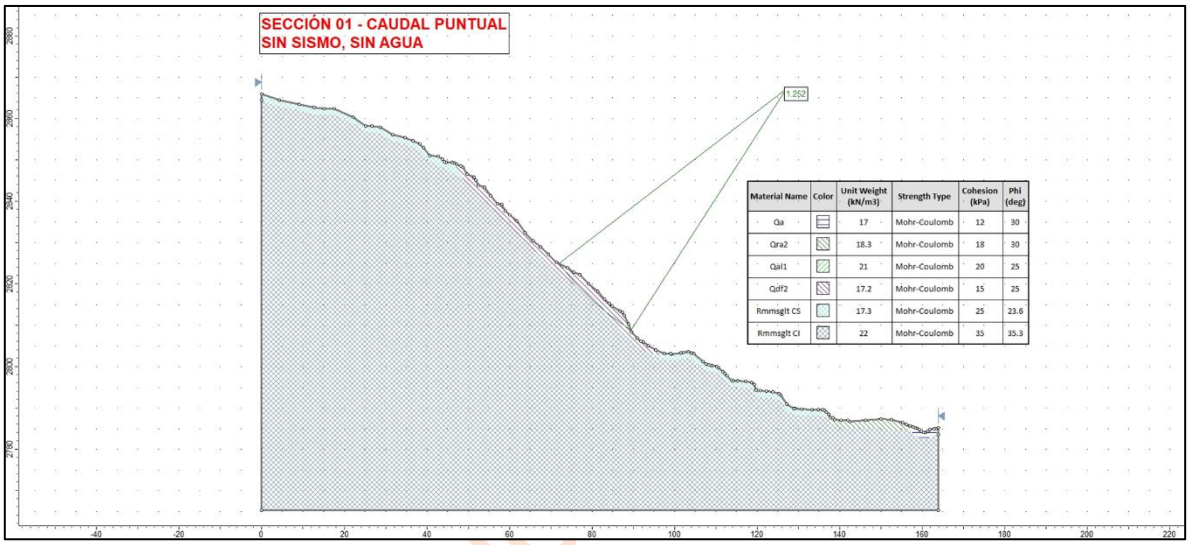


Figura 93 Modelación de estabilidad Sección 01 Caudal puntual, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo.

Versión

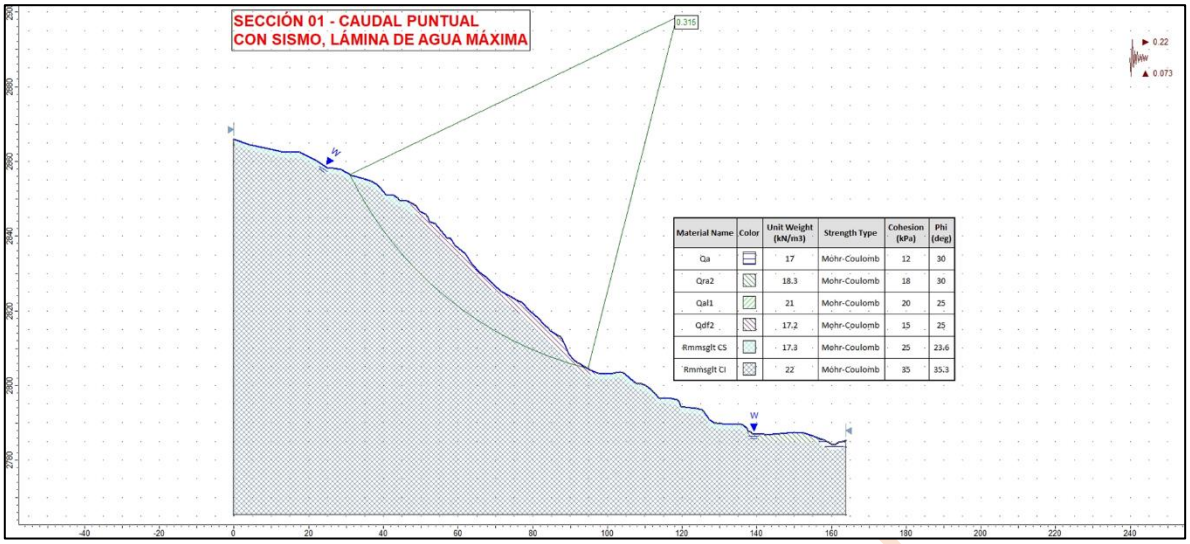


Figura 94 Modelación de estabilidad Sección 01 Caudal puntual, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo

9.3.5 Sección 2 - Sitio Caudal puntual

En la Figura 95 y Figura 96 se presentan los resultados de las modelaciones de estabilidad de taludes para la sección 2, en los escenarios 1: sin lámina de agua, sin sismo y escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total).

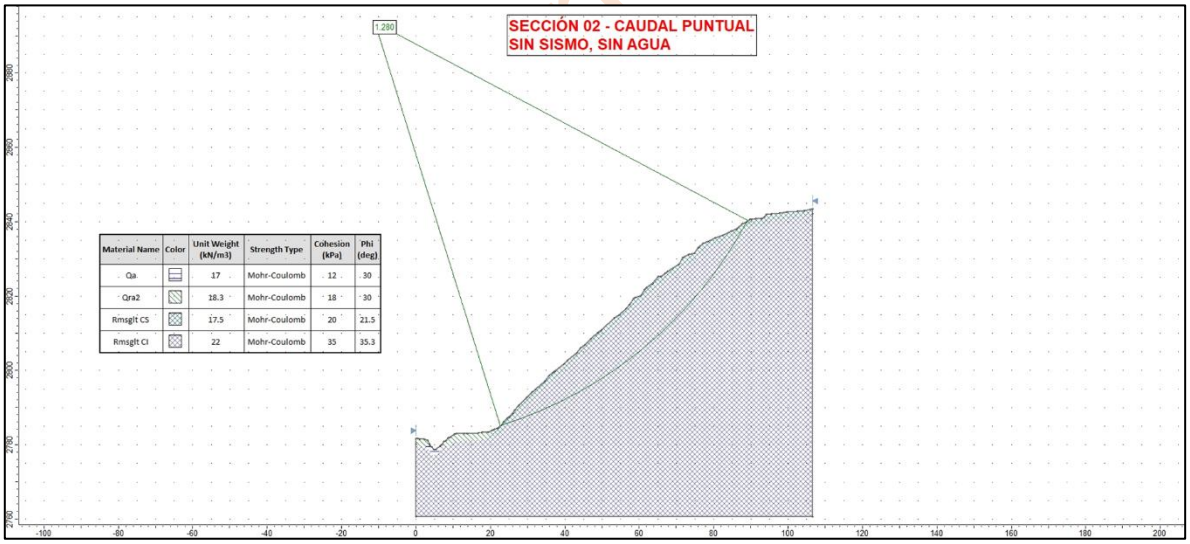


Figura 95 Modelación de estabilidad Sección 02 Caudal puntual, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo.

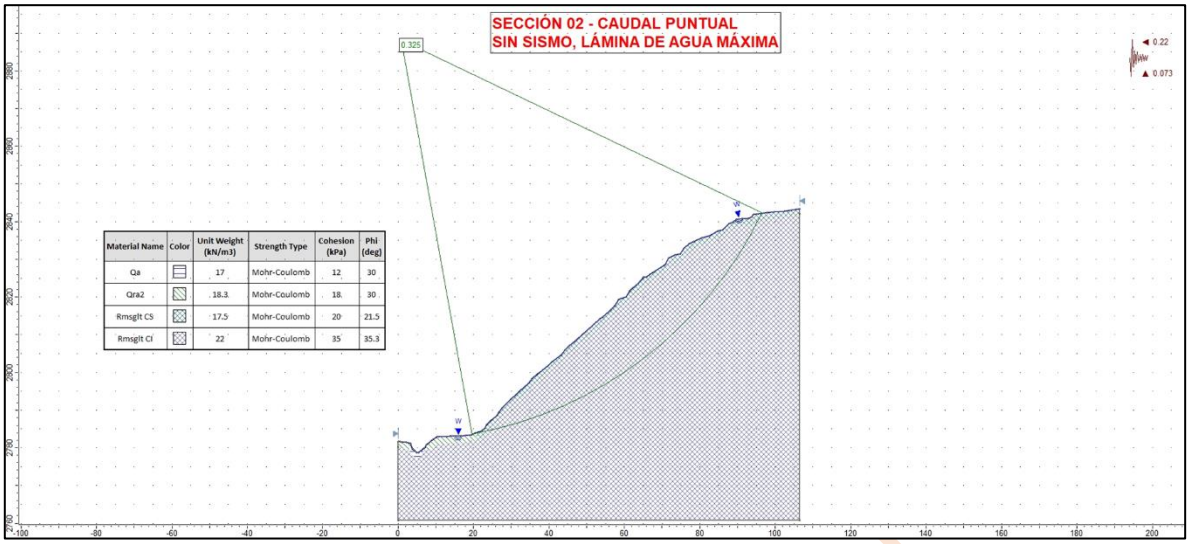


Figura 96 Modelación de estabilidad Sección 02 Caudal puntual, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo

9.3.6 Sección 3 - Sitio especial Bella Flor

En la Figura 97 y Figura 98 se presentan los resultados de las modelaciones de estabilidad de taludes para la sección 3, en los escenarios 1: sin lámina de agua, sin sismo y escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total).

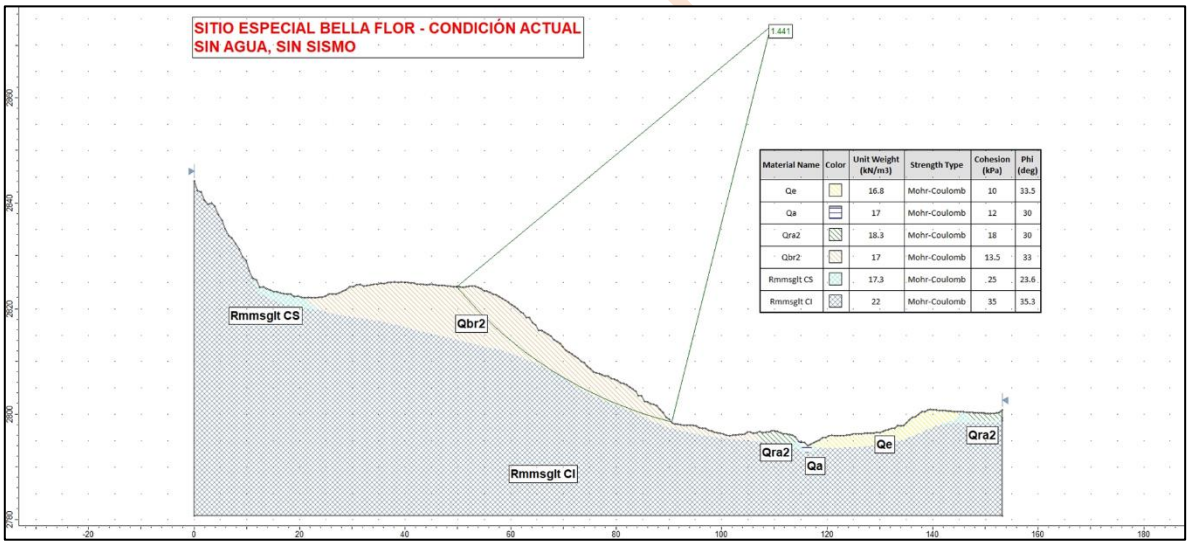


Figura 97 Modelación de estabilidad Sección 3 - Sitio especial Bella Flor, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo.

Inicial

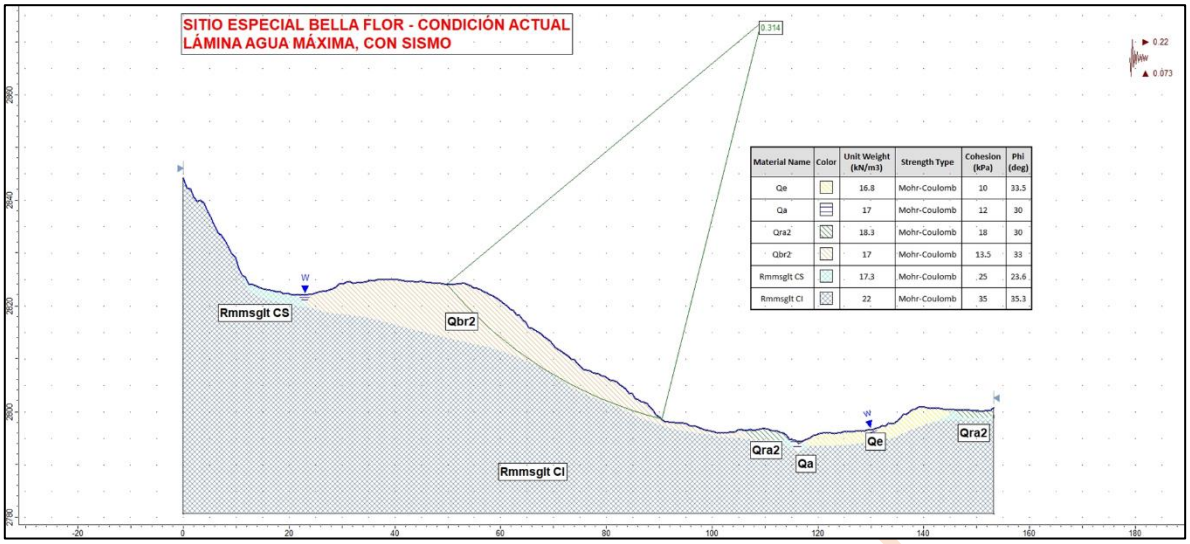


Figura 98 Modelación de estabilidad Sección 3 - Sitio especial Bella Flor, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo

9.3.7 Sección 4

En la Figura 99 y Figura 100 se presentan los resultados de las modelaciones de estabilidad de taludes para la sección 4, en los escenarios 1: sin lámina de agua, sin sismo y escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total).

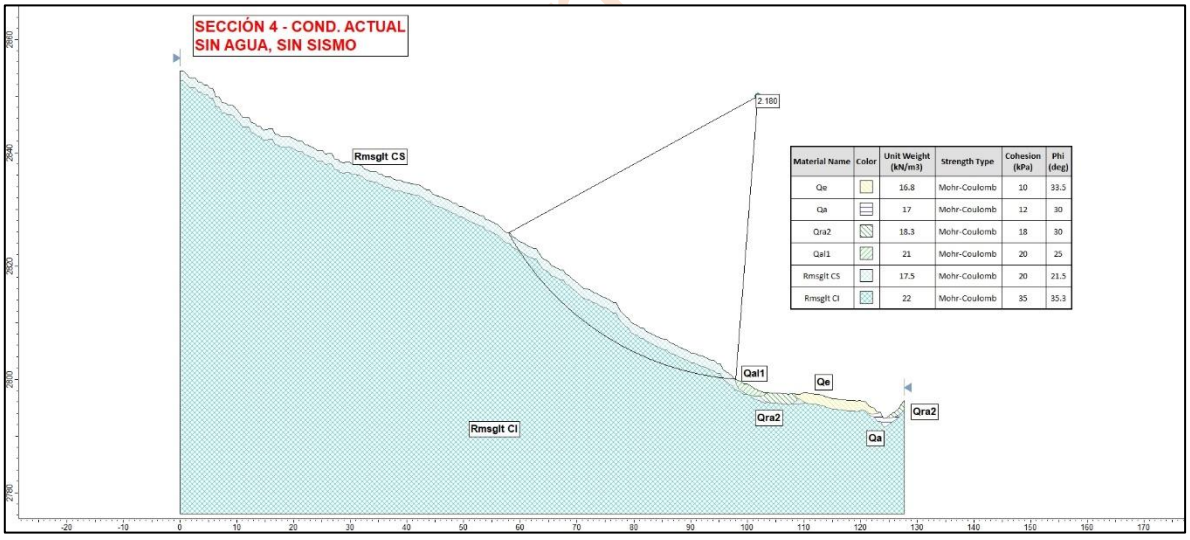


Figura 99 Modelación de estabilidad Sección 4, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo.

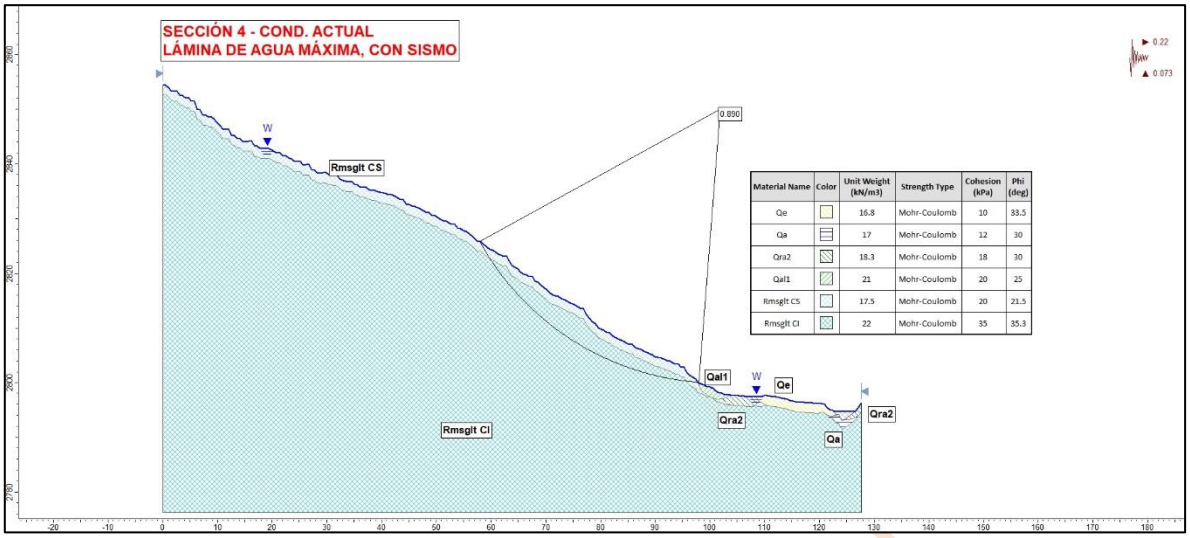


Figura 100 Modelación de estabilidad Sección 4, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo

9.3.8 Sección 5

En la Figura 101 y Figura 102 se presentan los resultados de las modelaciones de estabilidad de taludes para la sección 5, en los escenarios 1: sin lámina de agua, sin sismo y escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total).

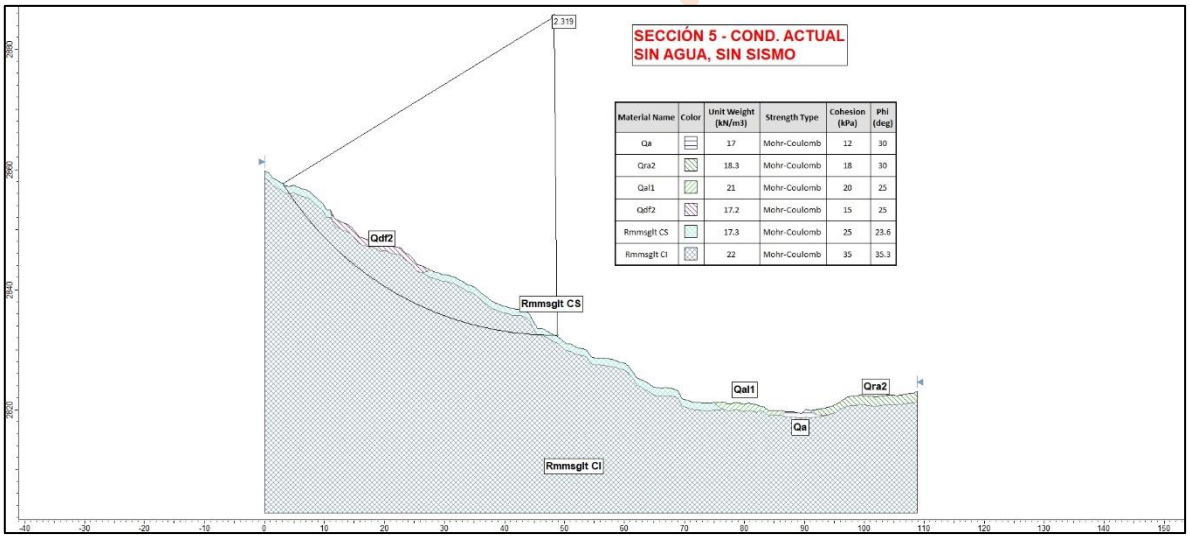


Figura 101 Modelación de estabilidad Sección 5, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo.

Inicial

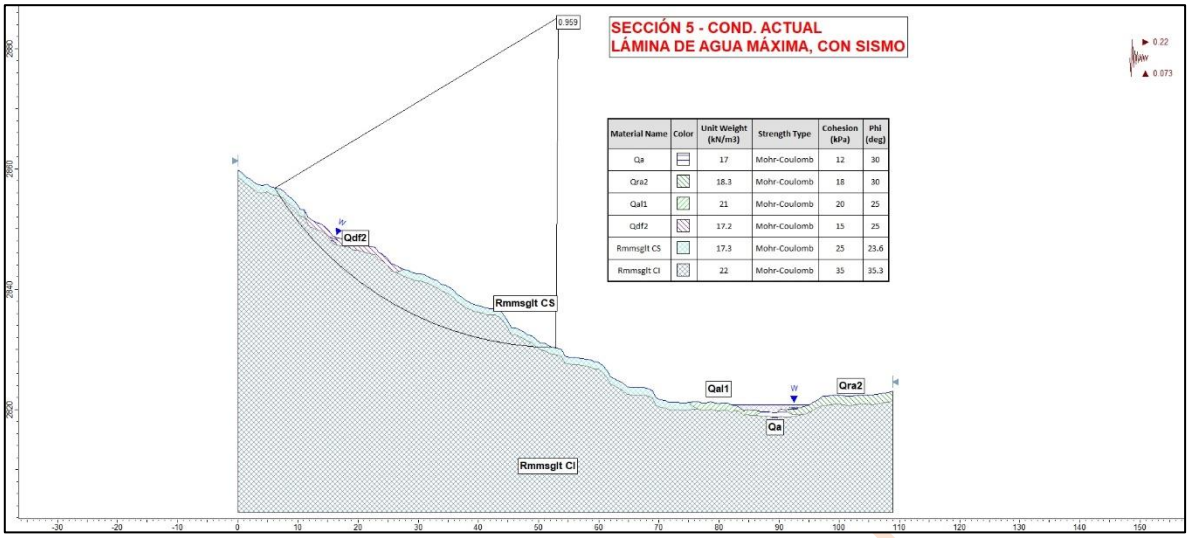


Figura 102 Modelación de estabilidad Sección 5, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo

9.3.9 Sección 6

En la Figura 103 y Figura 104 se presentan los resultados de las modelaciones de estabilidad de taludes para la sección 6, en los escenarios 1: sin lámina de agua, sin sismo y escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total).

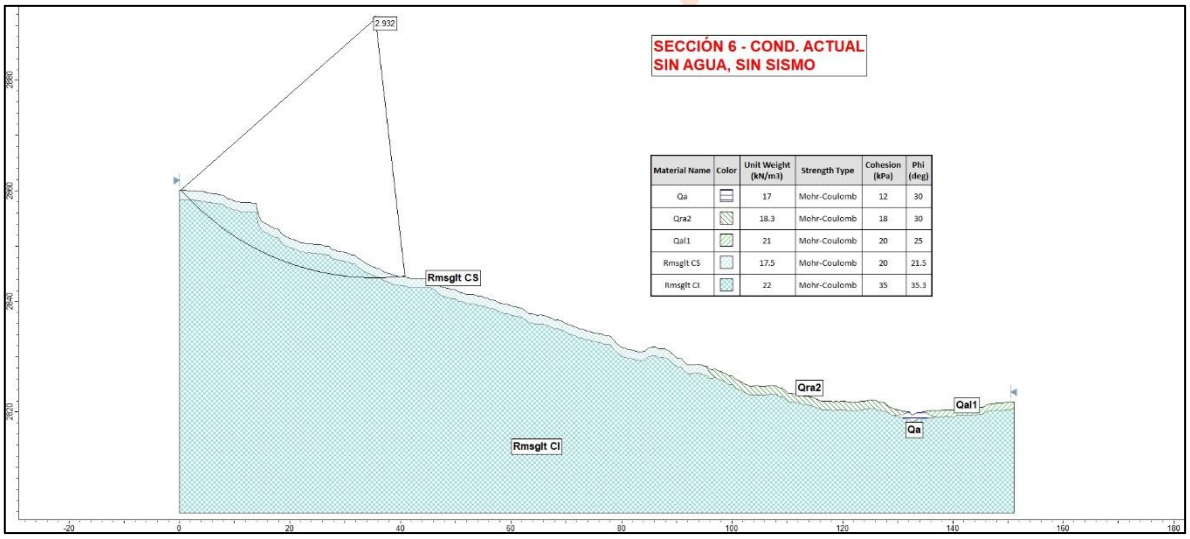


Figura 103 Modelación de estabilidad Sección 6, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo.

Inicial

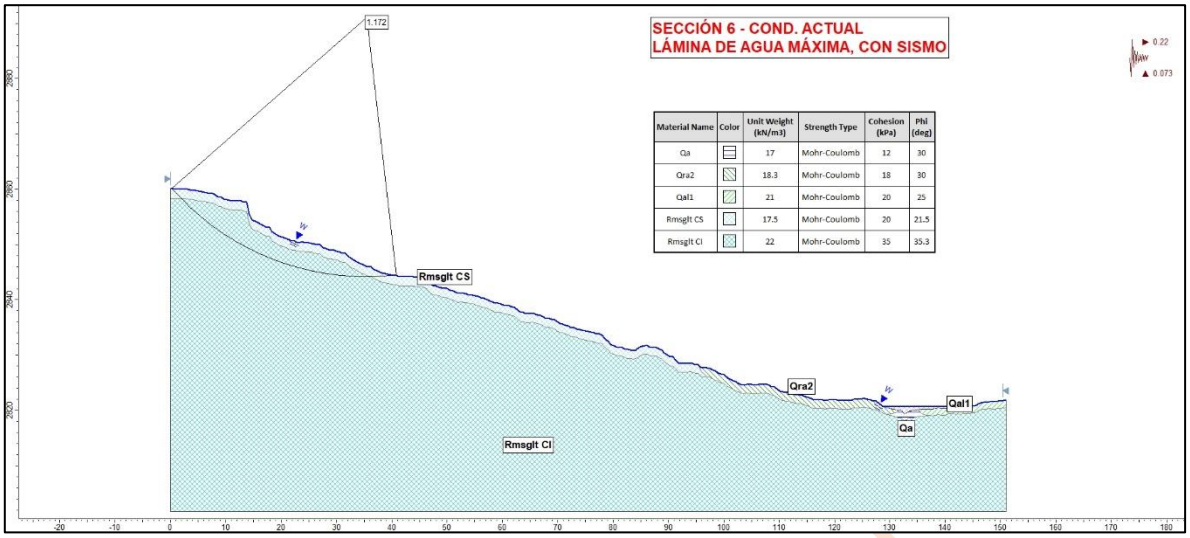


Figura 104 Modelación de estabilidad Sección 6, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo

9.3.10 Sección 7

En la Figura 105 y Figura 106 se presentan los resultados de las modelaciones de estabilidad de taludes para la sección 7, en los escenarios 1: sin lámina de agua, sin sismo y escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total).

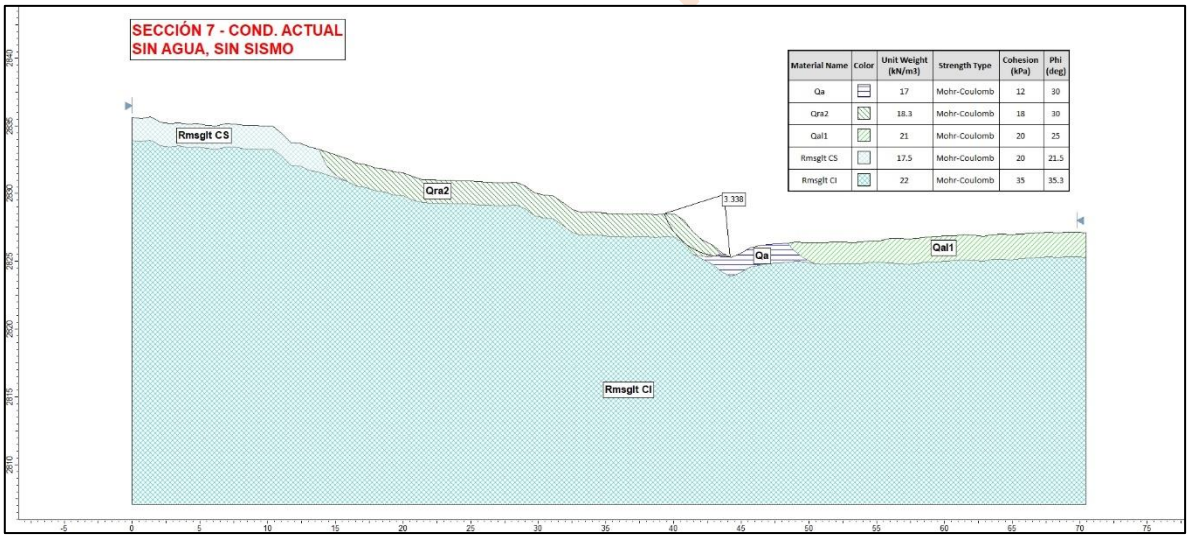


Figura 105 Modelación de estabilidad Sección 7, Escenario 1: Sin lámina de agua, sin sismo.

Inicial

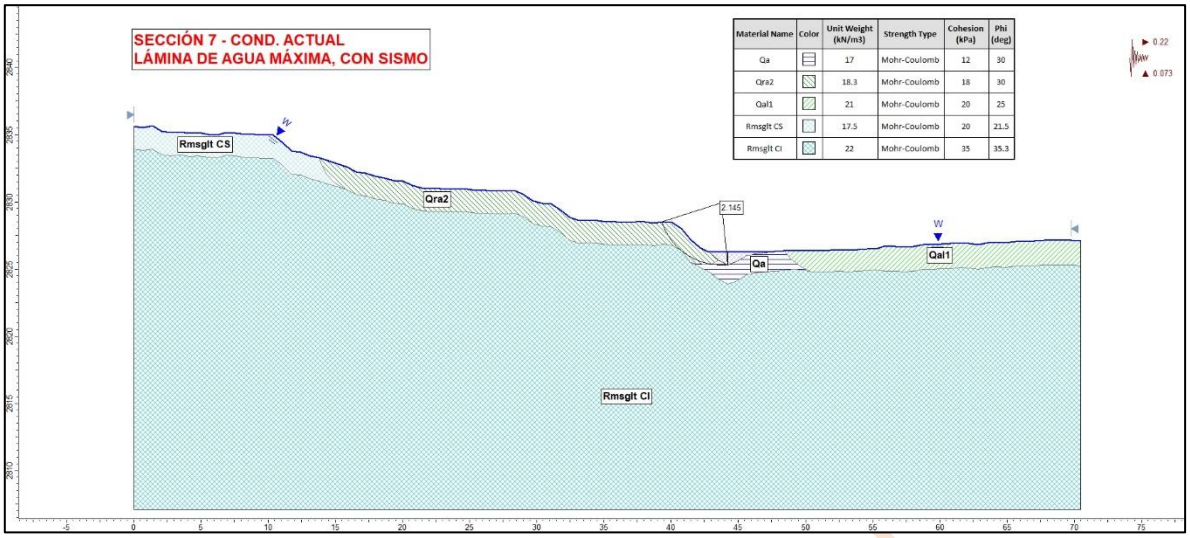


Figura 106 Modelación de estabilidad Sección 7, Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo

9.3.11 Sección 8 - Cortes en Talud Vía Quiba

En la Figura 107 y Figura 108 se presentan los resultados de las modelaciones de estabilidad de taludes para la sección 8 para los escenarios 1: sin lámina de agua, sin sismo y escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), sin sismo.

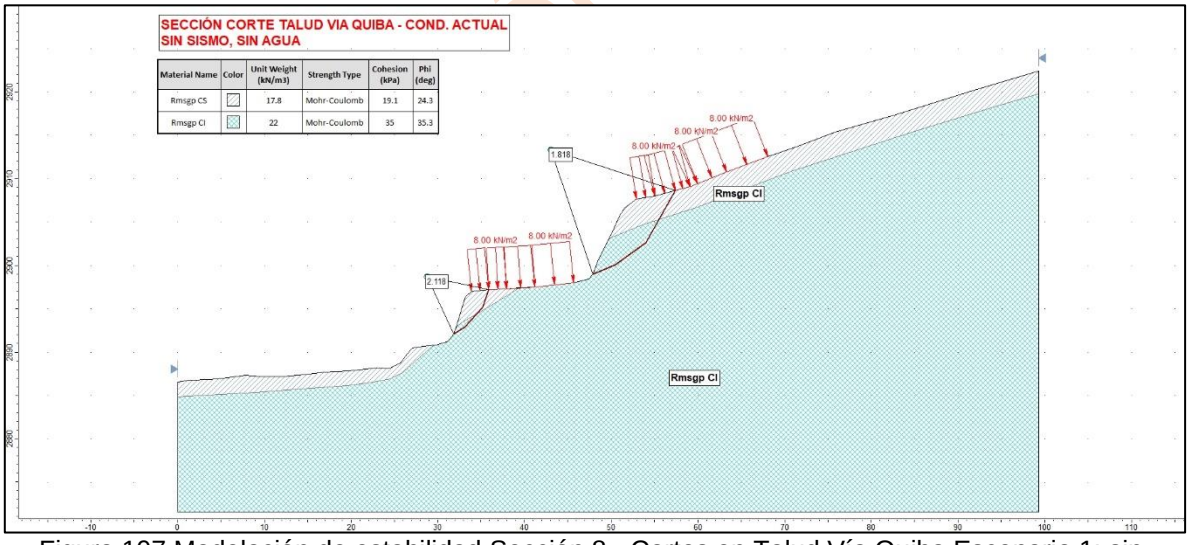


Figura 107 Modelación de estabilidad Sección 8 - Cortes en Talud Vía Quiba Escenario 1: sin lámina de agua, sin sismo – Superficie de falla no circular

Versión Inicial

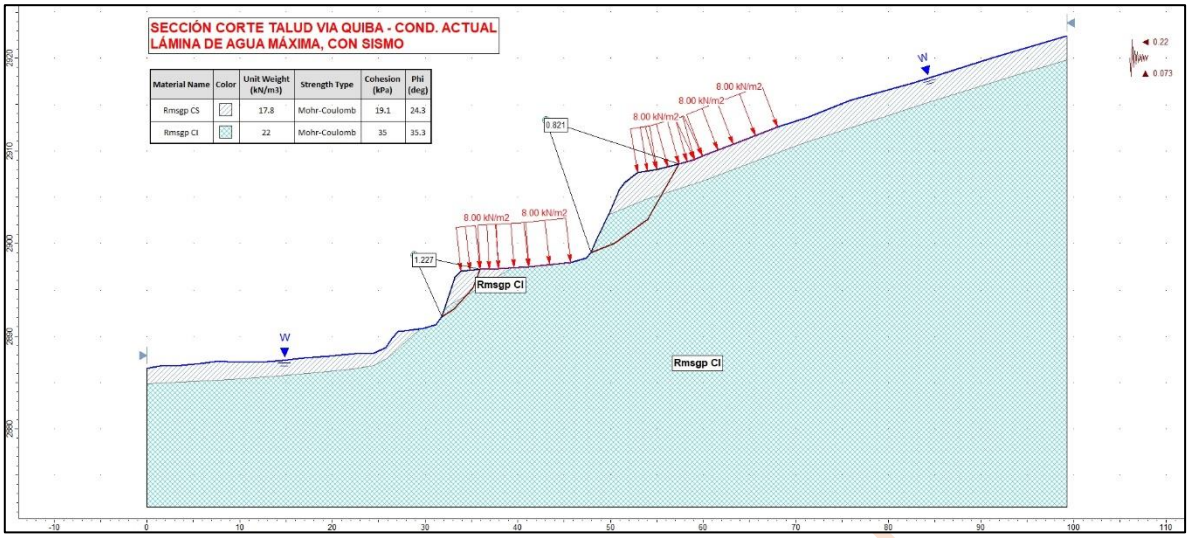


Figura 108 Modelación de estabilidad Sección 8 - Cortes en Talud Vía Quiba Escenario 4: con lámina de agua máxima (Saturación total), con sismo. - Superficie de falla no circular

Los resultados de modelaciones de todos los escenarios para cada una de las secciones de los sitios de análisis se pueden visualizar en el ANEXO 11.

9.3.12 Factores de seguridad resumen

Finalmente, a partir de los factores de seguridad F.S resultantes de las modelaciones de estabilidad se elaboró la Tabla 38 resumen, donde se presentan los factores de las secciones de análisis en los diversos escenarios analizados.

Tabla 38 Resumen de Factores de seguridad Sin Sismo resultado de los análisis de estabilidad

FACTORES DE SEGURIDAD MODELACIONES ESTABILIDAD DE TALUDES				
SECCIÓN ANÁLISIS	ESC. 1	ESC. 2	ESC. 3	ESC. 4
	SIN AGUA, SIN SISMO	LÁMINA DE AGUA MÁXIMA (SATURACIÓN TOTAL), SIN SISMO	SIN AGUA, CON SISMO	LÁMINA DE AGUA MÁXIMA (SATURACIÓN TOTAL), CON SISMO
SECCIÓN 1 - CAUDAL PUNTUAL	1.252	0.570	0.890	0.315
SECCIÓN 2 - CAUDAL PUNTUAL	1.280	0.585	0.889	0.325
SECCIÓN 3 - BELLA FLOR	1.441	0.599	0.975	0.314
SECCIÓN 4	2.180	1.366	1.523	0.890
SECCIÓN 5	2.319	1.536	1.549	0.959
SECCIÓN 6	2.932	1.936	1.863	1.172
SECCIÓN 7	3.338	2.875	2.580	2.145
SECCIÓN 8 - CORTES TALUD VÍA QUIBA	1.818	1.108	1.443	0.821

Versión Inicial

9.4 ANÁLISIS DE DISTANCIA DE VIAJE CAIDA DE ROCAS

De acuerdo a la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa (Servicio Geológico Colombiano, 2016), se estableció el cálculo de distancia de viaje mediante el método geométrico como se detalla en el ANEXO 12, en donde se seleccionaron tres secciones localizadas en los sectores de Bella Flor (Sección CR-A) y Vía Quiba (Sección CR-B y CR-C), las cuales presentan procesos de deslizamiento por caída de roca (CR). La localización de las secciones de análisis se puede visualizar en la Figura 109.

De la Figura 110 a la Figura 112, se muestran fotografías de detalle de las zonas donde se presentan este proceso de caída de rocas de las secciones de análisis.

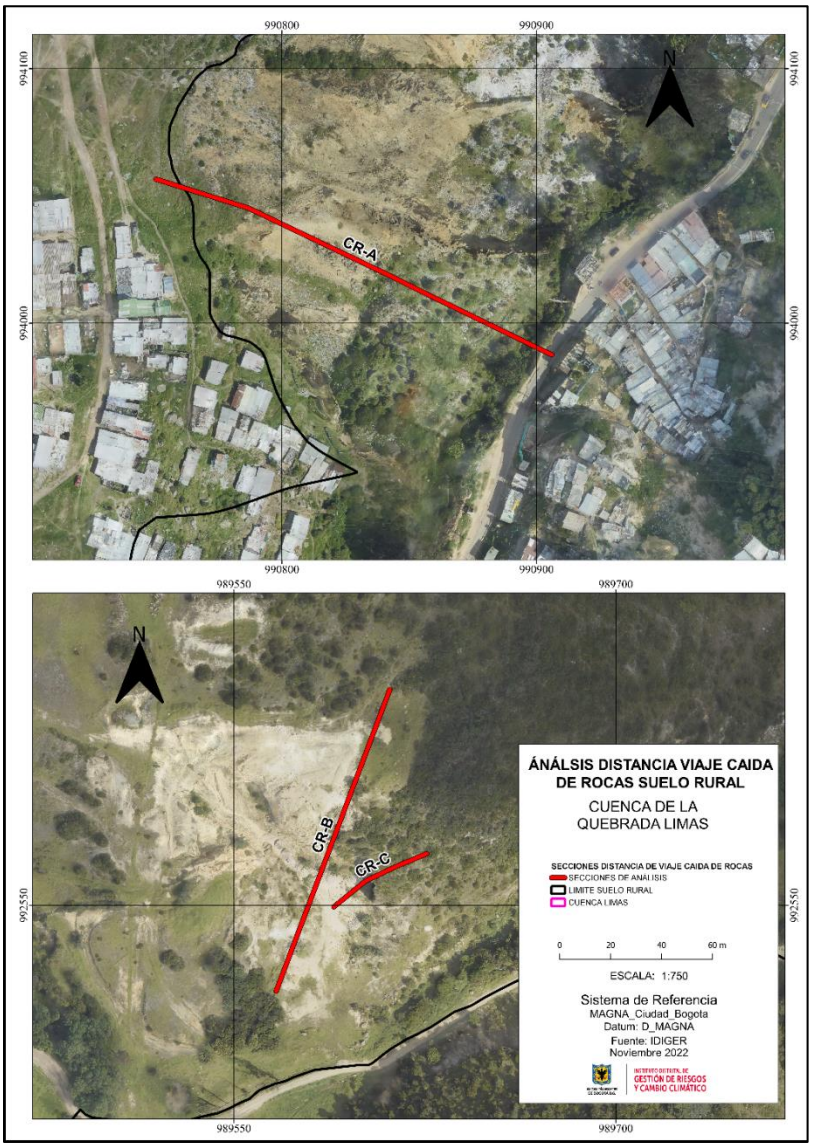


Figura 109. Localización secciones de análisis Distancia de viaje Caída de Rocas Suelo Rural



Figura 110 Fotografía del sector Bella Flor, Sección 2 CRA, evidencia de deslizamiento de caída de roca.

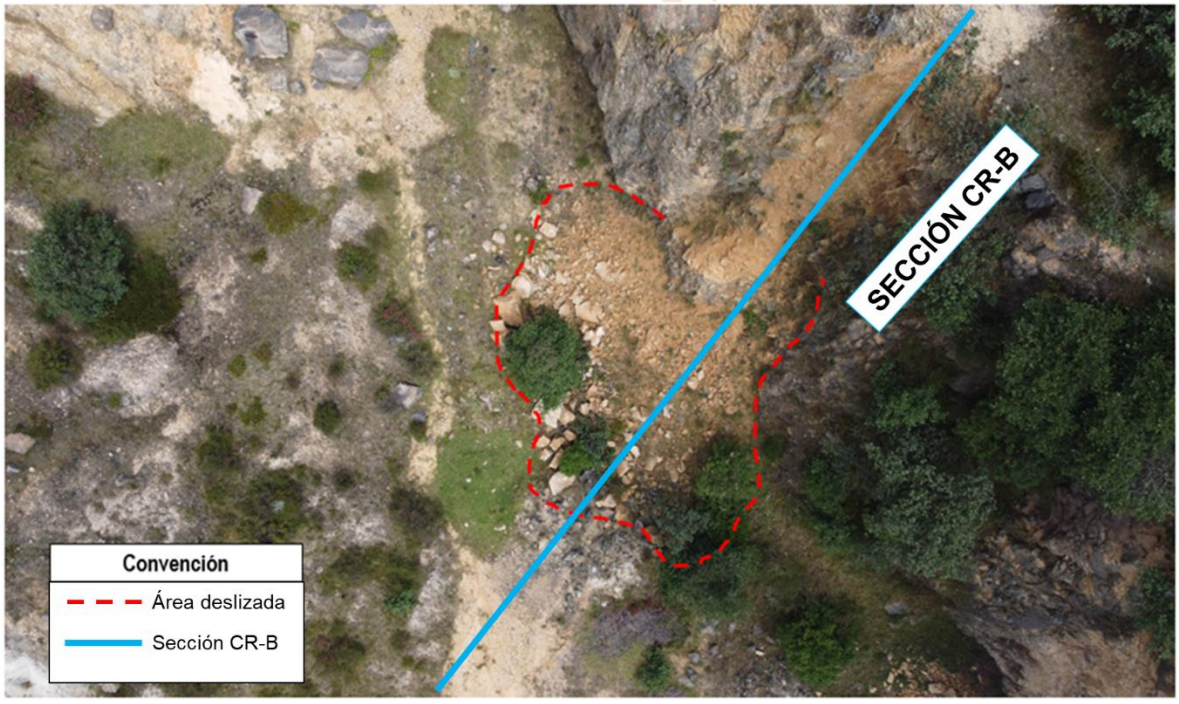


Figura 111 Fotografía del sector Vía Quiba, Sección 6 CRB, evidencia de deslizamiento caída de roca.

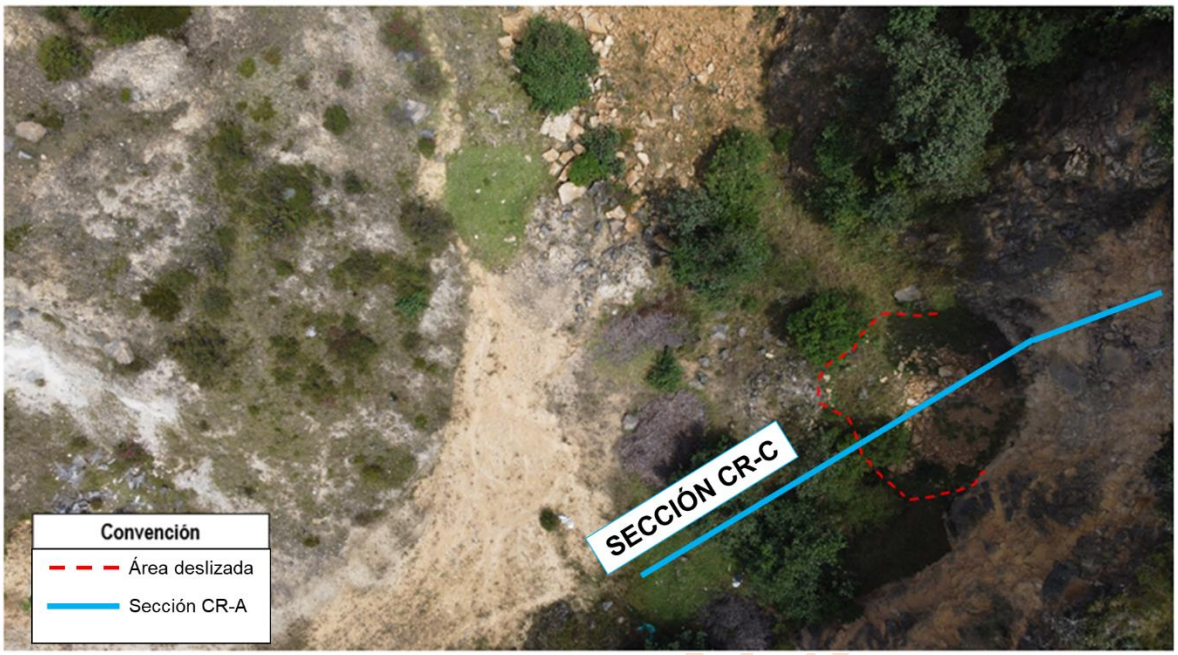


Figura 112 Fotografía del sector Vía Quiba, Sección 8CRC, evidencia de deslizamiento por caída de roca.

A partir de la metodología de análisis para el cálculo de la distancia de viaje, se obtienen los resultados de distancia de acuerdo a los ángulos de alcance determinados gráficamente y por medio de la ecuación de correlación establecida.
En la Tabla 39 se recopila el resultado de la distancia de viaje obtenida mediante el cálculo del ángulo de alcance por medio de la ecuación de correlación.

Tabla 39 Resultado Distancia de Viaje Promedio y Máxima.

CÁLCULO DISTANCIA DE VIAJE (CORRELACIÓN)			
Sección	Ángulo de alcance α°	Distancia de Viaje Promedio (m)	Distancia de Viaje Máxima 95% de confianza (m)
Sección CR-A	22,93	41,98	120,77
Sección CR-B	28,93	19,83	50,89
Sección CR-C	37,67	15,07	37,67

Así mismo, se determinó la distancia de viaje, variando los ángulos de alcance gráficamente, para cada una de las secciones establecidas, a continuación, se muestran los resultados para cada una de estas.

9.4.1 Sección CR-A

En la Tabla 40 se recopila los resultados de los análisis de distancia de viaje para la sección de caída de roca CR-A. La Figura 113 ilustra el perfil de sección con las distancias de viaje calculadas.

Tabla 40 Resultado Distancia de Viaje Promedio Sección CR-A

CÁLCULO DISTANCIA DE VIAJE (GRÁFICAMENTE)		
Ángulo de alcance α°	Distancia de Viaje Promedio (m)	Distancia de Viaje Máxima 95% de confianza (m)
37°	33,00	107,23
38°	32,51	106,44
39°	32,03	105,66
40°	31,55	104,89

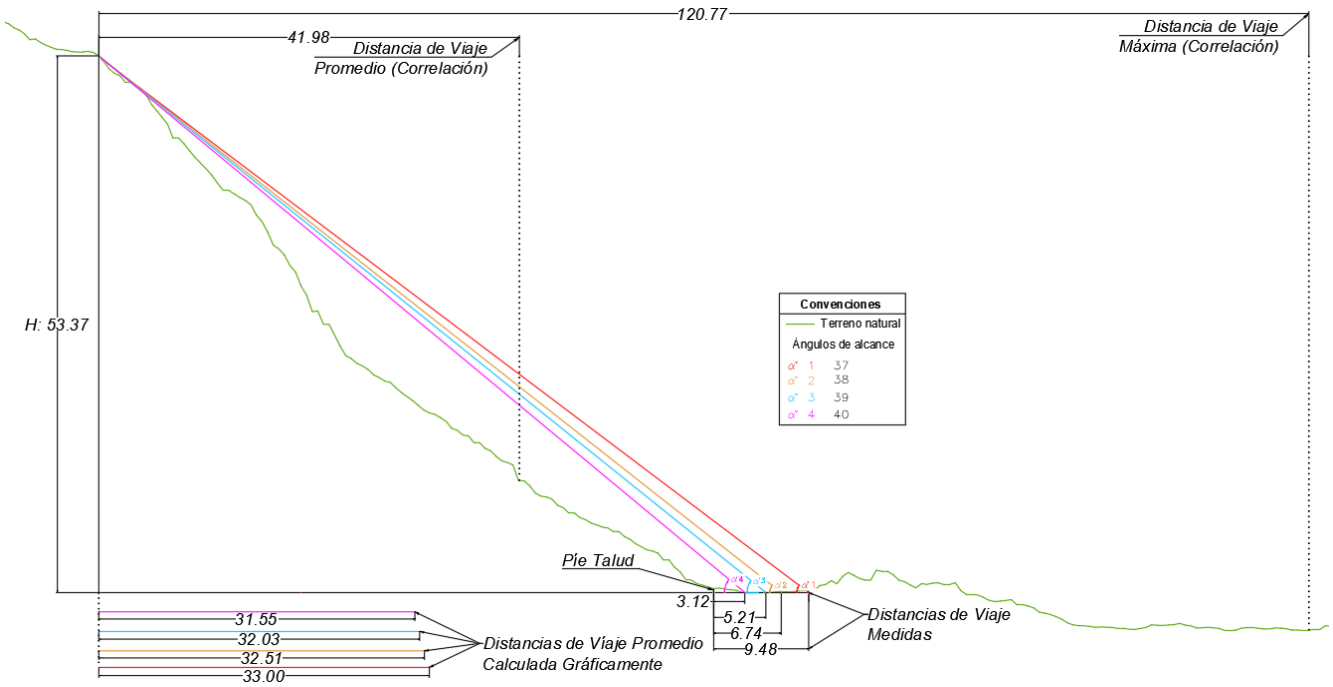


Figura 113 Esquema Sección CR-A

9.4.2 Sección CR-B

En la Tabla 41 se recopila los resultados de los análisis de distancia de viaje para la sección de caída de roca CR-B. La Figura 114 ilustra el perfil de sección con las distancias de viaje calculadas.

Tabla 41 Resultado Distancia de Viaje Promedio Sección CR-B.

CÁLCULO DISTANCIA DE VIAJE (GRÁFICAMENTE)		
Ángulo de alcance α°	Distancia de Viaje Promedio (m)	Distancia de Viaje Máxima 95% de confianza (m)
35°	17,97	48,47
38°	17,17	47,39
40°	16,66	46,69
43°	15,95	45,69

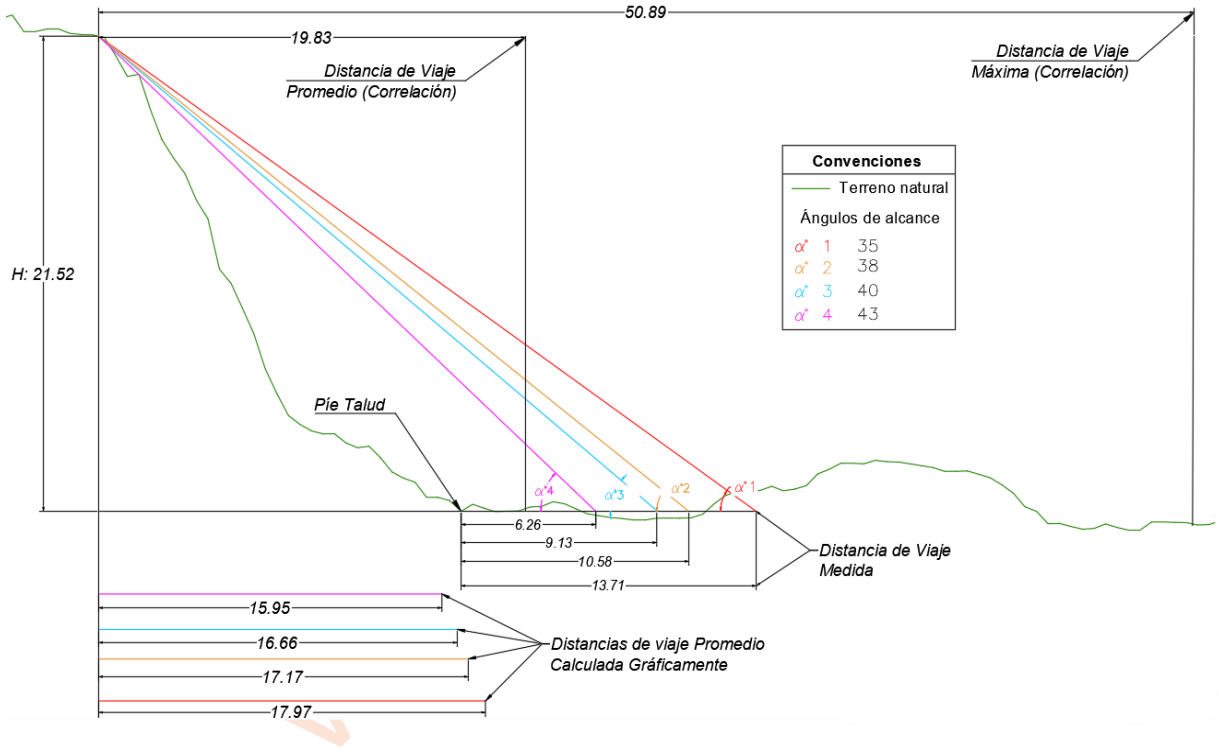


Figura 114 Esquema Sección CR-B

9.4.3 Sección CR-C

En la Tabla 42 se recopila los resultados de los análisis de distancia de viaje para la sección de caída de roca CR-C. La Figura 115 ilustra el perfil de sección con las distancias de viaje calculadas.

Tabla 42 Resultado Distancia de Viaje Promedio Sección CR-C.

CÁLCULO DISTANCIA DE VIAJE (GRÁFICAMENTE)		
Ángulo de alcance α°	Distancia de Viaje Promedio (m)	Distancia de Viaje Máxima 95% de confianza (m)
41°	13,26	35,37
42°	13,07	35,11
46°	12,33	34,11
50°	11,63	33,14

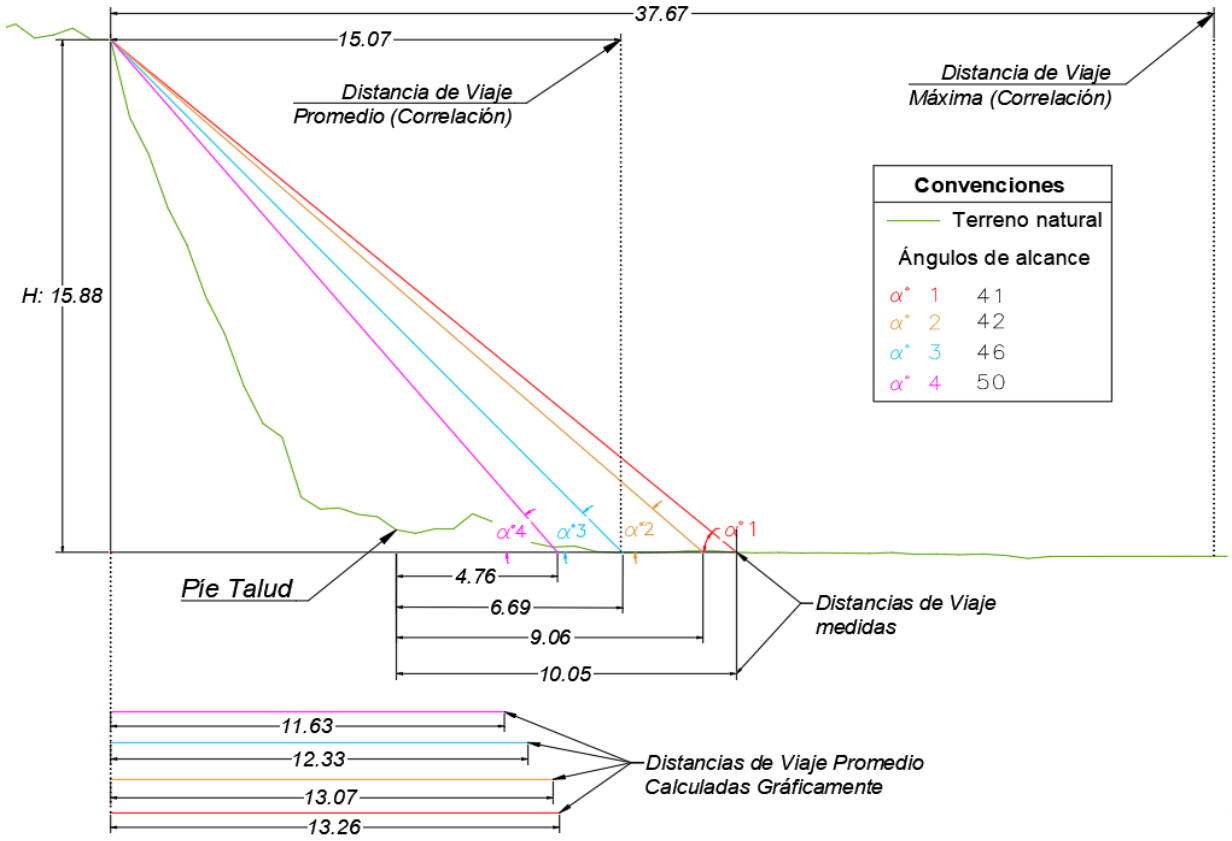


Figura 115 Esquema Sección CR-C

Debido a que las distancias de viaje promedio no son congruentes con lo visto en el deslizamiento, se opta por trabajar con una distancia máxima del 95% de confianza en los tres casos analizados, debido a que la zona de estudio presenta amenaza por movimientos en masa.

10. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN SUELO RURAL

A continuación, se presenta la zonificación de la amenaza por movimientos en masa en suelo rural a partir de los resultados de las modelaciones y análisis realizados y descritos en los capítulos anteriores. Cabe mencionar la importancia del reconocimiento de campo en la zonificación, pues es la herramienta que permite comparar los modelos con las realidades del territorio.

10.1.1 Categorización de amenaza

A partir de los resultados de los análisis de estabilidad obtenidos en términos de factores de seguridad, de las modelaciones de talud infinito y equilibrio límite, se asocian valores de categorías de amenaza de acuerdo a la propuesta de categorización de IDIGER 2022 y teniendo en cuenta la Guía Metodológica de Amenaza por Movimientos en Masa del SGC 2016, la cual se presenta en la Tabla 43.

Tabla 43. Categorización de la Amenaza por Rangos de Factor de Seguridad (FS) – Condición Normal.

Categoría de Amenaza	*Factor de Seguridad*
Amenaza Baja	*FS ≥ 1.50*
Amenaza Media	*1.10 ≤ FS < 1.50*
Amenaza Alta	*FS < 1.10*

Fuente: IDIGER 2021

Los resultados de esta categorización para los análisis de talud infinito y de equilibrio límite respecto a los factores de seguridad se presentan en la Tabla 44 y Tabla 45 respectivamente.

Tabla 44 Categorización de Amenaza por Análisis de Estabilidad por Talud Infinito, para el escenario Critico (Sismo y Agua)

No	AMENAZA	ÁREA (m2)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ALTA (FS ≤ 1.1)	2600.12	0.26	0.03%
2	MEDIA (1.1 < FS ≤ 1.5)	172101.60	17.21	1.96%
3	BAJA (FS > 1.5)	8237809.93	823.78	93.81%

Tabla 45 Categorización de Amenaza por equilibrio límite para diferentes escenarios

SECCIÓN ANÁLISIS	ESCENARIO	FACTORES SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN AMENAZA
SECCIÓN 1 - CAUDAL PUNTUAL	ESC. 1 SIN AGUA, SIN SISMO	1.252	Media
	ESC. 2 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, SIN SISMO	0.57	Alta
	ESC. 3 SIN AGUA, CON SISMO	0.89	Alta
	ESC. 4 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, CON SISMO	0.315	Alta
SECCIÓN 2 - CAUDAL PUNTUAL	ESC. 1 SIN AGUA, SIN SISMO	1.28	Media
	ESC. 2 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, SIN SISMO	0.585	Alta
	ESC. 3 SIN AGUA, CON SISMO	0.889	Alta

Versión preliminar

SECCIÓN ANÁLISIS	ESCENARIO	FACTORES SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN AMENAZA
	ESC. 4 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, CON SISMO	0.325	Alta
SECCIÓN 3 - BELLA FLOR	ESC. 1 SIN AGUA, SIN SISMO	1.441	Media
	ESC. 2 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, SIN SISMO	0.599	Alta
	ESC. 3 SIN AGUA, CON SISMO	0.975	Alta
	ESC. 4 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, CON SISMO	0.314	Alta
SECCIÓN 4	ESC. 1 SIN AGUA, SIN SISMO	2.18	Baja
	ESC. 2 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, SIN SISMO	1.366	Media
	ESC. 3 SIN AGUA, CON SISMO	1.523	Baja
	ESC. 4 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, CON SISMO	0.89	Alta
SECCIÓN 5	ESC. 1 SIN AGUA, SIN SISMO	2.319	Baja
	ESC. 2 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, SIN SISMO	1.536	Baja
	ESC. 3 SIN AGUA, CON SISMO	1.549	Baja
	ESC. 4 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, CON SISMO	0.959	Alta
SECCIÓN 6	ESC. 1 SIN AGUA, SIN SISMO	2.932	Baja
	ESC. 2 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, SIN SISMO	1.936	Baja
	ESC. 3 SIN AGUA, CON SISMO	1.863	Baja
	ESC. 4 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, CON SISMO	1.172	Media
SECCIÓN 7	ESC. 1 SIN AGUA, SIN SISMO	3.338	Baja
	ESC. 2 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, SIN SISMO	2.875	Baja
	ESC. 3 SIN AGUA, CON SISMO	2.58	Baja
	ESC. 4 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, CON SISMO	2.145	Baja
SECCIÓN 8 - CORTES TALUD VÍA QUIBA	ESC. 1 SIN AGUA, SIN SISMO	1.818	Baja
	ESC. 2 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, SIN SISMO	1.108	Media
	ESC. 3 SIN AGUA, CON SISMO	1.443	Media
	ESC. 4 LÁMINA DE AGUA MÁXIMA, CON SISMO	0.821	Alta

Con los resultados de los análisis de estabilidad se realiza la zonificación inicial. Para las secciones de análisis por equilibrio límite se asocian a las laderas de acuerdo al mapa de aspectos para espacializar el factor de seguridad.

10.1.2 Resultado zonificación de amenaza

Como se menciona en la descripción de la metodología la zonificación corresponde a la unión de diferentes análisis determinísticos como talud infinito, equilibrio límite y distancia de viaje y de manera transversal el reconocimiento de campo.

De acuerdo a los resultados de las modelaciones de estabilidad y la metodología propuesta se presenta la zonificación de amenaza por movimientos en la Figura 116. La zonificación se presenta en el ANEXO 2 Cartografía.

Versión inicial

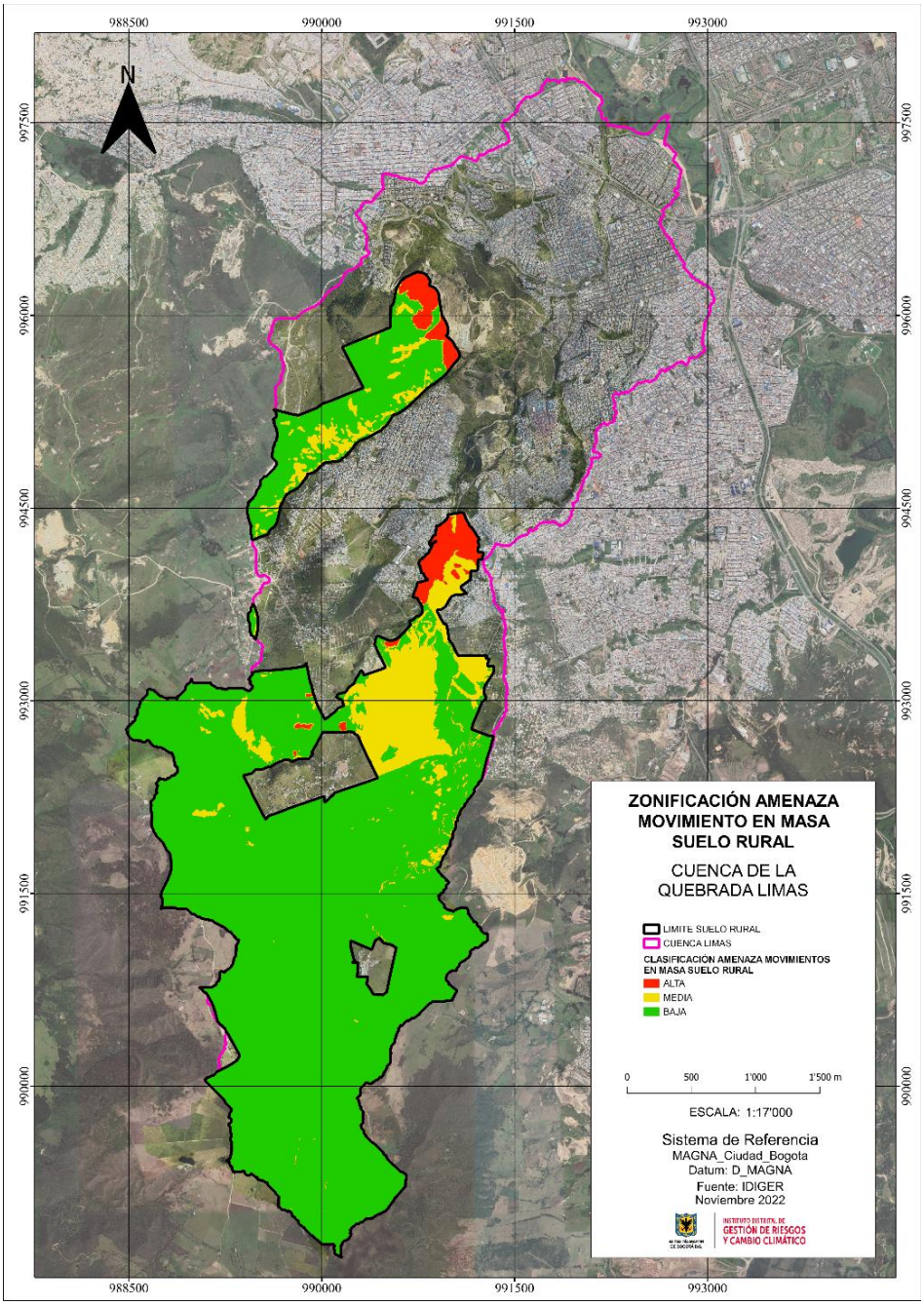


Figura 116. Categoría de amenaza por movimiento en masa para suelo rural Cuenca Limas.

Del área de estudio, se identifican que 84.41% del suelo rural se encuentra en amenaza baja y tan solo 3.28% se categoriza en amenaza alta por movimientos en masa como se muestra en la Tabla 46.

Tabla 46 Resultados de zonificación amenaza por movimientos en masa suelo rural Cuenca Limas

No.	AMENAZA	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	ALTA	28.874	3.28%
2	MEDIA	108.264	12.31%
3	BAJA	742.514	84.41%

A continuación, se presentan las descripciones de cada categoría de amenaza, que conforman la leyenda de la zonificación de amenaza. Esta leyenda fue obtenida a partir de la metodología descrita y principalmente con el reconocimiento del territorio.

Tabla 47 Leyendas zonificación amenaza por movimientos en masa suelo rural Cuenca Limas

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Alta	Son áreas con factores de seguridad menores a 1.10, en donde se presentan evidencias de movimientos en masa de tipo traslacional, flujos de tierras, reptaciones y caídas de roca o con el potencial para su ocurrencia. En estas zonas se evidencia recurrencia de eventos reportados en los instrumentos de gestión del riesgo del distrito. Las pendientes predominantes son entre muy escarpada a muy abrupta. Se encuentran materiales de origen antrópico correspondientes a residuos de construcción y rellenos artesanales usados en cimentaciones y también materiales naturales altamente meteorizados por efectos físicos y químicos debido a la ocupación del territorio. En estas áreas el tipo de cobertura predominante corresponden a territorios artificializados y su uso es residencial y minería en abandono debido a las antiguas exploraciones mineras. En estas zonas se evidencia disposición de aguas servidas directamente en la ladera y conexiones erradas del sistema de abastecimiento de agua, al ser sistemas artesanales, se presentan adecuaciones del terreno con cortes de talud, sin medidas de estabilización.
Media	Son áreas con factores de seguridad entre 1.10 y 1.50, no se observan evidencias de procesos de remoción en masa, aunque si se identifican procesos erosivos moderados a severos asociados principalmente a cárcavas y surcos. Las pendientes predominantes están entre abruptas a muy inclinadas. Se encuentran materiales de origen natural con meteorización moderada. En estas zonas el tipo de cobertura predominante corresponden a territorios artificializado con usos de infraestructura, transporte y áreas naturales sin uso. En estas zonas se presentan adecuaciones del terreno con cortes de talud, sin medidas de estabilización, asociadas a las nuevas ocupaciones irregulares del territorio.
Baja	Son áreas con factores de seguridad mayores a 1.50, sin evidencias de procesos de remoción en masa ni de procesos erosivos, aunque se pueden encontrar zonas con erosión laminar. En estas áreas no se evidencian reportes en los instrumentos de gestión del riesgo del distrito. Sus pendientes predominantes son entre plana e inclinada. Los materiales son naturales sin intervenciones. El tipo de cobertura predominante corresponde a territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales y el uso del suelo asociado es de áreas naturales - conservación protección y tierras en descanso.

Versión Final

10.1.3 Contrastación con la susceptibilidad

Adicional a la zonificación de amenaza se hace una contrastación con la susceptibilidad a movimientos en masa, obtenida por el método de pesos de evidencia, con el fin de poder identificar la representatividad de la metodología realizada.

El método de pesos de evidencia, define un peso a las variables condicionantes de acuerdo a una evidencia conocida, para este caso las áreas inestables registradas. El peso de cada factor se calcula aplicando considera la probabilidad incondicional y condicional de que ocurra un movimiento en masa. La probabilidad incondicional (previa) se calcula con los movimientos en masa que ocurrieron en el pasado en un periodo determinado y puede ser modificada de modo que al agregar una nueva evidencia la probabilidad cambia y se genera entonces una probabilidad (condicionada) llamada probabilidad posterior. La probabilidad posterior se calcula sumando los pesos de cada factor en una función aditiva (SGC, 2017). Van Westen (1993) plantea que en términos de pixeles el área está compuesta por un número total de pixeles N = Npix1 + Npix2 + Npix3 + Npix4, y que se cumplen las relaciones presentadas en la Tabla 48.

Tabla 48. Relación deslizamientos L y factor condicionante w

		w: Factor condicionante con potencialidad de deslizamientos		
		Presente	Ausente	
L: Deslizamientos	Presente	Npix1	Npix2	Área total deslizada
	Ausente	Npix3	Npix4	Área total no deslizada
		Área total con unidad *w*	Área total sin unidad *w*	Área total del mapa

Fuente: (SGC, 2017)

Lo anterior se puede interpretar de la siguiente forma:

- Npix1 = hay presencia del factor condicionante (Npix3) en el deslizamiento (Npix2). Lo cual es indicativo de una muy alta significancia de ese factor en el deslizamiento.
- Npix2 = no hay presencia del factor condicionante (Npix3) en el deslizamiento (Npix2). Lo cual es indicativo de una significancia alta por efecto de la presencia del deslizamiento.
- Npix3 = factor condicionante. Lo cual es indicativo de una significancia media por efector del factor que alguna vez contribuyo al deslizamiento.
- Npix4 = no hay deslizamiento ni factor condicionante. Lo cual es indicativo de una significancia baja.

Los factores condicionantes utilizados corresponden a las unidades geológicas superficiales, elementos geomorfológicos, cobertura del suelo, pendiente y direcciones de laderas (aspectos).

A partir de las variables presentadas y aplicando el método de pesos de evidencia, se realizó la zonificación de susceptibilidad a movimientos en masa de la cuenca completa,

teniendo en cuenta que el límite de cuenca corresponde a una división natural del terreno debido a esfuerzos y materiales asociados y en donde ocurre el ciclo hidrológico. Posteriormente se hizo el recorte para el área del presente estudio correspondiente a la zona rural.

Los análisis de pesos de evidencia de cada una de las variables se presentan en el ANEXO 05. De acuerdo al método, la categorización de la susceptibilidad corresponde a los porcentajes específicos asociados a la curva de éxito que se presenta en la Figura 117. La zona bajo la curva obtenida es de 94.8%, lo que representa un ajuste aceptable de más del 70% (SGC, 2017).

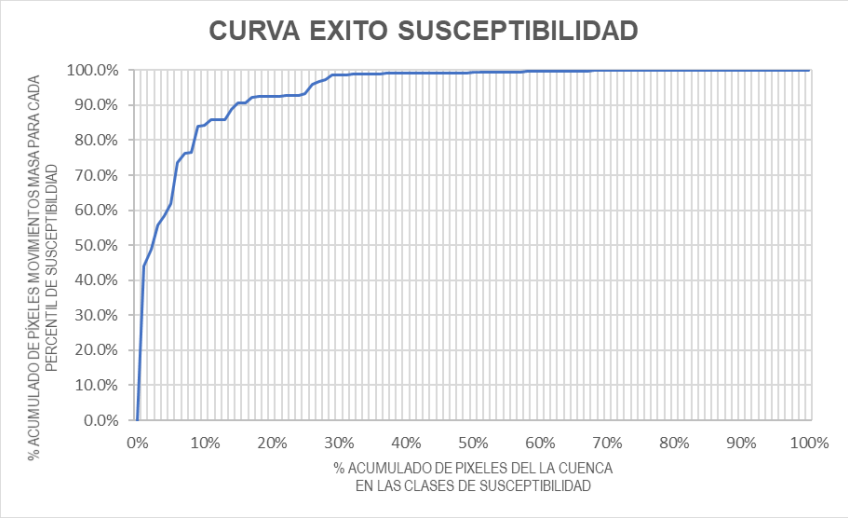


Figura 117. Curva de Éxito para la categorización de Susceptibilidad a Movimientos en Masa

La zonificación de susceptibilidad se presenta en la Figura 118, donde se puede observar que la mayor parte de la zona rural se encuentra en susceptibilidad baja. Los valores de las áreas de susceptibilidad para la zona rural se presentan en la Tabla 49.

Versión

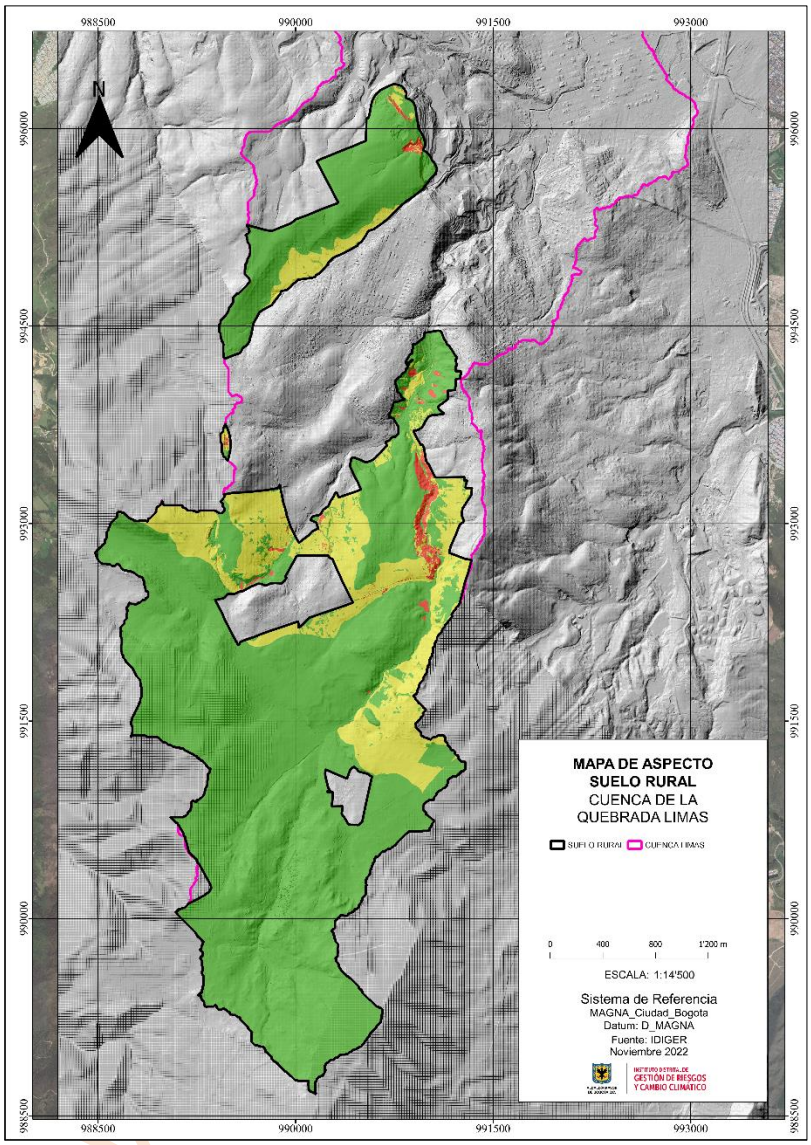


Figura 118. Zonificación de Susceptibilidad a Movimientos en Masa Zona Rural.

Los porcentajes utilizados para definir los las categorías a partir de los pesos de evidencia corresponden al 73.5% y al 97.3%, similares a las recomendaciones de la Guía del Servicio Geológico Colombiano, que los propone en 75% y 98% correspondientes a las áreas de todos los movimientos en masa (SGC, 2017)

Tabla 49. Categorias de Susceptibilidad a Movimientos en Masa

CATEGORÍA SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA (m²)	ÁREAS (Ha)	PORCENTAJE (%)	RANGOS PESOS DE EVIDENCIA
ALTA	140202.04	14.0	1.52%	-0.63 a 27.15
MEDIA	1695651.9	169.6	18.39%	-12.41 a -0.63
BAJA	7382340.3	738.2	80.08%	-44.393 a -12.41

Realizando la contrastación de la categorización de la amenaza con el análisis de susceptibilidad realizado se obtiene la Tabla 9.

Tabla 50 la contrastación de la categorización de la amenaza con el análisis de susceptibilidad

CATEGORIZACIÓN AMENAZA	ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL ÁREA POR CATEGORÍA AMENAZA	PORCENTAJE RESPECTO AL ÁREA DEL SUELO RURAL
ALTA	ALTA	2.97	10.30%	0.34%
	MEDIA	3.90	13.51%	0.45%
	BAJA	22.00	76.19%	2.51%
MEDIA	ALTA	2.00	1.87%	0.23%
	MEDIA	43.38	40.64%	4.95%
	BAJA	61.36	57.48%	7.00%
BAJA	ALTA	7.57	1.02%	0.86%
	MEDIA	106.10	14.33%	12.11%
	BAJA	626.75	84.65%	71.54%

De la tabla anterior, se identifica que la categoría de la amenaza baja tiene una alta coincidencia con la susceptibilidad baja con un 84.65 %, que a su vez corresponde al 71.54% del suelo rural. La categoría de la amenaza alta contiene apenas el 3.3 % (28.87 Ha) del área de análisis de susceptibilidad, siendo consecuente en orden de magnitud de menor área de amenaza.

En general modelo de susceptibilidad respecto y el modelo de amenaza son consecuentes en la magnitud de las zonas de amenaza y susceptibilidad baja que ocupan la mayor proporción de la Cuenca

11. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y MEDIDAS

La categoría de amenaza baja es la predominante en la zona estudio con 742.5 Ha correspondiente al 84.4 % del suelo rural de la cuenca, se caracterizan por ser zonas predominantes entre planas y poca inclinación, con coberturas de territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, usos naturales de protección y tierras en descanso.

El 12.31% (108.26 Ha) se clasifican en amenaza media, estas zonas se definen principalmente respecto a la ocupación irregular del territorio y las afectaciones evidenciadas por la adecuación de los terrenos. El 3.3% correspondientes a 28.9 Ha se encuentran categorizadas en amenaza alta, asociado a zonas donde se presentan movimientos en masa y se observan evidencias de inestabilidad, la amenaza alta se ubica principalmente en los sectores de Bella Flor y Cerro Colorado con áreas de 15.4 Ha y 6.4 Ha respectivamente, siendo zonas de la ruralidad próximas al perímetro urbano.

La amenaza desde alta a la baja en la zona rural de la cuenca se puede asociar de manera proporcional a la intervención antrópica del terreno, la amenaza alta se ubica en zonas en donde la intervención antrópica es severa pues ha modificado considerablemente las características de los materiales, como son las zonas de explotaciones mineras

Versión Inicial

abandonadas y afectaciones constantes por efecto del agua provenientes de las ocupaciones irregulares. En la amenaza media la intervención antrópica es moderada, con cortes de taludes sin obras de estabilización, aunque al momento de la realización del estudio, las ocupaciones se extienden de manera agresiva en la zona rural modificando su uso y comportamiento, por otro lado, en la zonificación como amenaza baja predominan los pastos, bosques y tierras sin ocupación y con vocación agrícola en algunos casos, en donde la intervención antrópica es leve o nula.

Los efectos esperados de la amenaza por movimientos en masa alta corresponden principalmente a desprendimientos de los materiales susceptibles a movilizarse, los cuales pueden afectar a las personas, bienes, servicios e infraestructura presentes en la zona. Estos desprendimientos corresponden a procesos de tipo traslacional que se convierten posteriormente en tipo de flujo, por lo que teniendo en cuenta la velocidad y la magnitud de los posibles desprendimientos, los elementos expuestos que se ubican abajo de las laderas son propensos a recibir este tipo de cargas con sus consecuentes afectaciones, que combinada con una vulnerabilidad alta pueden generar riesgos considerables. Respecto a la caída de rocas en las zonas de amenaza alta se pueden evidenciar desprendimientos de bloques de tamaños desde centímetros hasta de metros, los cuales debido a la energía con la que caen pueden llegar a presentar importantes distancias de viaje desde su origen y debido a su peso, tamaño y magnitud poder afectar severamente a los elementos expuestos.

En las áreas de amenaza media las afectaciones corresponden a posibles inestabilidades y procesos erosivos asociados a las descargas de aguas de las viviendas que conforman las ocupaciones en el suelo rural, así como cortes para explanaciones y accesos con vías que modifican el terreno, generando posibles desprendimientos y afectaciones en el uso y accesibilidad.

En las zonas de amenaza baja no se cuentan con evidencias de procesos erosivos o de remoción en masa, ni características críticas de ocupación tanto en los análisis como en el reconocimiento de campo, sin embargo, se debe tener en cuenta que estas zonas pueden ser propensas a deterioros, modificaciones, ocupaciones y cambios, por lo que se deberán tener en cuenta las recomendaciones descritas para esa zona también.

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial vigente, el suelo rural tiene una vocación principal de protección y conservación ambiental, por lo que la ocupación en el suelo rural no está legalizada. Por lo que la ocupación agresiva y acelerada está por fuera de la normativa, requiriendo los controles necesarios por parte de las autoridades competentes, principalmente la Alcaldía Local de Ciudad Bolívar.

Se deberá detallar en la normativa sobre las características permitidas para el uso del suelo rural, en caso que se permita la ejecución de proyectos de urbanismo y construcción de viviendas, se deberán seguir todos los lineamientos descritos en la Norma Sismo Resistente NSR-10, así como cumplir todos lineamientos requeridos en los procesos de licenciamiento para construcción de obras, que incluyen la realización de estudios de amenaza vulnerabilidad y riesgo escala de detalle.

A los ocupantes del sector se recomienda propender en la identificación de la amenaza por movimientos en masa, realizando el monitoreo visual permanente de las condiciones de

Versión Inicial

estabilidad de su entorno, de tal forma que puedan dar aviso a las entidades de emergencias sobre el cambio en las condiciones de estabilidad de su sector, en particular en aquellas épocas de alta precipitación, para que se puedan tomar las medidas preventivas y correctivas pertinentes, con el fin de evitar una afectación a vidas, bienes, servicios e infraestructura de la zona rural.

En el área de estudio existen redes de abastecimiento y disposición de aguas de forma artesanal que conducen las aguas servidas por tuberías y mangueras que los ocupantes de los predios han implementado como medida provisional, siendo estas características un detonante de inestabilidad que se debe eliminar. Dado el deficiente manejo del drenaje superficial existente, es necesario garantizar que las obras viales y de captación se mantengan en condiciones adecuadas para evitar la afectación del suelo e inestabilidad.

Las zonas de minería abandonadas son focos importantes de inestabilidad y por ende de amenaza alta por movimientos en masa, por lo que se recomienda realizar estudios detallados en el marco de los planes ambientales de cierres mineros (PMA, PMRRA, PRR) según aplique, a cargo de la Secretaría de Ambiente, en donde se deberá abordar el componente de estabilidad geotécnica en forma detallada con el fin de generar las medidas y restricciones adecuadas en estos sectores.

Para las zonas de amenaza alta y media se recomienda realizar estudios de detalle los cuales requieren de información a dicha escala y los cuales serán desarrollados por los interesados en los proyectos de acuerdo al desarrollo y normatividad del suelo rural.

Las entidades del Distrito, desde su competencia y gestión, deberán complementar obras de infraestructura que contribuyan con el mejoramiento integral del suelo rural, 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. La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca deberá ejercer su función de administrador ambiental del suelo rural, coadyuvando en el cumplimiento de los lineamientos y normativas en materia de gestión del riesgo.

Para adelantar obras de infraestructura por parte de las entidades competentes, se deberán tener en cuenta los antecedentes y la categorización de amenaza de la zona a intervenir y los sectores aledaños a una escala detallada. Las intervenciones deberán realizarse 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.

Para el desarrollo de actividades que involucren excavaciones, el IDIGER recomienda que sigan los lineamientos para la reducción de riesgos de excavaciones en Bogotá D.C., adoptadas por esta entidad mediante la Resolución 600 de 2015, adicionalmente del cumplimiento de todos los requerimientos de los permisos ambientales necesario para el desarrolló de este tipo de actividades.

Versión Inicial

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 Ciudad Bolívar, 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.

12. LIMITACIONES

De acuerdo a la escala del presente análisis, las medidas y recomendaciones descritas son no estructurales, asociadas principalmente a la ocupación del territorio, las medidas estructurales de reducción del riesgo se deberán realizar de manera particular y detallada para zonas o predios.

La información disponible a utilizada fue hasta el mes de junio de 2022, siendo el límite temporal del estudio.

Cabe mencionar las limitaciones que se presentan en los estudios y análisis de geotecnia debidos a la interpretación realizada de los modelos geológicos geotécnicos para zonas extensas los cuales son interpretados y realizados a partir de exploración puntual e identificación del terreno, pudiendo variar espacialmente de un sitio a otro. Por lo anterior los resultados aquí presentados se deben ver desde un punto de vista crítico entendiendo las características del terreno y los materiales y el objetivo final de la zonificación de amenaza y el uso de la información.

13. ANEXOS

ANEXO 01 INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DEL RIESGO
ANEXO 02 CARTOGRAFÍA
ANEXO 03 CLASIFICACIÓN RANGOS PENDIENTE
ANEXO 04 INFORME TÉCNICO CLASIFICACIÓN DE SUELO
ANEXO 05 ANÁLISIS SUSCEPTIBILIDAD PESOS DE EVIDENCIA
ANEXO 06 EXPLORACIÓN Y ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO 07 PARÁMETROS SUELOS
ANEXO 08 ANÁLISIS DE PROFUNDIDAD EL NIVEL FREÁTICO (T. 20AÑOS)
ANEXO 09 ANÁLISIS VALOR SUELO LIMAS RURAL
ANEXO 10 DETERMINACIÓN DE CARGAS
ANEXO 11 MODELACIONES ESTABILIDAD TALUDES
ANEXO 12 ANÁLISIS DE DISTANCIA DE VIAJE

Versión Inicial

14. BIBLIOGRAFÍA

- Cuervo Silva, G. (2021). EVALUACIÓN DE RIESGO POR AVENIDA TORRENCIAL DE LA QUEBRADA LIMAS COMPONENTES GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO Caracterización de fenómenos de tipo torrencial en la cuenca de la quebrada Limas. Ciudad Bolívar. Bogotá. Colombia [Técnico].
- Decreto 523 de 2010—Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C, (2010).
- DECRETO 1807 DE 2014. (2014). https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488
- González G., A. J. (2021). MEMORANDO IDIGER- MASG-06 ESTUDIOS EN QUIBA - LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR OBTENCIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS A PARTIR DE LA MTN.
- IDIGER. (2020). Documento técnico de soporte, construcción de los componentes de geología y geomorfología para la cuenca de la quebrada Limas. Bogotá, Colombia.
- IDIGER. (2021). DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE - Anexo 13 Gestión del riesgo y cambio climático en el ordenamiento territorial.
- IDIGER. (2021). PROPUESTA TECNICA RES 227-2006 “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”.
- IDIGER. (2021). ANEXO TÉCNICO No. 1A ESTUDIOS BÁSICOS “AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA LA ZONA RURAL”. IDIGER.
- IDIGER. (2022). Resolución 111 de 2022. https://www.idiger.gov.co/documents/20182/1295989/RESOLUCION+111+DE+20220510+IDIGER+TR+EDP+MM.pdf/6671ac80-7653-4969-8783-128d7da1872b
- Resolución 227 de 2006. (2006). https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=20845&dt=S
- Rodríguez, E. A., Sandoval, J. H., Chaparro, J. L., Trejos, G. A., Medina, E., Ramírez, K. C., & Ruiz, G. L. (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia.
- Rogelis, M. C. (2020). Análisis Hidrológico—EVALUACIÓN DE RIESGO POR AVENIDA TORRENCIAL DE LA QUEBRADA LIMAS. Volumen 0 Original.
- Rogelis Prada, M. C. (2022). INFORME TÉCNICO DE HIDROLOGÍA - EVALUACIÓN DE RIESGO DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA LIMAS DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR. IDIGER.
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). GUÍA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA DETALLADA.
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Imprenta Nacional de Colombia.
- servicio Geológico Colombiano (SGC). (2021). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales. Servicio Geológico Colombiano-SGC.

Versión Final