

**ESTUDIO Y DISEÑO DE ACCIONES Y MEDIDAS ADAPTATIVAS
A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDUCCIÓN DEL
RIESGO EN ZONAS PRIORIZADAS DEL DISTRITO CAPITAL**

**Contrato IDIGER-294-2025
INFORME PARCIAL – POLÍGONO 1**

**CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025
INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO
CLIMÁTICO -IDIGER-**

MAYO DE 2026

BOGOTÁ D.C

HOJA DE CONTROL

ENTIDAD	RESPONSABLE	FIRMA
CONSULTORÍA CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025	JAVIER ANTONIO MILLÁN	
INTERVENTORÍA CONSORCIO INTERVENTORÍA CAMBIO		

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

VERSIÓN	FECHA	OBSERVACIONES
1	mayo de 2026	

TABLA DE CONTENIDO

1	GENERALIDADES	12
1.1	INTRODUCCIÓN	12
1.2	ANTECEDENTES	12
1.3	CONTEXTO TERRITORIAL DEL PROYECTO	15
1.4	JUSTIFICACIÓN	16
1.5	OBJETIVO.....	17
2	COBERTURA Y USO DEL SUELO.....	18
2.1	PROCEDIMIENTO	18
2.2	RESULTADOS	18
2.2.1	COBERTURA DE LA TIERRA	18
2.2.1.1	Casco urbano (1.1.1.2.)	20
2.2.1.2	Vía sin pavimentar (1.2.2.1.1.2.)	21
2.2.1.3	Caminos y senderos peatonales (1.2.2.1.2.7.)	21
2.2.1.4	Pastos enmalezados (2.3.3.).....	21
2.2.1.5	Pastos degradados (2.3.4.)	21
2.2.1.6	Plantación de Latifoliadas (3.1.5.2)	21
2.2.1.7	Herbazal denso de tierra firme no arbolado (3.2.1.1.1.1.)	21
2.2.1.8	Arbustal denso (3.2.2.1.)	22
2.2.1.9	Arbustal abierto mesófilo (3.2.2.2.2)	22
2.2.1.10	Áreas erosionadas (3.3.3.1.).....	22
2.2.2	USO ACTUAL DEL SUELO	24
2.2.2.1	Residencial (RES)	26
2.2.2.2	Protección (CPR).....	26
2.2.2.3	Sistemas forestales protectores (FPR)	26
2.2.2.4	Transporte (TRAN).....	26

2.3	CONCLUSIONES.....	28
2.4	LITERATURA CONSULTADA	28
3	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	29
3.1	RECOPILACIÓN INFORMACIÓN SECUNDARIA	29
3.1.1	MARCO GEOLÓGICO	29
3.1.1.1	Geología regional	30
3.1.1.2	Geología estructural general.....	32
3.1.1.3	Geomorfología regional	33
3.1.1.4	Inventario histórico de movimientos en masa y otros eventos.....	35
3.1.1.5	Zonificación por remoción en masa	37
3.1.2	ESTUDIOS PREVIOS.....	38
3.1.2.1	Geotecnia	39
3.1.2.2	Geología Superficial.....	39
3.2	TRABAJOS DE CAMPO GEOLOGÍA	40
3.2.1	Estación 1	40
3.2.2	Estación 2	41
3.2.3	Estación 3	45
3.2.4	Estación 4 y 5.....	46
3.2.4.1	PC5-1	48
3.2.5	Estación 6	49
3.2.5.1	PC6-1	53
3.2.5.2	PC6-2	55
3.2.5.3	PC6-3	61
3.2.5.4	PC6-4	63
3.2.5.5	PC6-5	64
3.2.6	Estación 7	65
3.2.6.1	PC 7-1 Sitio crítico.....	66
3.3	GEOLOGÍA LOCAL.....	67

3.4	DEFINICIÓN DE UGIS	69
3.5	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	72
3.5.1	ANÁLISIS MULTITEMPORAL	72
3.5.1.1	Fotografía aérea vuelo C-2161	73
3.5.1.2	Fotografía aérea vuelo C1183	75
3.5.1.3	Fotografía aérea vuelo C2656	77
3.5.1.4	Fotografía aérea vuelo C2717	78
3.5.1.5	Fotografía ortomosaico 2089	79
3.5.1.6	Fotografía ortomosaico 762	80
3.5.1.7	Fotografía ortomosaico 5017	80
3.5.2	ANÁLISIS MORFOMÉTRICO	81
3.5.3	IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA	85
3.5.3.1	PC 7-1 Deslizamiento rotacional sobre rellenos antrópicos	87
3.5.4	CARTOGRAFÍA GEOMORFOLOGÍA	87
4	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS	90
4.1	EVALUACIÓN SISMOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	90
4.1.1	AMENAZA Y RESPUESTA SÍSMICA	90
4.1.2	INFORME - ZONIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE BOGOTÁ PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES	91
4.1.2.1	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	92
4.1.2.2	ZONIFICACIÓN DE RESPUESTA SÍSMICA	96
4.2	INVENTARIO DETALLADO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	100
4.2.1	BASE DE DATOS DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	100
4.2.2	INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS	101
4.2.2.1	ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ	102
4.2.2.2	REVISIÓN DE SECTORES PROPENSOS A MOVIMIENTOS EN MASA (REVISIÓN SIRE)	103

4.3	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	106
4.3.1	EXPLORACIÓN DIRECTA -SONDEOS	106
4.3.2	Nivel freático	108
4.3.3	EXPLORACIÓN INDIRECTA.....	109
4.3.3.1	Tomografía eléctrica 1.....	111
4.3.3.2	Línea sísmica de refracción 1	116
4.4	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	122
4.4.1	ENSAYOS DE CAMPO.....	122
4.4.2	PERFIL GEOTÉCNICO	125
4.4.3	MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	126
4.5	SITIO CRÍTICO	¡Error! Marcador no definido.
4.5.1	Localización zona de estudio	¡Error! Marcador no definido.
4.5.2	Metodología de diagnóstico y exploración	¡Error! Marcador no definido.
4.5.3	Caracterización del movimiento y factores detonantes	¡Error! Marcador no definido.
4.5.4	Características morfológicas del proceso identificado	¡Error! Marcador no definido.
4.5.5	Análisis multitemporal	¡Error! Marcador no definido.
4.6	DISEÑO GEOTECNICO	¡Error! Marcador no definido.
4.6.1	ANÁLISIS RETROGRESIVO (BACK ANALYSIS)	¡Error! Marcador no definido.
4.6.2	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ACTUAL	¡Error! Marcador no definido.
4.6.3	DISEÑO OBRAS DE CONTENCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
4.6.3.1	Muro de contención apoyado en caisson	¡Error! Marcador no definido.
4.6.3.2	Determinación de empujes	¡Error! Marcador no definido.
4.6.3.3	Módulo de reacción horizontal.....	¡Error! Marcador no definido.
4.6.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRA	¡Error! Marcador no definido.

4.6.5	OBRAS COMPLEMENTARIAS	¡Error! Marcador no definido.
4.7	CONCLUSIONES.....	128
4.8	REFERENCIAS.....	129
5	EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL	130
5.1.1	Drenaje Natural	130
5.1.2	Drenaje Artificial	133

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Localización Polígonos de estudio	14
Figura 2.	Cobertura de la tierra Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscal-parque entre nubes	19
Figura 3.	Distribución porcentual de la cobertura de la tierra Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscal-parque entre nubes	23
Figura 4.	Uso actual del suelo Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscal-parque entre nubes	25
Figura 5.	Distribución porcentual del uso actual del suelo Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscal-parque entre nubes	27
Figura 6.	Geología UGS cuenca de la Hoya del Ramo polígono 1	31
Figura 7.	Geomorfología de la Hoya del Ramo - Entre Nubes	34
Figura 8.	sitios críticos por mm, inundación y avenidas torrenciales.....	36
Figura 9.	reporte de eventos de mm y avenidas torrenciales SIMMA	36
Figura 10.	amenaza por avenidas torrenciales polígono 1.....	37
Figura 11.	zonificación por amenaza de movimientos en masa polígono 1	38
Figura 12.	Fotografía estación 1	41
Figura 13.	Columna estación 2.....	43
Figura 14.	Estación E1 y E2	44

Figura 15. Análisis cinemático E1 Y E2	45
Figura 16. Foto tomada en campo estación 3	46
Figura 17. Foto tomada en campo estación 4	47
Figura 18. Foto tomada en campo estación 5	48
Figura 19. Estación 5-1.....	49
Figura 20.....	50
Figura 21. Perfil estratigráfico.....	52
Figura 22. Análisis cinemático de los datos estructurales	53
Figura 23. Fotografía PC 6-1	54
Figura 24. Foto desde arriba deslizamiento	55
Figura 25. Perfil estratigráfico estación PC6-2	56
Figura 26. Afloramiento 2 PC 6-2	58
Figura 27. Afloramiento 3 PC6-2	59
Figura 28. Análisis cinemático de datos estructurales E 6-2	61
Figura 29 . Afloramiento estación PC6-3.....	62
Figura 30. Afloramiento estación 6-4.....	63
Figura 31. Afloramiento estación 6-5.....	65
Figura 32. Surcos generados por escorrentías	66
Figura 33. deslizamiento rotacional polígono 1	67
Figura 34. mapa de unidades geológicas superficiales.....	69
Figura 35. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGIS).....	71
Figura 36. Sección A-A' Perfil General	72
Figura 37. Unidades Geomorfológicas del área de estudio.....	74
Figura 38. Fotointerpretación 1984.....	75
Figura 39. Fotointerpretación 1992.....	76
Figura 40. Fotointerpretación 1999.....	77

Figura 41. Fotointerpretación 2004.....	78
Figura 42. Fotointerpretación 2007.....	79
Figura 43. Fotointerpretación 2015.....	80
Figura 44. Fotointerpretación 2025.....	81
Figura 45. Mapa de pendientes.....	83
Figura 46. Mapa UGIs con ubicación secciones diferencias topográficas entre 1960 - 2021	84
Figura 47. Sección B-B'.....	85
Figura 48. Sección C-C'.....	85
Figura 49. Surcos generados por escorrentías.....	86
Figura 50. deslizamiento rotacional polígono 1.....	87
Figura 51. Figura de Elementos y Componentes Geomorfológicos.....	89
Figura 52 Zonificación geotécnica de la ciudad de Bogotá - Decreto 523 de 2010.	93
Figura 53 Zonificación Geotécnica - Polígono 1.....	95
Figura 54 Zonificación de respuesta sísmica de la ciudad de Bogotá - Decreto 523 de 2010.	97
Figura 55 Zonificación de Respuesta Sísmica - Polígono 1.....	99
Figura 56 Localización de sectores propensos a movimientos en masa según la base de datos del SIRE – Polígonos 1.....	104
Figura 57 Localización de sectores propensos a movimientos en masa según la base de datos del SIRE (terreno) – Polígonos 1.....	105
Figura 58. Localización sondeos.....	107
Figura 59. Columnas sondeos.....	109
Figura 60. localización de tomografías de resistividad eléctrica polígono 1.....	110
Figura 61. Gráfica de relación de Rho aparente (resistividad aparente) Vs Distancia. Grafica de datos adquiridos posteriormente filtrados.....	112
Figura 62. Diagrama de dispersión de datos.....	112

Figura 63. Pseudosecciones teórica y Sección Calculada Tomografía.....	113
Figura 64. Sección calculada SCHLUMBERGER	114
Figura 65. Sección calculada (modelo suavizado) WENNER	115
Figura 66. Tomografía Vp.....	117
Figura 67. Perfil del suelo interpretado resultados sísmica de refracción LSR 1	118
Figura 68. Perfil Vs-5 LSR-1.....	120
Figura 69. Perfil 2D Velocidad de onda de corte (Unidades en m/s y m) – LSR-1.....	121
Figura 70. Variación SPT.....	122
Figura 71. Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal. Relleno.....	123
Figura 72. Parámetros mecánicos.....	125
Figura 73. Modelo geológico geotécnico	127
Figura 74. Localización sitio crítico polígono 1	¡Error! Marcador no definido.
Figura 75. Sitio crítico polígono 1	¡Error! Marcador no definido.
Figura 76. Contrastación topográfica año 1981-1974 y 2021	¡Error! Marcador no definido.
Figura 77. Localización zona de relleno	¡Error! Marcador no definido.
Figura 78. Perfil 1 de contrastación topográfica año 1960 y 2021	¡Error! Marcador no definido.
Figura 79. Perfil 2 de contrastación topográfica año 1960 y 2021	¡Error! Marcador no definido.
Figura 80. Parámetros ingresados a slide (Pgrsa) Arenisca	¡Error! Marcador no definido.
Figura 81. Parámetros ingresados a slide (Pgrsar) Arcillolita	¡Error! Marcador no definido.
Figura 82. Parámetros ingresados a slide relleno	¡Error! Marcador no definido.
Figura 83. Modelo Back Analysis	¡Error! Marcador no definido.
Figura 84. Parámetros utilizados en el modelo	¡Error! Marcador no definido.
Figura 85. Análisis paramétrico	¡Error! Marcador no definido.
Figura 86. Variación de parámetros mecánicos	¡Error! Marcador no definido.

Figura 87. Modelo geotécnico y parámetros sitio crítico ¡Error! Marcador no definido.

Figura 88. Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + seco ¡Error! Marcador no definido.

Figura 89. Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + saturado ¡Error! Marcador no definido.

Figura 90. Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudostático + seco ¡Error! Marcador no definido.

Figura 91. Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudoestático + saturado ¡Error! Marcador no definido.

Figura 92. Resumen condición de inestabilidad ¡Error! Marcador no definido.

Figura 93. Esquema sistema de contención ¡Error! Marcador no definido.

Figura 94. Diagrama de presiones totales Muro cimentado en cortina de caisson estático ¡Error! Marcador no definido.

Figura 95. Diagrama de presiones totales Muro cimentado en cortina de caisson pseudoestático ¡Error! Marcador no definido.

Figura 96. Modelo geotécnico y parámetros sitio crítico ¡Error! Marcador no definido.

Figura 97. Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + seco ¡Error! Marcador no definido.

Figura 98. Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + saturado ¡Error! Marcador no definido.

Figura 99. Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudostático + seco ¡Error! Marcador no definido.

Figura 100. Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudoestático + saturado ¡Error! Marcador no definido.

Figura 101. Esquema de cortes en obras complementarias ¡Error! Marcador no definido.

Figura 102. Vista en perfil trincho en madera ¡Error! Marcador no definido.

Figura 5.1 Hidrografía – Polígono 1 130

Figura 5.2 Cuerpos de agua naturales – Polígono 1 131

Figura 5.3 Hidrografía Planchas IGAC 1960 – Polígono 1	131
Figura 5.4 Hidrografía Planchas IGAC 1981 – Polígono 1	132
Figura 5.5 Multitemporal – Polígono 1	132
Figura 5.6 Red menor de acueducto – Polígono 1	133
Figura 5.7 Red de alcantarillado – Polígono 1.....	134

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente informe técnico constituye el Informe parcial 2 en el marco del Contrato de Consultoría IDIGER-294-2025, cuyo objeto es el “Estudio y Diseño de Acciones y Medidas Adaptativas a los Efectos del Cambio Climático y Reducción del Riesgo en Zonas Priorizadas del Distrito Capital”. Este documento consolida los análisis sectorizados, caracterizaciones de campo y diseños definitivos orientados a mitigar la vulnerabilidad física e incremental generada por la variabilidad hidroclimática en los Cerros Orientales y el piedemonte sur de Bogotá D.C.

El desarrollo del documento se estructura a partir de componentes técnicos secuenciales e interdisciplinarios. Inicialmente, se presenta la caracterización del uso y cobertura de la tierra bajo la metodología estandarizada *Corine Land Cover*, permitiendo cuantificar la degradación biológica y la presión antrópica sobre el suelo. Posteriormente, se integra el análisis geológico y geomorfológico local y multitemporal para identificar los factores condicionantes del terreno y la evolución de los procesos morfodinámicos. Sobre esta base, se despliega la campaña de exploración geotécnica directa e indirecta (geofísica), la cual provee los parámetros de resistencia mecánica para la modelación de estabilidad y el posterior diseño estructural y geotécnico de las obras de contención y control de erosión en los sitios críticos priorizados. Finalmente, se incorpora el análisis de drenaje superficial como eje transversal para la regulación hídrica de las laderas intervenidas.

1.2 ANTECEDENTES

El Distrito Capital de Bogotá ha avanzado en el fortalecimiento de los instrumentos de planificación territorial y gestión del riesgo con el fin de reducir la vulnerabilidad de los territorios expuestos a fenómenos naturales, particularmente en zonas de ladera donde se presentan condiciones de susceptibilidad a movimientos en masa.

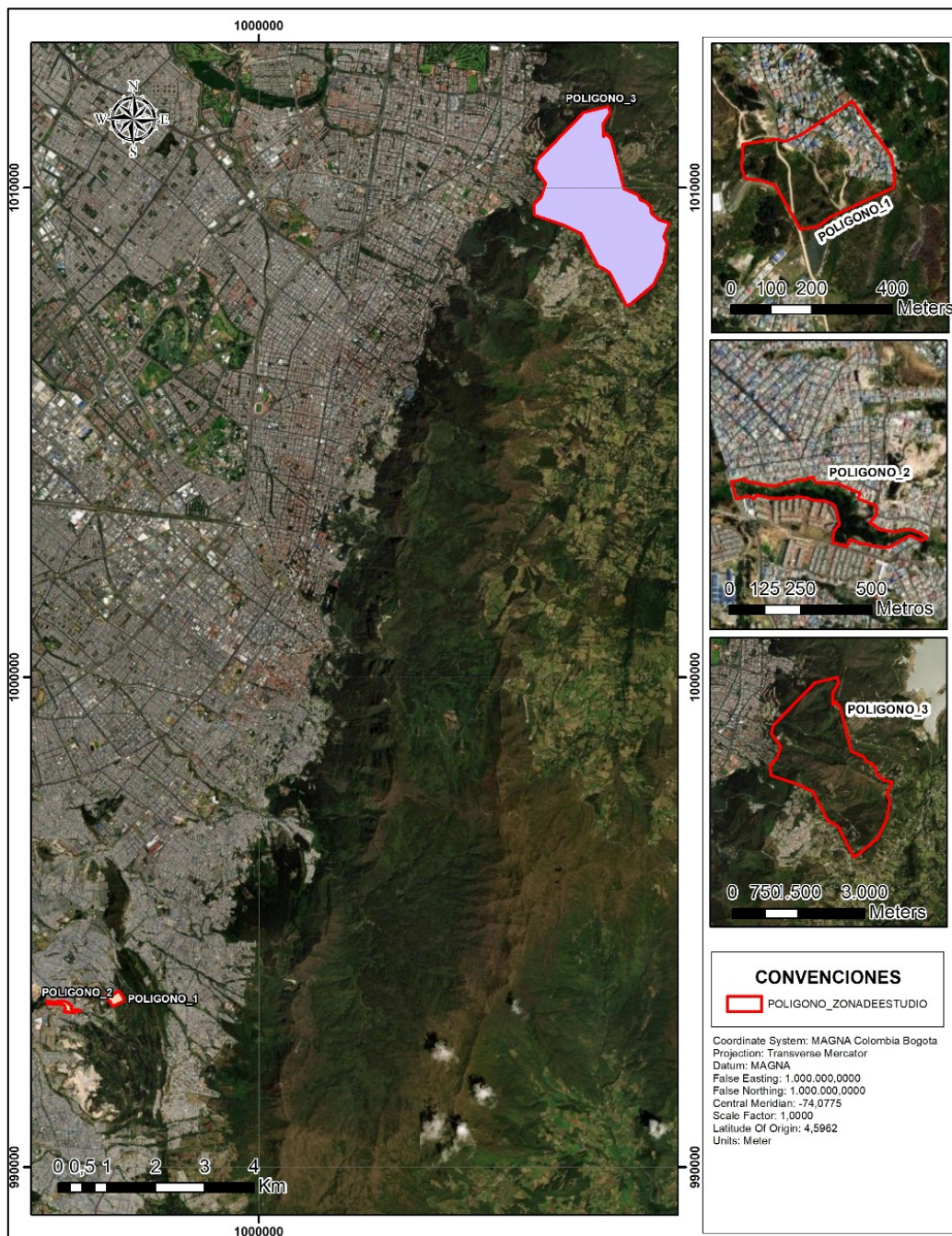
En este contexto, el Plan de Ordenamiento Territorial – POT (Decreto 555 de 2021) establece lineamientos para la gestión integral del riesgo y la adaptación al cambio climático, incluyendo la priorización de laderas estratégicas del Distrito que requieren estudios detallados para la formulación de medidas de reducción del riesgo.

En lo referente a los sectores específicos de intervención del contrato IDIGER-294-2025, se han identificado los siguientes antecedentes técnicos consignados en el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Atención de Emergencias (SIRE):

- **Polígono 1 (San Martín / Parque Entrenubes):** El sector se encuentra vinculado al polígono de monitoreo por movimientos en masa codificado como 5-015 "Fiscala Germinar". Se han reportado procesos de inestabilidad activa asociados a la escorrentía superficial en el corredor de la Calle 59C Sur.
- **Polígono 2 (Barrio Panorama):** Se registra el Diagnóstico Técnico DI-16377 de 2021, el cual documenta procesos de desprendimiento de rocas y afectaciones en senderos peatonales colindantes al Centro del Adulto Mayor "Tulia Rubiano". Asimismo, el Concepto Técnico CT-7003 de 2013 evaluó el riesgo por avenidas torrenciales en el corredor de la quebrada Hoya del Ramo.
- **Polígono 3 (Cerro Virrey Neuque):** Se cuenta con los Diagnósticos Técnicos 18929 y 19186 de 2023, emitidos tras eventos de avenidas torrenciales y flujos de lodo que afectaron infraestructura hidráulica en el Canal Molinos y el Tanque Usaquén. Los registros indican una dinámica de socavación lateral activa y transporte de sedimentos en las quebradas Santa Ana y Santa Bárbara.

Estos estudios buscan generar insumos técnicos que orienten la formulación de medidas de reducción del riesgo, integrando tanto soluciones de ingeniería convencional como Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), con el fin de mejorar la estabilidad de las laderas, fortalecer la regulación hídrica, recuperar funciones ecosistémicas y aumentar la resiliencia de los territorios frente a eventos hidrológicos extremos.

Figura 1. Localización Polígonos de estudio



El desarrollo de estos estudios permitirá complementar y actualizar la información existente sobre las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, geotécnicas y ambientales de los sectores prioritizados, así como evaluar la incidencia de factores

detonantes y contribuyentes asociados a los movimientos en masa, incluyendo procesos de intervención antrópica, alteraciones en el drenaje superficial, cambios en la cobertura vegetal y dinámicas de ocupación del suelo.

A partir de estos análisis se formularán medidas de reducción del riesgo que integren soluciones estructurales, bioingeniería y Soluciones Basadas en la Naturaleza, permitiendo avanzar hacia intervenciones sostenibles que contribuyan a la protección de la vida, la infraestructura y los ecosistemas en las zonas de ladera del Distrito Capital.

1.3 CONTEXTO TERRITORIAL DEL PROYECTO

Las áreas objeto del presente estudio corresponden a tres (3) polígonos priorizados localizados en el Distrito Capital, los cuales se encuentran estratégicamente asociados a conectores ecosistémicos y microcuencas que presentan condiciones específicas de amenaza y vulnerabilidad ambiental. De acuerdo con la delimitación del proyecto, las zonas de intervención se definen de la siguiente manera:

- **Polígono 1:** Conector ecosistémico Media Luna del Sur – Quebrada Hoya del Ramo (Barrio San Martín – Parque Entrenubes).
- **Polígono 2:** Corredor ecosistémico Media Luna del Sur – Barrio Panorama.
- **Polígono 3:** Conector ecosistémico Cerro Virrey Neuque – Quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara.

Desde el punto de vista físico y ambiental, estos territorios se caracterizan por exhibir una serie de condicionantes geomorfológicos y antrópicos que incrementan su susceptibilidad ante eventos de origen natural. Entre las principales características identificadas en el área de influencia se destacan:

- Presencia de procesos activos de remoción en masa.
- Alta susceptibilidad a la ocurrencia de avenidas torrenciales.
- Transformaciones significativas en el uso del suelo.
- Alta presión sobre el terreno debida a procesos de ocupación informal.
- Fragmentación ecológica y alteración geomorfológica e hidráulica de las rondas hídricas.

- Incremento en la exposición a eventos hidrolimáticos extremos.

El contexto descrito determina que el desarrollo del proyecto se enmarque integralmente dentro de las estrategias distritales de adaptación climática y reducción del riesgo en Bogotá D.C., orientando las acciones de diseño hacia la mitigación de las amenazas identificadas.

Desde el punto de vista físico, estos sectores comparten condiciones que favorecen la ocurrencia de procesos de remoción en masa, entre las cuales se destacan: pendientes pronunciadas, suelos residuales y coluviales con comportamiento geotécnico variable, presencia de escorrentía superficial concentrada, infiltración asociada a eventos de lluvia intensa, alteraciones del drenaje natural, y procesos de ocupación y transformación antrópica del terreno.

Adicionalmente, los polígonos de estudio presentan interacciones entre componentes ambientales, urbanos y sociales, lo cual hace necesario abordar el análisis del riesgo desde una perspectiva integral que considere no solo las condiciones geotécnicas y geomorfológicas del terreno, sino también los sistemas ecológicos presentes, las dinámicas de urbanización y las intervenciones existentes sobre el territorio.

En este contexto, el desarrollo del estudio detallado permitirá caracterizar las condiciones físicas, ambientales y territoriales de cada uno de los polígonos, identificar los factores condicionantes y detonantes de los movimientos en masa y establecer criterios técnicos para la formulación de medidas de reducción del riesgo, incorporando tanto soluciones de ingeniería como Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) que contribuyan a mejorar la estabilidad de las laderas, fortalecer la regulación hídrica y promover la recuperación de funciones ecosistémicas en estos sectores de la ciudad.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El Distrito Capital ha experimentado en los últimos años un incremento en la frecuencia y magnitud de eventos hidrolimáticos extremos, fenómeno asociado directamente a la variabilidad y el cambio climático. Esta condición, sumada a las alteraciones topográficas, la fragmentación ecológica y la intervención antrópica en el sistema de drenaje natural de los Cerros Orientales y el piedemonte sur, ha intensificado la probabilidad de ocurrencia de procesos morfodinámicos severos en los sectores de ladera.

Las áreas priorizadas en el presente estudio evidencian condiciones críticas de susceptibilidad ante amenazas combinadas. Los procesos activos de remoción en masa, los fenómenos erosivos progresivos y el riesgo latente de avenidas torrenciales en las subcuencas de las quebradas Hoya del Ramo, Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara, comprometen la integridad de la infraestructura existente, las redes de servicios públicos y, principalmente, la seguridad de las comunidades asentadas en su zona de influencia. Además de la amenaza física directa, estos factores aceleran la degradación de los servicios ecosistémicos provistos por la Estructura Ecológica Principal del Distrito.

Bajo este contexto, la formulación del presente estudio se justifica plenamente como una herramienta técnica para el diseño de estrategias integrales de gestión del riesgo. La implementación proyectada de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), en conjunto con obras de estabilización geotécnica y control hidráulico, permitirá reducir la vulnerabilidad del territorio, recuperar la conectividad de los corredores ecosistémicos y promover la adaptación funcional del paisaje frente a los escenarios de variabilidad climática proyectados.

1.5 OBJETIVO

Desarrollar las actividades relacionadas con la elaboración del entregable 2 para la realización del Estudio y Diseño de Acciones y Medidas Adaptativas a los Efectos del Cambio Climático y Reducción del Riesgo en Zonas Priorizadas del Distrito Capital.

2 COBERTURA Y USO DEL SUELO

2.1 PROCEDIMIENTO

A partir del sensor remoto; se realizó la interpretación de las unidades de cobertura de la tierra y uso actual del suelo, usando una clasificación manual; donde, se delinearon las áreas con vegetación, estructuras construidas, morfodinámica, entre otras, con el fin de estimar las características de los polígonos de estudio.

Con base en lo mencionado, se tuvo en cuenta la resolución y la confiabilidad de la imagen; donde, la interpretación en pantalla se realizó a una tercera parte de la escala de la imagen.

Como ya se mencionó, la clasificación tanto de la cobertura de la tierra como de los usos de suelos, se basó en los requerimientos de la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2010); la respectiva adaptación de la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, desarrollada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2016); y por el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático – IDIGER (Anexo único de la resolución 11 de 2022 - Términos de referencia para la ejecución de estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa).

2.2 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados tanto del tipo de cobertura de la tierra como del uso actual del suelo, que fueron identificados para el área de estudio:

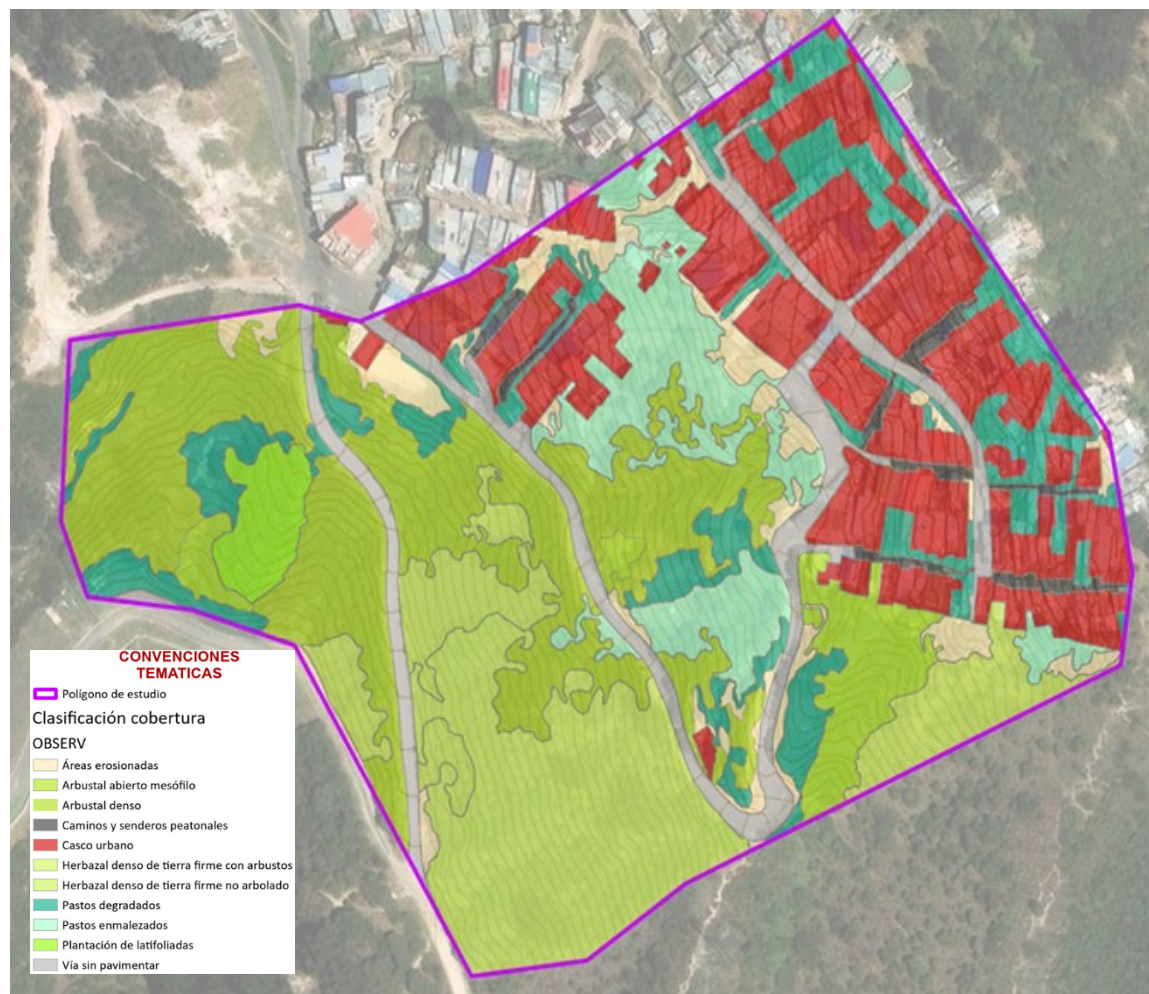
2.2.1 COBERTURA DE LA TIERRA

La cobertura de la tierra corresponde a la descripción de los elementos que cubren el suelo; delimitando o clasificando, mediante la interpretación de sensores remotos, las características o geometrías observadas sobre la superficie terrestre; ya sea, elementos antrópicos o estructuras artificiales creadas por el hombre (edificaciones, carreteras), afloramientos rocosos; zonas erosionadas; cuerpos de agua o tipos de vegetación natural o cultivada; entre otras.

La Figura 2 muestra la distribución geográfica de las unidades de cobertura de la tierra

identificadas para el polígono 1.

Figura 2. Cobertura de la tierra Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscalía-parque entre nubes



Fuente: Consorcio ADATACIÓN 2025

A partir de los resultados obtenidos en la interpretación, la Tabla 1 presenta la leyenda de cobertura de la tierra obtenida para el área de estudio.

Tabla 1. Leyenda cobertura de la tierra Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscal-parque entre nubes

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	AREA_ha	%
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1 Zonas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	1.1.1.2 Casco Urbano	-	-	1,433095	21,25%
	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1 Red vial y territorios asociados	1.2.2.1.1 Red vial	1.2.2.1.1.2 Vía sin pavimentar	0,489928	7,27%
	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1 Red vial y territorios asociados	1.2.2.1.2 Terrenos asociados a la red vial	1.2.2.1.2.7 Caminos y senderos peatonales	0,098386	1,46%
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.3 Pastos	2.3.3 Pastos enmalezados	-	-	-	0,51835	7,69%
	2.3 Pastos	2.3.4 Pastos degradados	-	-	-	0,785101	11,64%
3. 3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1 Bosques	3.1.5 Plantación forestal	3.1.5.2 Plantación de Latifoliadas	-	-	0,121603	1,80%
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1 Herbazales	3.2.1.1 Herbazal Denso	3.2.1.1.1 Herbazales Densos de tierra firme	3.2.1.1.1.1 Herbazal Densos de Tierra Firme no arbolado	0,433563	6,43%
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1 Herbazales	3.2.1.1 Herbazal Denso	3.2.1.1.1 Herbazales Densos de tierra firme	3.2.1.1.1.3 Herbazal Densos de Tierra Firme con Arbustos	0,810581	12,02%
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.2 Arbustales	3.2.2.1 Arbustal denso	-	-	1,425819	21,15%
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.2 Arbustales	3.2.2.2 Arbustal Abierto	3.2.2.2.2 Arbustal Abierto Mesófilo	-	0,276331	4,10%
	3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	3.3.3.1 Áreas erosionadas	-	-	0,349974	5,19%
TOTAL						6,74273	100,00%

Fuente: Consorcio ADAPTACIÓN 2025

A continuación, se describen las diferentes unidades de cobertura de la tierra, presentes en el área de estudio.

2.2.1.1 Casco urbano (1.1.1.2.)

Corresponde al núcleo de una población constituida por un conjunto de edificios, viviendas o espacios que agrupan una población.

2.2.1.2 Vía sin pavimentar (1.2.2.1.1.2.)

Corresponde a las vías que presentan en su última capa de conformación, diferentes granulometrías como gravas o arenas, de una alta susceptibilidad al deterioro, pueden tener o no afirmado. Por lo general son vías que unen manzanas o cuadras del polígono de estudio.

2.2.1.3 Caminos y senderos peatonales (1.2.2.1.2.7.)

Hace alusión a las vías públicas, urbanas o rurales, diseñadas exclusivamente para la circulación segura de personas, separadas del tráfico vehicular. Suelen tener un ancho igual o menor a 2 metros, permitiendo el desplazamiento a pie, en sillas de ruedas o similares, minimizando riesgos de accidentes.

2.2.1.4 Pastos enmalezados (2.3.3.)

Corresponde a 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.

2.2.1.5 Pastos degradados (2.3.4.)

Pertenece a las coberturas de pastos que han sido afectados por causas antrópicas en grado alto. Se caracterizan por la discontinuidad de la cobertura y por el escaso vigor fisiológico de la misma; debido tanto a la pérdida de suelos como a la baja infiltración del agua, a lo largo del perfil de suelos, llegando al punto de marchitez.

2.2.1.6 Plantación de Latifoliadas (3.1.5.2)

Son las coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal; las cuales pueden ser usadas para plantaciones comerciales o plantaciones protectoras. En este proceso se constituyen rodales forestales, con especies nativas, preferiblemente.

2.2.1.7 Herbazal denso de tierra firme no arbolado (3.2.1.1.1.1.)

Corresponde a una cobertura natural constituida por un herbazal denso de tierra firme, donde no existe presencia de elementos arbóreos o arbustivos. Por lo general, se localizan

en áreas con limitaciones de suelos y clima.

2.2.1.8 Arbustal denso (3.2.2.1.)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbustivos, los cuales forman un dosel irregular. Esta formación vegetal no ha sido intervenida o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y sus características funcionales. Puede contener elementos arbóreos dispersos.

2.2.1.9 Arbustal abierto mesófilo (3.2.2.2.)

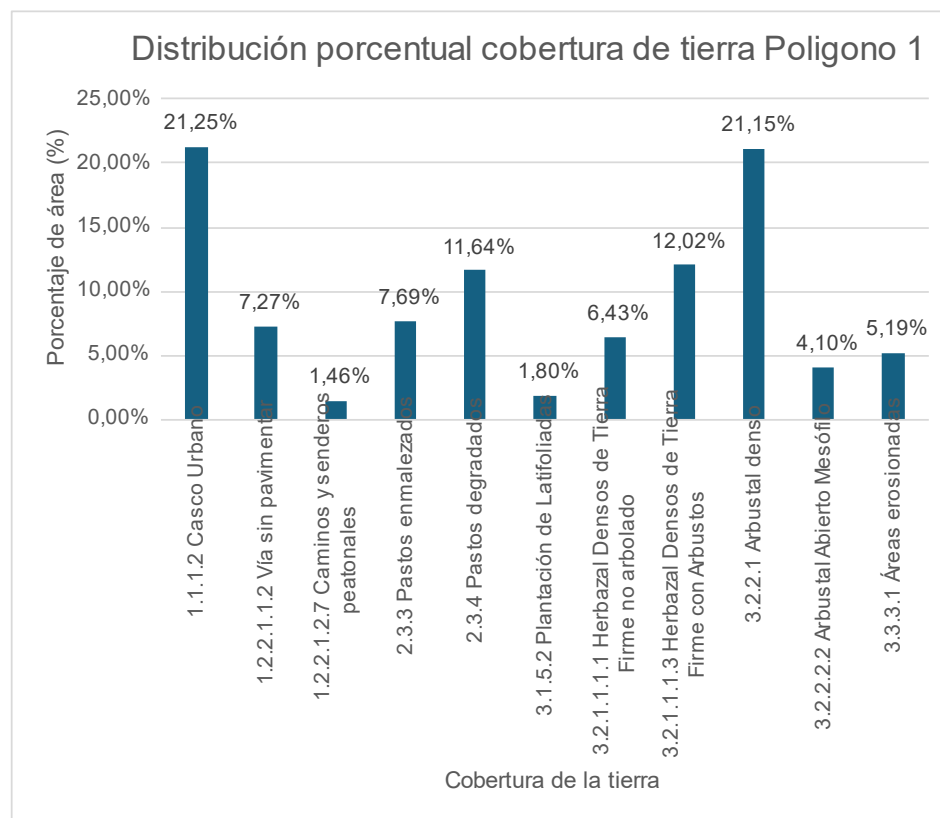
Este tipo de arbustal abierto está caracterizado por presentar una vegetación mesófila compuesta por una comunidad vegetal donde predominan los arbustos achaparrados y árboles pequeños, que se localizan en zonas húmedas, caracterizadas por su considerable precipitación y humedad atmosférica durante casi todo el año.

2.2.1.10 Áreas erosionadas (3.3.3.1.)

Corresponde al desgaste o movimiento de las partículas de la superficie del suelo por acción del agua corriente, viento, hielo, gravedad u otros factores formadores de suelos.

De acuerdo con lo mencionado, la Figura 3, muestra la distribución porcentual de cada una de las unidades de cobertura de la tierra que se identificaron al interior del área de estudio.

Figura 3. Distribución porcentual de la cobertura de la tierra Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscala-parque entre nubes



Fuente: Consorcio ADAPATACIÓN 2025

Al observar los datos presentados en la Figura 3, se identifica un paisaje con una marcada fragmentación donde el desarrollo humano y la vegetación natural mantienen un equilibrio numérico casi idéntico. Se aprecia que el 21,25% del área de estudio está dominada por el Casco Urbano, cifra que es prácticamente igualada por el Arbustal denso, que ocupa un 21,15% del territorio. Esta cercanía entre ambos valores sugiere una zona donde la expansión urbana está en contacto directo y constante con áreas de vegetación densa.

A esta huella humana se le debe añadir el componente de infraestructura de transporte, compuesto por vías sin pavimentar (7,27%) y senderos peatonales (1,46%), lo que eleva el impacto antrópico directo a casi un 30% del polígono total. Por otro lado, el uso del suelo con fines agropecuarios es evidente a través de los pastos, los cuales suman un 19,33%

de la superficie; sin embargo, es preocupante notar que más de la mitad de estos, un 11,64%, se clasifican como Pastos degradados, mientras que el 7,69% restante corresponde a pastos enmalezados.

El estado de conservación del terreno muestra señales de alerta, ya que además de los pastos en mal estado, se registra un 5,19% de Áreas erosionadas. En conjunto, esto indica que aproximadamente el 17% del área de estudio presenta problemas de salud del suelo. En contraste, las zonas de herbazales (tanto con arbustos como no arbolados) cubren un 18,45% del polígono, funcionando probablemente como zonas de transición. Finalmente, la bajísima presencia de Plantaciones de Latifoliadas (1,80%) refleja que no hay una actividad de reforestación o silvicultura significativa que compense la degradación observada o la presión del crecimiento urbano.

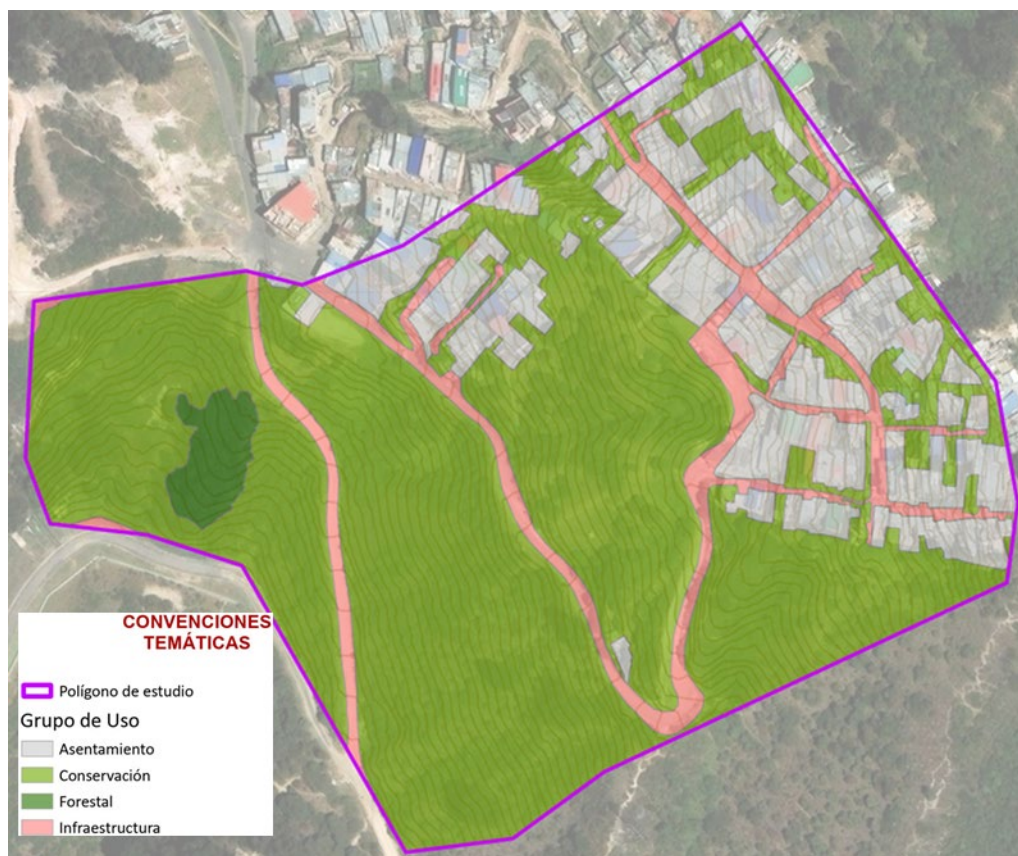
2.2.2 USO ACTUAL DEL SUELO

El uso actual del suelo, corresponde al uso efectivo y concreto a que se está destinando la superficie o cobertura de la tierra, debido a la intervención antrópica, ya sea cíclica o permanente, con el fin de satisfacer las necesidades básicas, sobre los recursos naturales que hacen parte tanto de la superficie terrestre como del subsuelo (Torres, 1998).

El uso actual de los suelos que hacen parte del área de estudio se desarrolló a partir tanto del mapa de cobertura de la tierra como del reconocimiento de campo que se realizó para cada unidad de cobertura.

La Figura 4, muestra la distribución espacial del uso del suelo, para el área de estudio.

Figura 4. Uso actual del suelo Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscal-parque entre nubes



Fuente: Consorcio ADAPTACIÓN 2025

A partir de los resultados obtenidos en la interpretación, la Tabla 2 presenta la leyenda de uso actual del suelo obtenida para el área de estudio.

Tabla 2. Leyenda uso actual del suelo Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscal-parque entre nubes

CODIGO	COBERTURA	GRUPO USO	USO ACTUAL	ÁREA_ha	%
1.1.1.2	Casco urbano	Asentamiento	Residencial (RES)	1,433095	21%
3.2.1.1.1.3	Herbazal Densos de Tierra Firme con Arbustos	Conservación	Protección (CPR)	4,59972	68%
3.1.5.2	Plantación de latifoliadas	Forestal	Sistemas forestales protectores (FPR)	0,121603	2%
1.2.2.1.1.2	Vía sin pavimentar	Infraestructura	Transporte (TRAN)	0,588314	9%
TOTAL				6,742732	100%

Fuente: Consorcio ADAPTACIÓN 2025

A continuación, se describen las diferentes unidades de uso actual del suelo, presentes en el área de estudio:

2.2.2.1 Residencial (RES)

Corresponde a los espacios conformados por edificaciones y zonas verdes que se encuentran al interior de ellas (jardines, parques, entre otras). Las edificaciones, caminos e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera continua.

2.2.2.2 Protección (CPR)

Es el uso relacionado con la presencia de pastos limpios, pastos arbolados, pastos degradados, pastos enmalezados y áreas erosionadas; que se encuentran al interior del área de estudio. Se han clasificado de protección, ya que, actualmente, se encuentran protegiendo y conservando el suelo. El sistema radicular de estas gramíneas, ayuda a sujetar los agregados del suelo, disminuyendo y controlando los procesos erosivos.

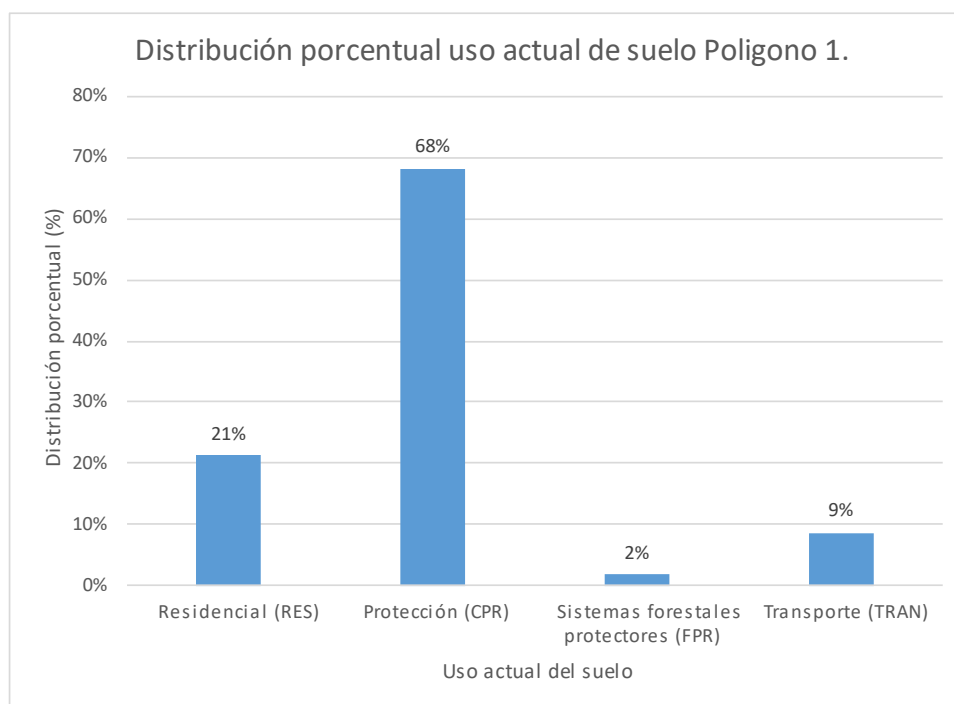
2.2.2.3 Sistemas forestales protectores (FPR)

Este uso, hace referencia al conjunto de actividades, restricciones y manejo de las coberturas forestales (plantadas o naturales) destinadas a la conservación de los recursos hídricos, del suelo o de otras comunidades vegetales o faunísticas.

2.2.2.4 Transporte (TRAN)

Corresponde a aquellos espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como vías vehiculares, ya sean pavimentadas o sin pavimentar; de igual manera, se incluye la infraestructura conexa y las instalaciones asociadas a las vías, tales como: alcantarillas, box culvert, terraplenes, andenes y áreas verdes, entre otras.

Figura 5. Distribución porcentual del uso actual del suelo Polígono 1, localidad Usme. Quebrada hoya del ramo – fiscalía-parque entre nubes



Fuente: Consorcio ADAPTACIÓN 2025

Se observa que el uso actual del suelo en el Polígono 1 está fuertemente inclinado hacia la conservación, con una clara mayoría del territorio dedicada a funciones de salvaguarda ambiental. Se aprecia que el 68% del área de estudio está dominada por la categoría de Protección (CPR), lo que indica que más de dos terceras partes del polígono tienen un uso restringido o enfocado en la preservación de recursos naturales.

En un segundo plano de importancia, el uso Residencial (RES) ocupa un 21% del territorio, lo que representa la principal huella de asentamiento humano en la zona. Al contrastar estos dos valores, es evidente que existe una coexistencia entre una zona urbana consolidada y una vasta área protegida circundante. Por su parte, la infraestructura destinada al Transporte (TRAN) representa el 9% del total, una cifra que refleja la red de conectividad necesaria para dar servicio a las zonas residenciales mencionadas.

Finalmente, es notable la baja proporción de los Sistemas forestales protectores (FPR), que apenas alcanzan un 2% del área. Al integrar estos datos, se concluye que el Polígono 1 es

un sector con una vocación eminentemente conservacionista en términos normativos o de uso actual, donde la actividad humana residencial y de transporte se concentra en menos de un tercio de la superficie total, dejando el grueso del terreno bajo esquemas de protección.

2.3 CONCLUSIONES

A parir de lo descrito con anterioridad, se concluye que:

El área del Polígono 1 se caracteriza por una coexistencia equilibrada entre el desarrollo urbano y los ecosistemas naturales de arbustal, donde el casco urbano ocupa un 21,25% y el arbustal denso un 21,15%. En términos de planificación, el territorio posee una vocación mayoritariamente conservacionista, ya que el 68% de su superficie está asignada al uso de Protección (CPR). A pesar de este marco normativo, el estado físico del suelo revela procesos de deterioro importantes: la suma de los pastos degradados (11,64%) y las áreas erosionadas (5,19%) indica que casi el 17% del polígono presenta problemas de estabilidad o pérdida de capacidad biológica. El uso residencial se mantiene en un 21%, apoyado por una red de transporte que representa el 9% del suelo, mientras que las acciones forestales protectoras son mínimas, alcanzando solo un 2% de ocupación actual.

El Polígono 2 presenta una identidad territorial predominantemente forestal y de conservación, destacando que el 49,59% de su cobertura es Bosque Abierto Alto de Tierra Firme. Esta característica se traduce en una gestión del suelo donde el 91% del área total está bajo figuras de preservación, repartidas entre áreas de Conservación o Recuperación (50%) y Protección (41%). La intervención humana directa es baja, con un casco urbano que apenas cubre el 5,63% y un uso residencial del 6%. No obstante, el área enfrenta desafíos geológicos y de manejo; se registran procesos de Remoción en masa (0,94%) y Erosión (2,88%), sumados a un 7,42% de pastos en estado degradado que podrían comprometer la integridad de los ecosistemas boscosos circundantes si no se gestionan adecuadamente.

2.4 LITERATURA CONSULTADA

- *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover*

adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá, D. C., 72p.

- *Servicio Geológico Colombiano -SGC-. 2017. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, escala 1: 25.000. Bogotá D. C. 218p.*
- *Servicio Geológico Colombiano -SGC-. 2016. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa escala detallada. Bogotá D. C. 182p.*
- *Torres M. Myriam S. 1998. Zonificación ambiental de una cuenca hidrográfica. Convenio Ministerio del Medio Ambiente – SENA, Programa Ambiental - Crédito DIB-Proyecto Sistema de Capacitación Continuada para Extensionistas en Recursos Naturales. Santa Fe de Bogotá, D.C. 40p.*

3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.

3.1 RECOPIACIÓN INFORMACIÓN SECUNDARIA

Se llevó a cabo una revisión integral de la información técnica disponible (estudios, cartografía, sensores remotos y diagnósticos), con especial énfasis en los antecedentes históricos y estudios detallados emitidos por el IDIGER. Esta fase incluirá la consulta exhaustiva en el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático (SIRE) y demás fuentes pertinentes para el cumplimiento del objeto contractual.

3.1.1 MARCO GEOLÓGICO

La localidad de Usme se caracteriza por presentar una geología compleja con presencia de fallas y pliegues que han fracturado intensamente los macizos rocosos constituidos por unidades litológicas de tipo sedimentario. Allí, aparece toda la secuencia estratigráfica del distrito capital, excepto Plaeners y Arenisca de Labor-Tierna. Hacia el oriente, el cerro está conformado por la Formación Arenisca Dura que hace contacto con la Formación Guaduas por la Falla de Bogotá, que en general son secuencias de areniscas porosas y resistencia variable. También se puede observar toda la secuencia de la Formación Bogotá hasta el Usme Superior, conformadas principalmente por capas de arcillolitas intercaladas con areniscas bien calibradas y deleznales como las de la Formación Regadera. A partir de las anteriores se desarrollan suelos residuales de bajo espesor, seguido de depósitos

fluvioglaciares y coluviales compuestos por gravas y bloques angulares a subangulares de variado tamaño, depósitos de origen aluvial y lacustre representados principalmente por la formación Tunjuelo, Sabana y Tilatá, así como depósitos y rellenos de material antrópico.

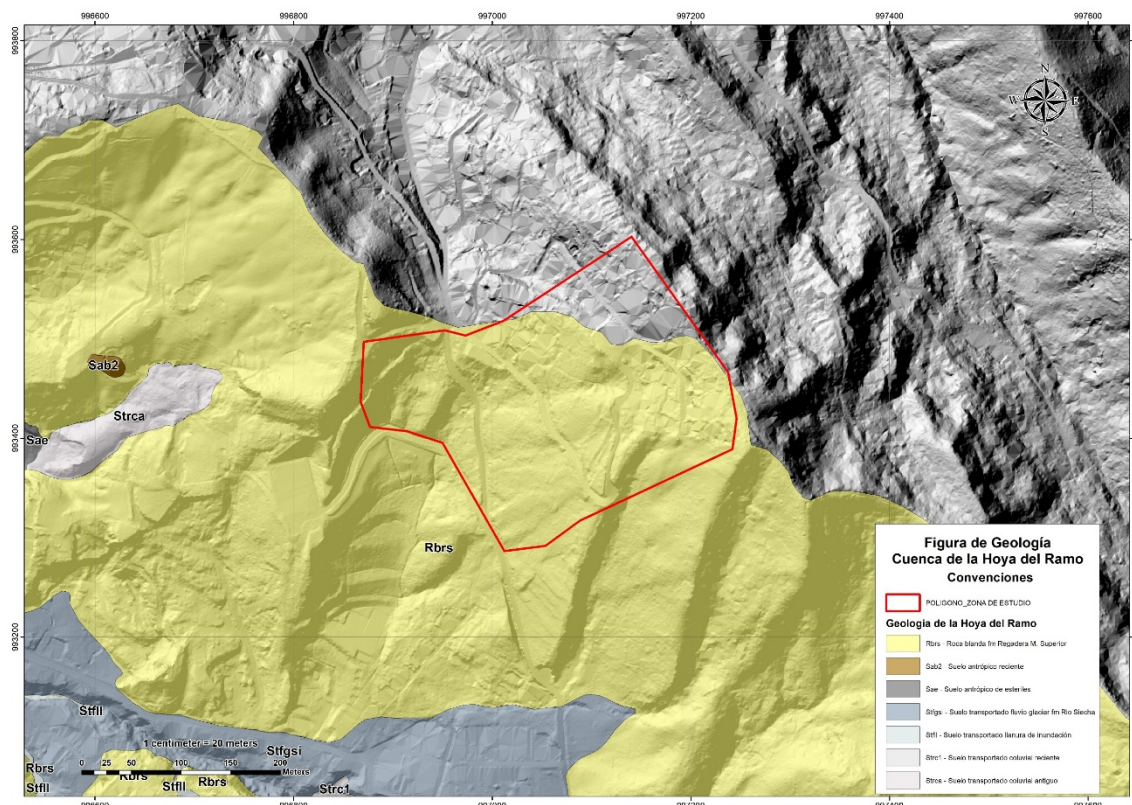
3.1.1.1 Geología regional

La altiplanicie de la sabana de Bogotá está situada en la parte central de la Cordillera Oriental, sobre un gran sinclinal plegado con orientación SSW-NNE compuesto por rocas sedimentarias desde el Cretácico Superior hasta el periodo Cuaternario. Para la cuenca de la quebrada Hoya del Ramo, localizada al sureste de la ciudad de Bogotá, tenemos como las rocas más antiguas al Grupo Guadalupe pertenecientes al final del Cretácico Superior, que se depositaron en un ambiente litoral y sublitoral (Pérez & Salazar, 1978). En el cretácico superior – Paleoceno se generó una fase de deformación (Cooper et. ál., 1995) debido a la acreción de la Cordillera Occidental, no notoria en la Cordillera Oriental, excepto en la Sierra Nevada del Cocuy (Fabre, 1985), sin embargo, determina la finalización de la sedimentación marina, para dar lugar a depósitos continentales de ríos meandriformes y trenzados representados en la parte alta de la Formación Guaduas y las Formaciones Cacho, Bogotá y Regadera, en el que predominan las arcillas.

El sistema Neógeno está constituido por depósitos de tipo aluvial y lagunar, y los sedimentos producidos por procesos de origen erosivo durante la orogenia del Mioceno, pertenecientes a las Formaciones Marichuela, Tilatá, Sabana y Tunjuelo que son depósitos sedimentados en el centro y los bordes de grandes lagos interandinos cerca de la cumbre de la Cordillera, a los cuales llegaban los materiales fluviales y fluvioglaciares del Plioceno y Pleistoceno, compuestos mayoritariamente por sedimentos de tamaño gravas y bloques dentro de una matriz areno-arcillosa, que marca el levantamiento de la Sabana de Bogotá.

Desde el punto de vista estratigráfico, la quebrada Hoya del Ramo está conformada principalmente por rocas sedimentarias, de edad Cretácico pertenecientes al grupo Guadalupe y Formación Guaduas, del Paleógeno al Neógeno las formaciones Cacho, Bogotá, Regadera, Usme, Marichuela y una secuencia de unidades Cuaterna determinadas por depósitos de la Formación Tilatá, Sabana, Río Siecha, Tunjuelito y Depósitos coluviales

Figura 6. Geología UGS cuenca de la Hoya del Ramo polígono 1



Fuente: IDIGER, 2023.

3.1.1.1.1 Suelo transportado fluvio lacustre de la Formación Tunjuelito (Stflrt):

Depósitos constituidos por una secuencia interestratificada constituida por arcillas arenosas, arcillas orgánicas y turbas que se alternan con arenas arcillosas y gravas. Se presentan en general poco consolidados y corresponden a los sedimentos fluviales acumulados en áreas de llanuras de inundación y niveles de terraza a lo largo de los ríos principales al entrar en la Sabana. Su depósito puede presentar espesores de hasta 150 metros y se localizan sobre la parte baja de cuenca de la quebrada Hoya del Ramo en inmediaciones de la Ladrillera Santa Fe.

3.1.1.1.2 Suelo transportado fluvio glacial de la formación Rio Siecha (Stfgsi):

Consiste en depósitos compuestos por abanicos fluvioglaciares producto del descongelamiento de la masa glacial desde la parte más oriental y alta de la cuenca de la

quebrada Hoya del Ramo. Se constituyen de clastos y gravas, y ocasionalmente bloques de tamaño heterométrico, de formas subangulares y subredondeadas y de composición variada, dentro de una matriz de arena, con intercalaciones de arenas, arcillas orgánicas y paleosuelos color negro. Se encuentran cubriendo el fondo de los valles de los drenajes principales (Hoya del Ramo, Fiscala, Palestina) y sobre las formaciones Regadera y Bogotá hacia el costado sur oriental de la cuenca, con espesores de 10 metros en las partes más altas, hasta 15 metros en la parte media y baja de la cuenca Hoya del Ramo.

3.1.1.1.3 *Suelo translocado coluvial reciente clasto soportado (StrcI):*

Consiste en depósitos compuestos por abanicos fluvioglaciares producto del descongelamiento de la masa glaciar desde la parte más oriental y alta de la cuenca de la quebrada Hoya del Ramo. Se constituyen de clastos y gravas, y ocasionalmente bloques de tamaño heterométrico, de formas subangulares y subredondeadas y de composición variada, dentro de una matriz de arena, con intercalaciones de arenas, arcillas orgánicas y paleosuelos color negro. Se encuentran cubriendo el fondo de los valles de los drenajes principales (Hoya del Ramo, Fiscala, Palestina) y sobre las formaciones Regadera y Bogotá hacia el costado sur oriental de la cuenca, con espesores de 10 metros en las partes más altas, hasta 15 metros en la parte media y baja de la cuenca Hoya del Ramo.

3.1.1.1.4 *Rocas blandas de lodolitas arenosas y areniscas friables de la formación Regadera (M. Superior) (Rbrs):*

Este segmento está constituido por arcillolitas y lodolitas arenosas de variados colores (gris, verde, rojo y violeta) en capas muy gruesas con intercalaciones esporádicas de areniscas friables de grano medio. Pueden desarrollar suelos residuales generalmente de hasta 3 metros de espesor.

3.1.1.2 *Geología estructural general*

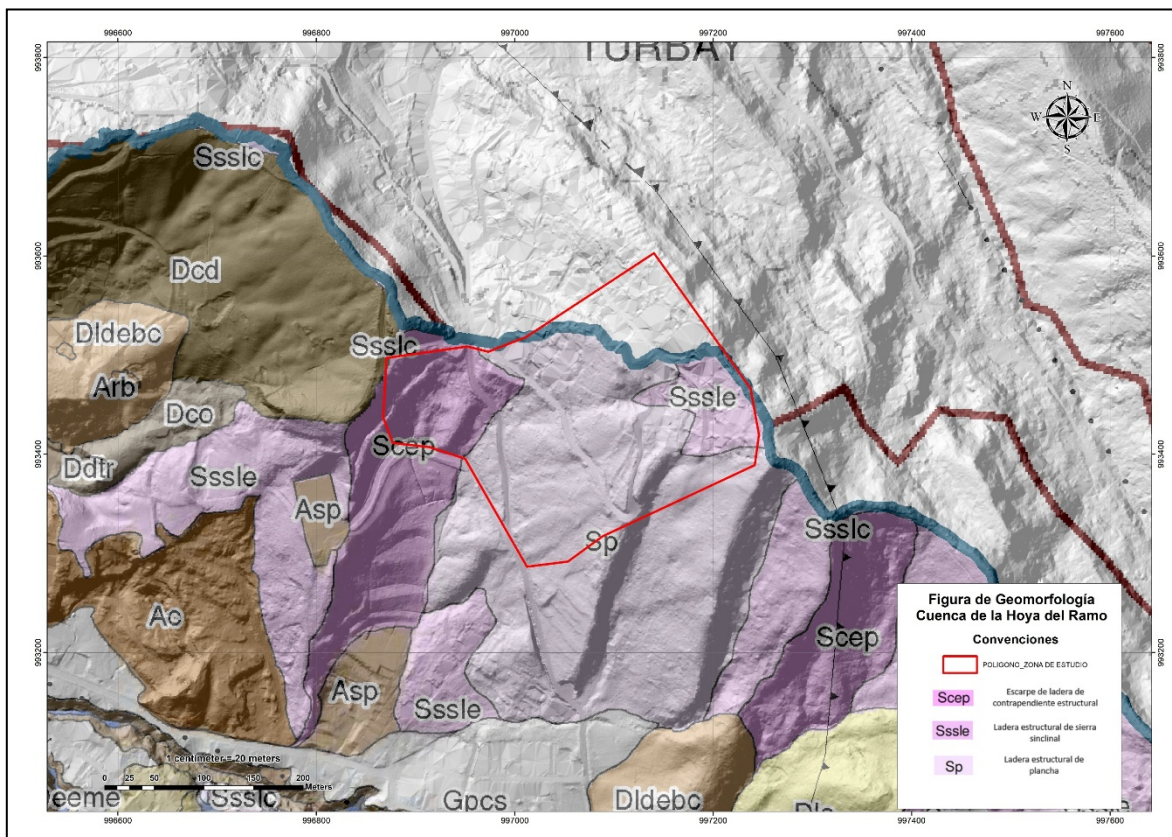
La cuenca de la Quebrada Hoya del Ramo presenta alta complejidad tectónica relacionada a esfuerzos de tipo compresivos que ocurrieron durante el levantamiento de la Cordillera Oriental. Estos esfuerzos ejercieron un control estructural sobre los drenajes y son responsables de la morfología asimétrica de la cuenca. Por tanto, se establece una configuración regional que se distingue por la presencia de plegamientos y fallamientos de alta intensidad, que inducen la formación de pliegues sinclinales sujetos a erosión y fallas

asociadas. La información cartográfica existente muestra la influencia del Sinclinal Usme-Tunjuelito, que es una estructura geológica que se orienta de NE a N-S. El núcleo de este Sinclinal Usme-Tunjuelo y sus flancos están conformados por rocas paleógenas y neógenas y en menor proporción por unidades Cretácicas. También se han identificado dos sistemas principales de fallas en direcciones longitudinales NNE-SSW como la (Falla Bogotá y Falla de Juan Rey, que son fallas inversas de cabalgamiento con vergencia al oriente y están asociados al sistema de fallas longitudinales de la sabana de Bogotá) y transversales NWSE y NE-SW y (la Falla Yomasa – Las Delicias, la cual es una falla de Rumbo de comportamiento siniestral, asociada a la zona de cizalla del sur de la Sabana de Bogotá) donde el macizo rocoso presenta una alta densidad de fracturas por la presencia de zonas de daño heredadas de sistemas de esfuerzos de corte o cizalla local, (Ordoñez, 2014).

3.1.1.3 Geomorfología regional

El análisis geomorfológico de la cuenca de la quebrada Hoya del Ramo, en el sector suroriental de Bogotá, revela un paisaje estrechamente vinculado a la evolución tectónica y a la litología de la Formación Regadera. La configuración actual del relieve es el resultado de una compleja interacción entre los procesos de erosión diferencial y el control estructural ejercido por sistemas de fallas de gran importancia regional, tales como las fallas de Yomasa-Las Delicias y Juan Rey.

Figura 7. Geomorfología de la Hoya del Ramo - Entre Nubes



Fuente: IDIGER, 2023

3.1.1.3.1 Escarpe de ladera contraestructural (Scep):

Laderas de forma recta, ondulada o escalonada, de pendientes muy abruptas a escarpadas (20° – 45°) y con longitudes cortas a largas (50–250 metros). Su origen se relaciona a la erosión selectiva que dejan descubiertas las planchas estructurales y su respectivo contrapendiente. Se caracteriza porque la pendiente topográfica es contraria a la inclinación de las capas, y por presentarse con una orientación diferente a la tendencia estructural regional. Están constituidos por rocas (lodolitas arenosas y areniscas friables) principalmente al miembro superior de la formación Regadera y localizados sobre la ladera oriental de la quebrada Hoya del Ramo, asociados al control estructural ejercido por la falla Juan Rey.

3.1.1.3.2 *Plancha estructural (Sp):*

Ladera en capas o estratos inclinados a favor de la inclinación del terreno, con pendientes muy abruptas a escarpadas (20° - 45°) y longitudes cortas (50-250 metros) aproximadamente, que se presentan como laderas festoneadas o dentadas hacia arriba. Su origen obedece a procesos de plegamiento o erosión diferencial que ocurre sobre una secuencia de estratos delgados duros y blandos. Se desarrollan sobre lodolitas arenosas y areniscas friables de la formación Regadera y se distribuyen ampliamente sobre la subcuenca Hoya del Ramo - Fiscala, producto de la influencia estructural de las fallas principales (Fallas Yomasa Las Delicias y Juan Rey).

3.1.1.3.3 *Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle):*

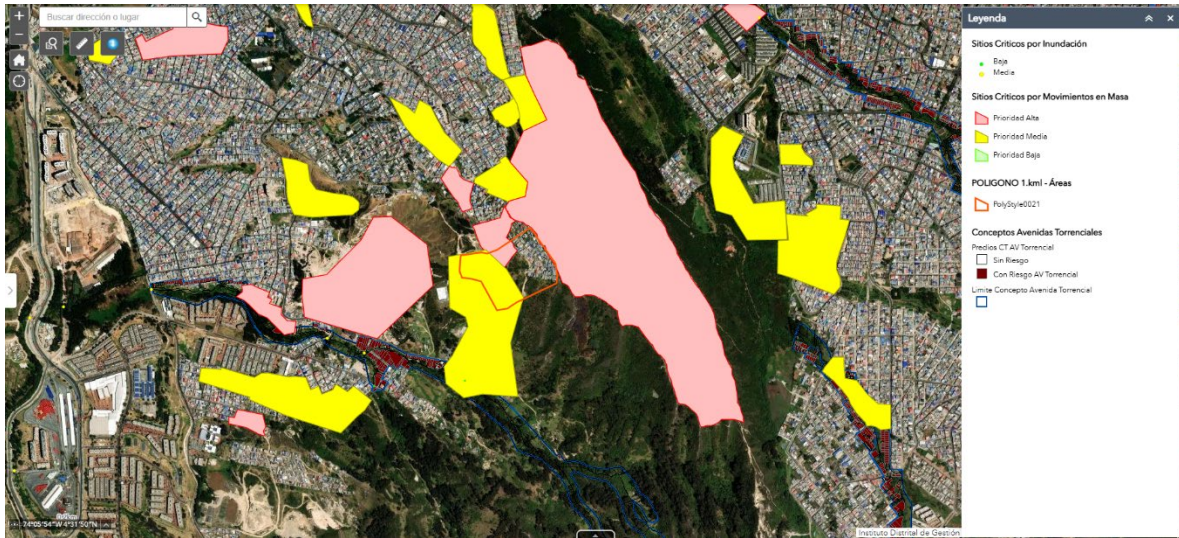
Superficies definidas por estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, de longitudes cortas a moderadas (50-500m), forma cóncava y pendientes muy abruptas a escarpadas (20° - 45°), asociadas al flanco oriental del Sinclinal de Usme. Se constituyen por lodolitas arenosas y areniscas friables pertenecientes a la formación Regadera y se distribuyen principalmente sobre el costado nor-oriental de la cuenca Hoya el Ramo. Presentan movimientos en masa de tipo flujo y algunos depósitos coluviales susceptibles a sufrir movilizaciones.

3.1.1.4 *Inventario histórico de movimientos en masa y otros eventos.*

3.1.1.4.1 *SIRE*

En la siguiente ilustración, se puede observar que el polígono 1 presenta algunas zonas con prioridad alta y media de sitios críticos por movimientos en masa. En el componente de inundación y avenidas torrenciales no presenta riesgos ni sitios críticos debido a su ubicación en una zona alta.

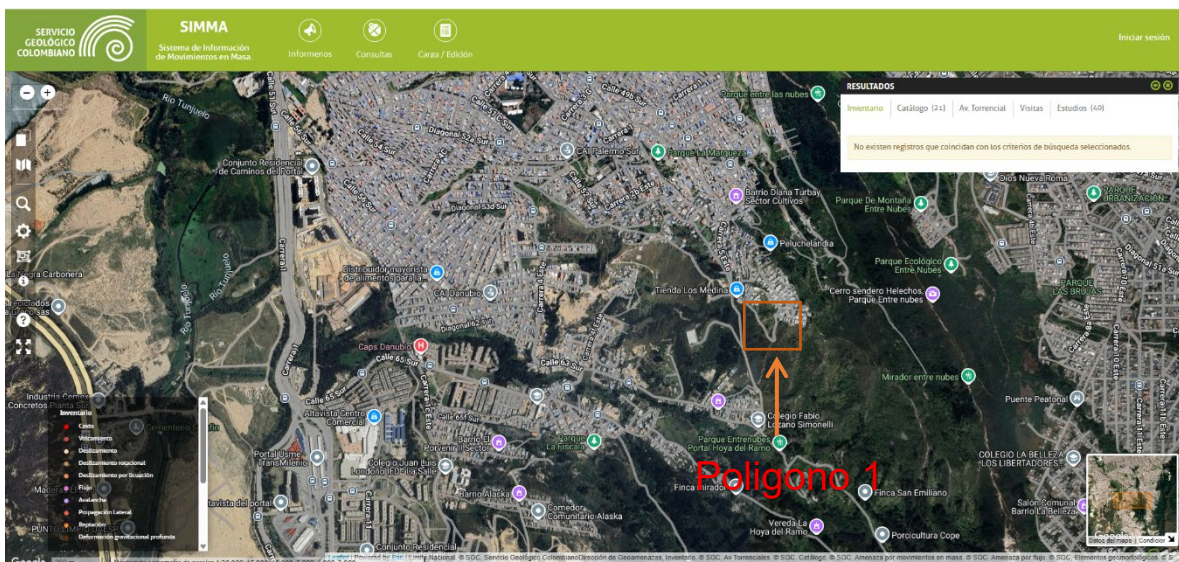
Figura 8. sitios críticos por mm, inundación y avenidas torrenciales



3.1.1.4.2 SIMMA

Revisando el sistema de información de movimientos en masa, dentro o cerca del polígono 1 no se reporta ningún tipo de evento ni de movimiento en masa ni avenida torrencial.

Figura 9. reporte de eventos de mm y avenidas torrenciales SIMMA



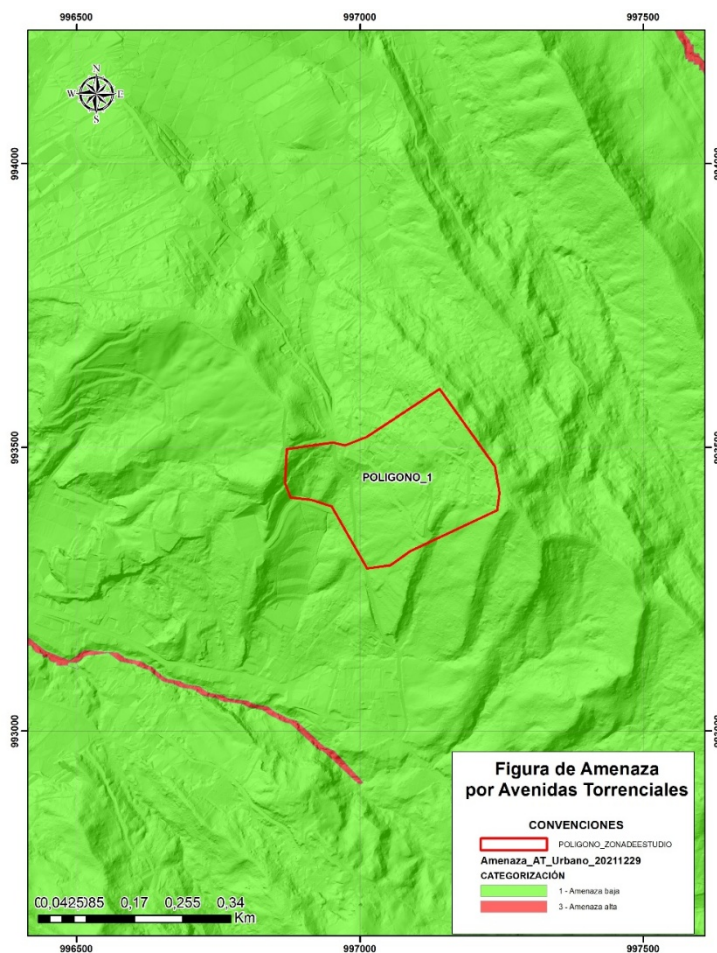
Fuente: SIMMA

3.1.1.5 Zonificación por remoción en masa

Con información recopilada del POT de Bogotá, mediante la página de “datos abiertos”, se realizaron las siguientes figuras, donde se muestran las zonas de amenaza por avenidas torrenciales y movimientos en masa.

En la Figura 10 se identifican valores de amenaza 1, clasificada como baja para avenidas torrenciales.

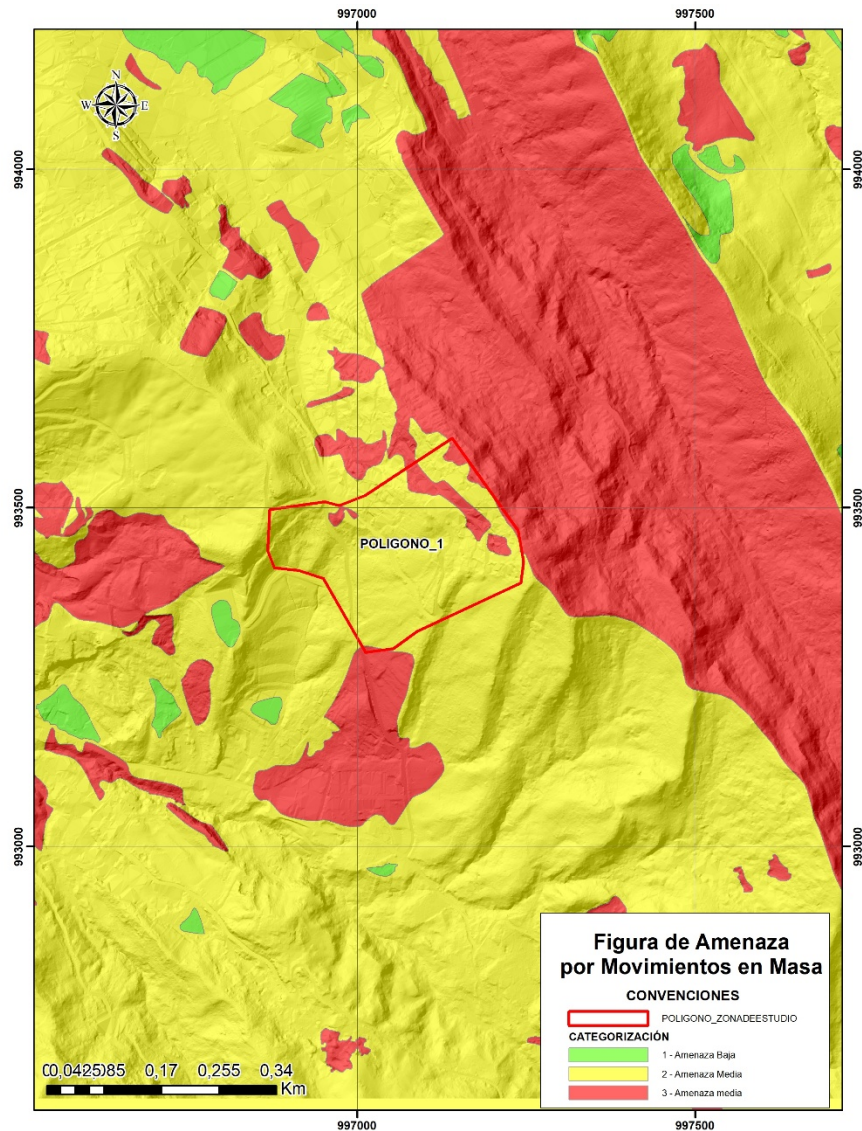
Figura 10. amenaza por avenidas torrenciales polígono 1



Fuente: POT Bogotá

En la Figura 11 se presenta la zonificación por remoción en masa del polígono 1, el cual se encuentra principalmente en amenaza media y alta.

Figura 11. zonificación por amenaza de movimientos en masa polígono 1



Fuente: POT Bogotá

3.1.2 ESTUDIOS PREVIOS

El presente capítulo consolida el análisis de la información técnica recolectada y evaluada como base para el desarrollo del proyecto. La revisión se centró en documentos de carácter oficial y estudios de detalle que permiten contextualizar las condiciones físicas de la zona de intervención.

Específicamente, se realizó la integración técnica de los siguientes estudios:

IDIGER (2023): "Estudio de riesgo por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitos para la cuenca Hoya del Ramo de la localidad de Usme".

Consultoría Técnica JAM, 2017: "Estudios y diseños para la construcción de obras de mitigación de riesgo por procesos morfodinámicos en la margen izquierda de la cuenca alta de la quebrada Hoya del Ramo del Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes".

A partir de estos antecedentes, se extrajeron y validaron datos críticos en las dimensiones de geología, geomorfología y geotecnia. Esta información secundaria constituye un contexto general de la cuenca, permitiendo identificar las dinámicas históricas de los procesos morfodinámicos y la respuesta geomecánica de las unidades litoestratigráficas frente a las amenazas naturales presentes en la cuenca.

3.1.2.1 Geotecnia

Tras revisar la exploración geotécnica contenida en los estudios del IDIGER (2023) y JAM (2017) para la realizados en la parte alta de la cuenca de la quebrada Hoya del Ramo, se determinó que sus resultados brindan un contexto regional de la cuenca.

La información analizada se enfoca principalmente en depósitos aluviales y fluvioglaciares.

La campaña de exploración que ejecutó JAM en el 2017 consistió en ocho perforaciones (P-01 a P-08) con profundidades entre 3,00 y 8,30 m, distribuidas en la margen izquierda de la cuenca alta de la quebrada. Los registros permiten reconocer un perfil estratigráfico relativamente consistente, compuesto por tres unidades principales que se repiten con ligeras variaciones entre sondeos.

3.1.2.2 Geología Superficial

Según el estudio de JAM (2017), la zona de estudio presenta un perfil geológico compuesto principalmente por rocas sedimentarias alteradas y depósitos no consolidados distribuidos en las vertientes y el cauce.

Las formaciones rocosas más relevantes son la Formación Arenisca de La Regadera y la Formación Bogotá. La primera se divide en dos unidades con comportamientos muy distintos: las litoarenitas y cuarzoarenitas (Tir-nd) son materiales competentes que forman las crestas del relieve, mientras que la unidad Tir-nb, compuesta por limolitas y arcillolitas,

genera relieves más bajos y deprimidos. Ambas unidades comparten una cementación deficiente, lo que las hace friables y muy susceptibles a la erosión.

En cuanto a los materiales no consolidados, se distinguen tres tipos de depósitos. Los depósitos de flujos encauzados (Qfe) son acumulaciones de lodo con fragmentos gruesos de grava y bolos subangulares, mal seleccionados y poco consolidados. Los depósitos de vertiente (Qdv) tienen una estructura soportada por la matriz y están afectados por procesos de erosión tanto difusa como concentrada. Finalmente, los depósitos coluviales (Qc), de edad posterior al Holoceno, están formados por guijos, cantos y bloques de cuarzoarenitas y litoarenitas embebidos en una matriz arcillo-limosa; estos afloran al norte del área de estudio y cubren una extensión considerable de las vertientes y el fondo del cauce de la quebrada.

3.2 TRABAJOS DE CAMPO GEOLOGÍA

El trabajo de campo se basó en el levantamiento de 7 estaciones distribuidas por todo el polígono de estudio, donde se realizaron secciones geológicas a detalle junto con la toma de datos estructurales y el registro de cualquier proceso morfodinámico que fuera evidente en el sitio. En general, se identificó una litología predominantemente arenosa que transiciona desde suelos residuales con espesores variables —desde los 50 cm o menos en ciertos puntos hasta los 2 m en otros— hacia roca con un grado de meteorización principalmente de grado III, aunque en zonas muy específicas es de grado II; además, se reportó la presencia de un suelo residual arcilloso de grado V. A continuación, se detalla lo encontrado en cada una de las estaciones de observación:

3.2.1 ESTACIÓN 1

La estación 1 pertenece a un talud expuesto posiblemente antes fue una pequeña cantera. Se levantó una columna de 5 m. De Techo a base se describen los siguientes materiales:

0 – 100 cm: Roca cuarzo arenita de grado III, color blanco hueso a amarillento, tamaño de grano arena media, presenta poca matriz de arena muy fina, poco cementada, cemento silíceo, compacidad firme, plasticidad nula, humedad baja.

1 m – 5 m: Suelo arcilloso grado V, color rojizo, no tiene estructura reconocible de la roca, consistencia blanda y plasticidad alta, humedad alta por lluvias.

Figura 12. Fotografía estación 1



3.2.2 ESTACIÓN 2

La estación 2 pertenece a un talud expuesto posiblemente antes fue una pequeña cantera. Se realizó a aproximadamente 30 m de la estación 1. Se levantó una columna de 7 m. De Techo a base se describen los siguientes materiales:

0 – 1 m: Suelo residual arenoso VI (SraVI) con materia orgánica, color gris oscuro, hacia la base se ve un poco más amarillo.

1 m – 6 m: Roca cuarzo arenita de grado III (RdaIII), color blanco hueso a amarillento, tamaño de grano arena media, presenta poca matriz de arena muy fina, poco cementada, cemento silíceo, compacidad firme, plasticidad nula, humedad baja.

6 m – 7 m: Roca blanda arcillosa grado III - IC (Rba III-IV), color rojizo, no tiene estructura reconocible de la roca, consistencia blanda y plasticidad alta, humedad alta por lluvias.

En el macizo rocoso se tomaron datos estructurales, identificándose 4 familias de diaclasas

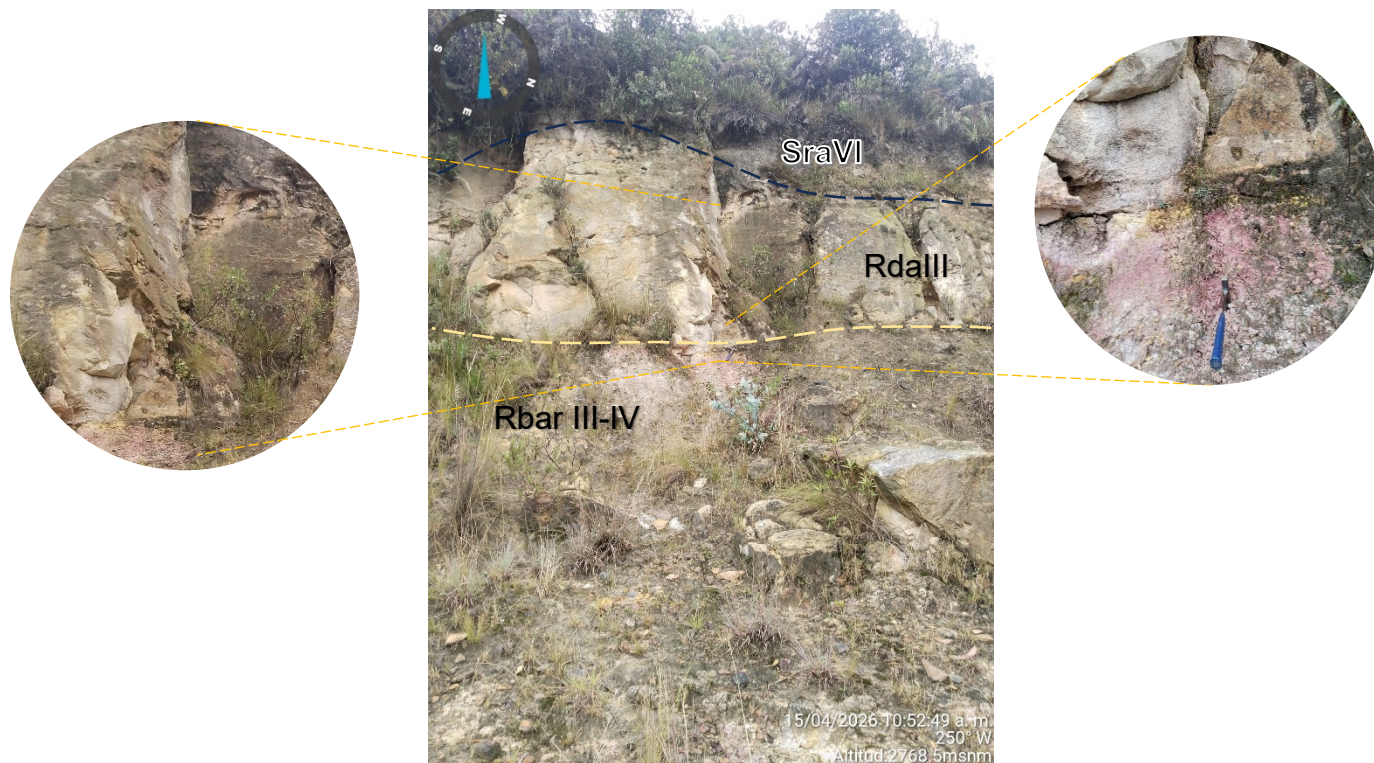
principalmente, se conoce que el dato estratigráfico es 235/33, 345/33 tomado de dos superficies cercanas además se tomó el valor del martillo de Schmidt:

Tabla 3. Datos estructurales de la estación 2

Tipo de dato	Dato	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Martillo de Schmidt
Diaclasa	1	83	79	18 h
Diaclasa	1	83	89	15 h
Diaclasa	2	67	13	14 h
Diaclasa	2	62	25	13 h
Diaclasa	2	70	10	13 h
Diaclasa	3	66	59	13 h
Diaclasa	4	84	68	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Columna estación 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Estación E1 y E2

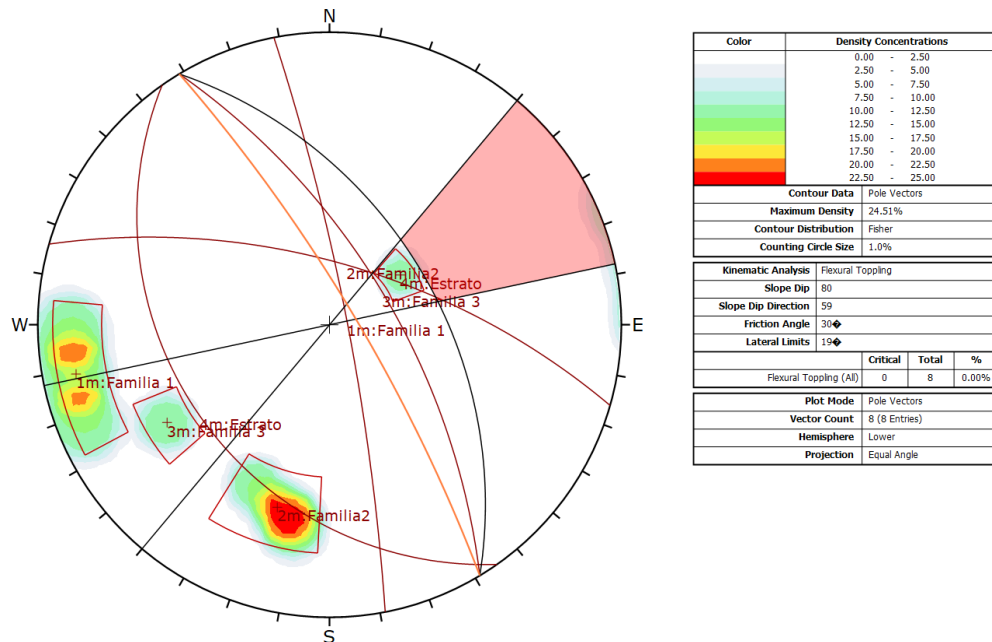


Fuente: Elaboración propia

Análisis cinemático:

El análisis de deslizamiento planar para el sitio 1 se realizó sobre una ladera con inclinación de 80° y dirección de buzamiento de 59° , con un ángulo de fricción de 30° . A partir de los 8 datos estructurales procesados, se obtuvo que el 12% del total de polos cae en zona crítica, correspondiendo en su totalidad a la familia de Estratos, con el 100% de sus polos en condición de inestabilidad. Esto indica que la estratificación buza en dirección subparalela a la ladera, con ángulos superiores al de fricción, pero inferiores al de la ladera, condición geométrica que permite el afloramiento de los planos de estratificación en la cara del talud y configura un escenario favorable para la ocurrencia de deslizamiento planar. Las familias de diaclasas 1 y 2 no presentan condición crítica bajo esta geometría

Figura 15. Análisis cinemático E1 Y E2



3.2.3 ESTACIÓN 3

En la estación 3 se identifica un suelo orgánico de 2 metros de profundidad sobre un suelo residual arenoso de grado V (SraV) de grano fino a muy fino de color amarillo, se encuentra húmeda por la lluvia, compacidad suelta, deleznable.

Figura 16. Foto tomada en campo estación 3



3.2.4 ESTACIÓN 4 Y 5

Esta estación se ubica en la parte alta sobre el filo al sureste del polígono, se identificó un suelo orgánico de granulometría arenosa, color pardo, sin humedad, compacidad suelta.

Unos metros al norte de la foto de la izquierda, se identifica un suelo residual arenoso VI-V, su compacidad es media, muy friable color blanco hueso a amarillento con baja humedad, con una pequeña capa vegetal de 5 cm.

Se toma un punto de control más adelante donde se observa el mismo material con grado V.

Figura 17. Foto tomada en campo estación 4



Figura 18. Foto tomada en campo estación 5



3.2.4.1 PC5-1

En la siguiente foto se observa junto a la vivienda ubicada en el filo de la pendiente se identificó un suelo residual IV, de granulometría arena media, color amarillo parduzco, en algunas zonas se ve color blanco rosado a rojizo, de compactidad media, deleznable, humedad baja por lluvia.

El residente de la vivienda comentó que al realizar la explanación se encontró la roca muy dura a los 50 cm de profundidad aproximadamente. Por lo que se deduce que el perfil de meteorización debe ser muy delgado hasta alcanzar la roca firme.

Figura 19. Estación 5-1



3.2.5 ESTACIÓN 6

Roca arenosa de grado III (RdaIII) color amarillo parduzco en la superficie a clara en el interior, grano medio, poco cementada, presenta 2 familias de diaclasas y un buzamiento estratigráfico.

Además, se tomaron distintos puntos de control donde se encuentra la roca de grado III, los cuales se nombraron PC.

Figura 20



Tabla 4. Datos de levantamiento estructural estación 6

Tipo de dato	Dato #	Buzamiento	Dirección de buzamiento
Estratificación	1	43	232
Estratificación	2	41	234
Diaclasa	Familia 1	77	116
Diaclasa	Familia	77	115
Diaclasa	Familia 2	55	18
Diaclasa	Familia 2	55	20

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 21 es una imagen obtenida de Google, 2019 se puede observar la capa arenita levantada en campo con tonos amarillos a rosados posiblemente por contenido ferroso de las capas adyacentes. Rdall se presenta suprayaciendo posiblemente unas intercalaciones de limolitas arenosas de color violeta y arenitas de color amarillo y grisáceo.

En la ilustración también se pueden observar la continuidad de la familia 1 de diaclasas presentadas en la ilustración anterior y anotada en la tabla del levantamiento estructural.

Figura 21. Perfil estratigráfico

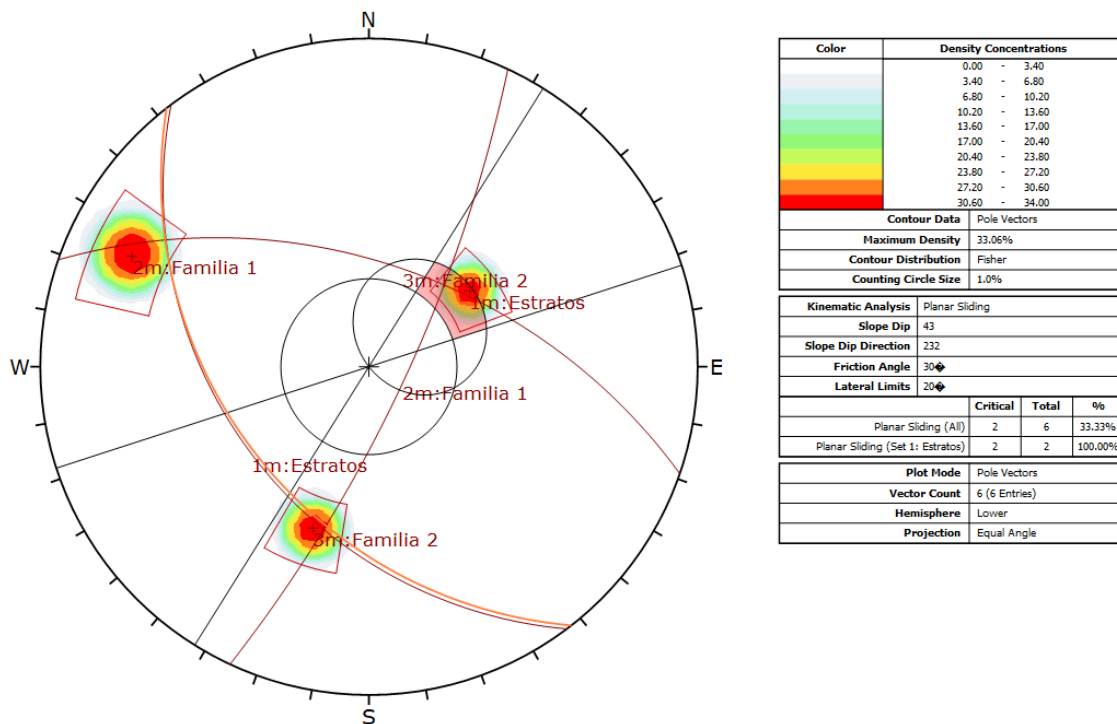


Fuente: Google Maps 2019

Análisis cinemático:

El análisis de deslizamiento planar para el sitio 2 se realizó sobre una ladera con inclinación de 43° y dirección de buzamiento de 232° , coherente con la orientación estructural regional de la Formación Regadera, y con un ángulo de fricción de 30° . De los 6 datos estructurales evaluados, el 33.33% del total de polos resulta crítico, siendo nuevamente la familia de Estratos la que concentra el 100% de sus polos en zona de inestabilidad. En este sitio la condición es especialmente desfavorable dado que los estratos buzcan en la misma dirección que la ladera, superan el ángulo de fricción y quedan geoméricamente expuestos en el talud. Las familias 1 y 2 permanecen fuera de la zona crítica para falla planar.

Figura 22. Análisis cinemático de los datos estructurales



Fuente: Elaboración Propia

3.2.5.1 PC6-1

En este punto de control se identificó principalmente la Roca arenosa de grado III, color amarillo, compacidad dura, humedad media por lluvia, muy friable. También se identificó un suelo residual arenoso grado IV de compacidad media a suelta, sin humedad, se observan algunas estructuras, color violaceo por meteorización de la capa suprayacente; Por último, se observó una capa de suelo residual limoarenoso color violeta ubicado bajo las escaleras como se puede observar en la siguiente ilustración.

Figura 23. Fotografía PC 6-1



Fuente: Elaboración propia

A unos 30 m de este punto se presenta un movimiento en masa pequeño, generado al parecer el movimiento de relleno antrópico dispuesto en el lugar.

Figura 24. Foto desde arriba deslizamiento



3.2.5.2 PC6-2

El afloramiento corresponde a un talud de vía de aproximadamente 8 m de alto, en el cual se identifica un perfil de meteorización generado por la alteración de roca arenita de la Formación Regadera, se levantó una columna estratigráfica que se presenta a continuación de techo a base:

0 – 0.5 m: Suelo orgánico arenoso con fragmentos de arenisca y limolita, color café muy oscuro.

0.5 m – 2 m: Suelo arenoso V, muy deleznable, con colores amarillo y violeta en algunas zonas, de compacidad media, sin humedad, deleznable.

2 m – 5 m: roca arenosa III - IV misma descripción que V, pero el material tiene compacidad más dura, se observan algunas diaclasas erodadas, parte de ese suelo está bajo una capa de suelo meteorizado y transportado.

5 m – 8 m: Roca dura arenosa III – II (Rdalll-II) granulometría de arena media, poco cementada, presenta algo de matriz limosa, color amarillo y violeta, muy friable en zonas de meteorización III, muy duras en grado II, poco húmedas por lluvia.

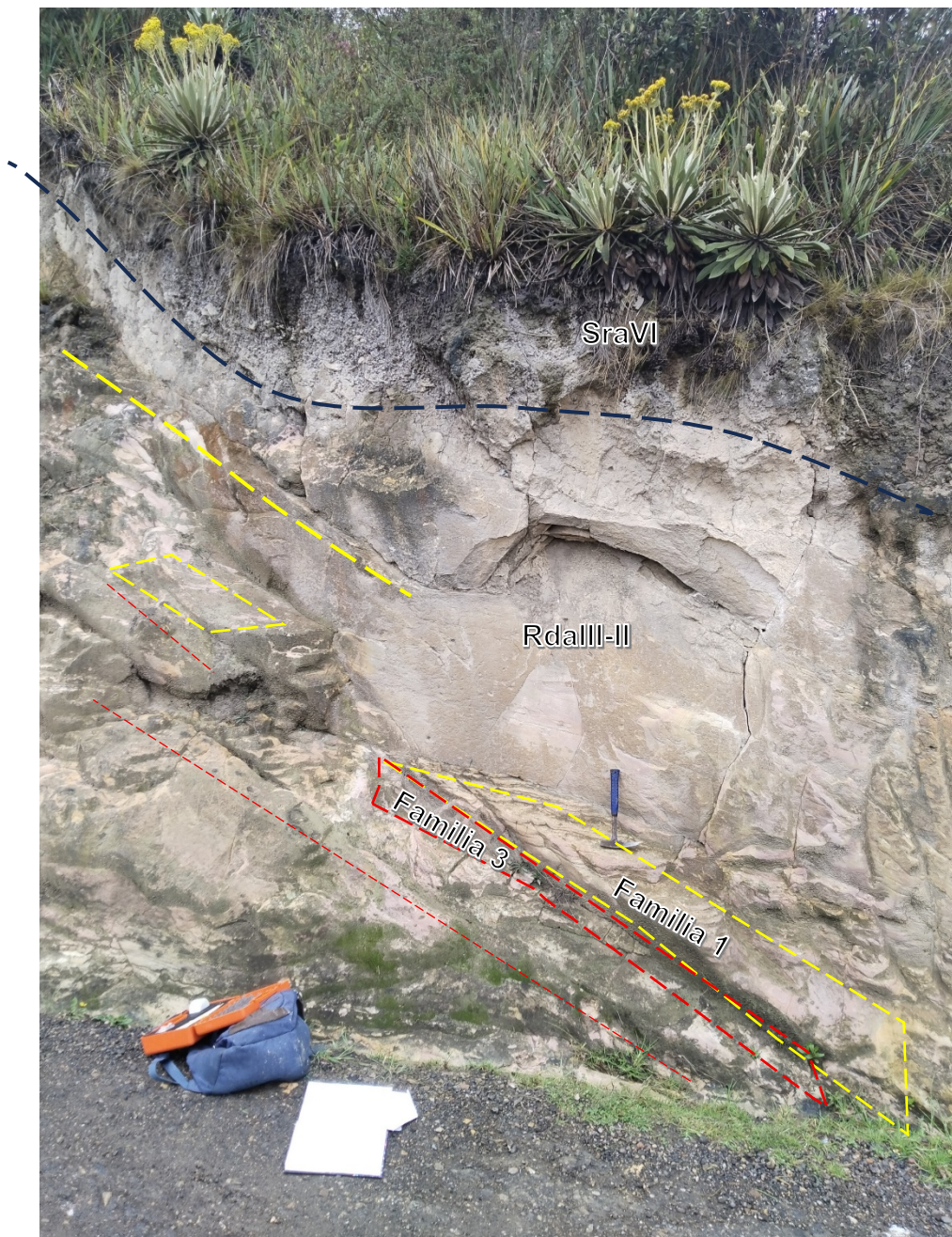
No se evidencian procesos morfodinámicos activos, sin embargo, se observa que los suelos menos competentes se ven afectados por aguas escurrientías.

Se tomaron datos estructurales como buzamiento estratigráfico, y algunas familias de diaclasas que se presentaron a lo largo del talud.

Figura 25. Perfil estratigráfico estación PC6-2



Figura 26. Afloramiento 2 PC 6-2



El afloramiento corresponde a la continuación del talud del PC6-2, así mismo las descripciones de la roca. Sobre la capa de roca se observa un material limoso lavado de color rojizo.

Figura 27. Afloramiento 3 PC6-2



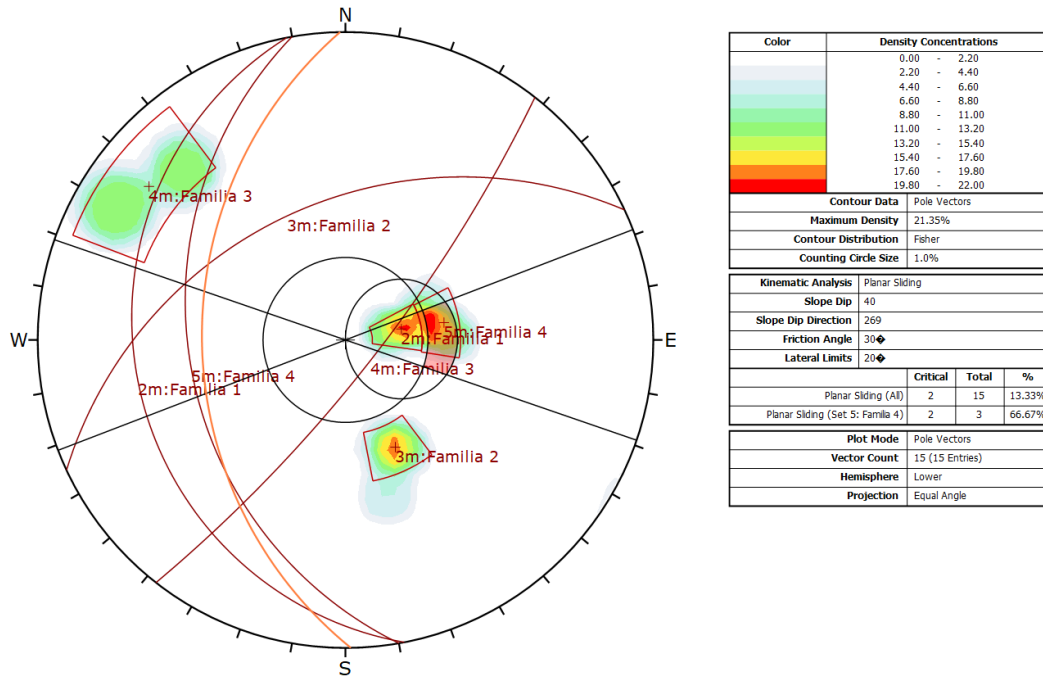
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Datos de levantamiento estructural estación 6-2

Tipo de dato	Dato #	Buzamiento	Dirección de buzamiento	Martillo Schmidt
Diaclasa	Familia 1	16	260	18 v
Diaclasa	Familia 1	15	257	15 v
Diaclasa	Familia 1	26	258	19 v
Diaclasa	Familia 1	27	260	18 v
Diaclasa	Familia 2	40	341	25 v
Diaclasa	Familia 2	44	331	23 v
Diaclasa	Familia 2	42	334	18 V
Diaclasa	Familia 2	55	345	15 v
Diaclasa	Familia 3	80	120	17 h
Diaclasa	Familia 3	82	120	17 h
Diaclasa	Familia 3	74	135	17 h
Diaclasa	Familia 3	75	138	18 h
Diaclasa	Familia 4	36	265	-
Diaclasa	Familia 4	39	269	-

Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Análisis cinemático de datos estructurales E 6-2

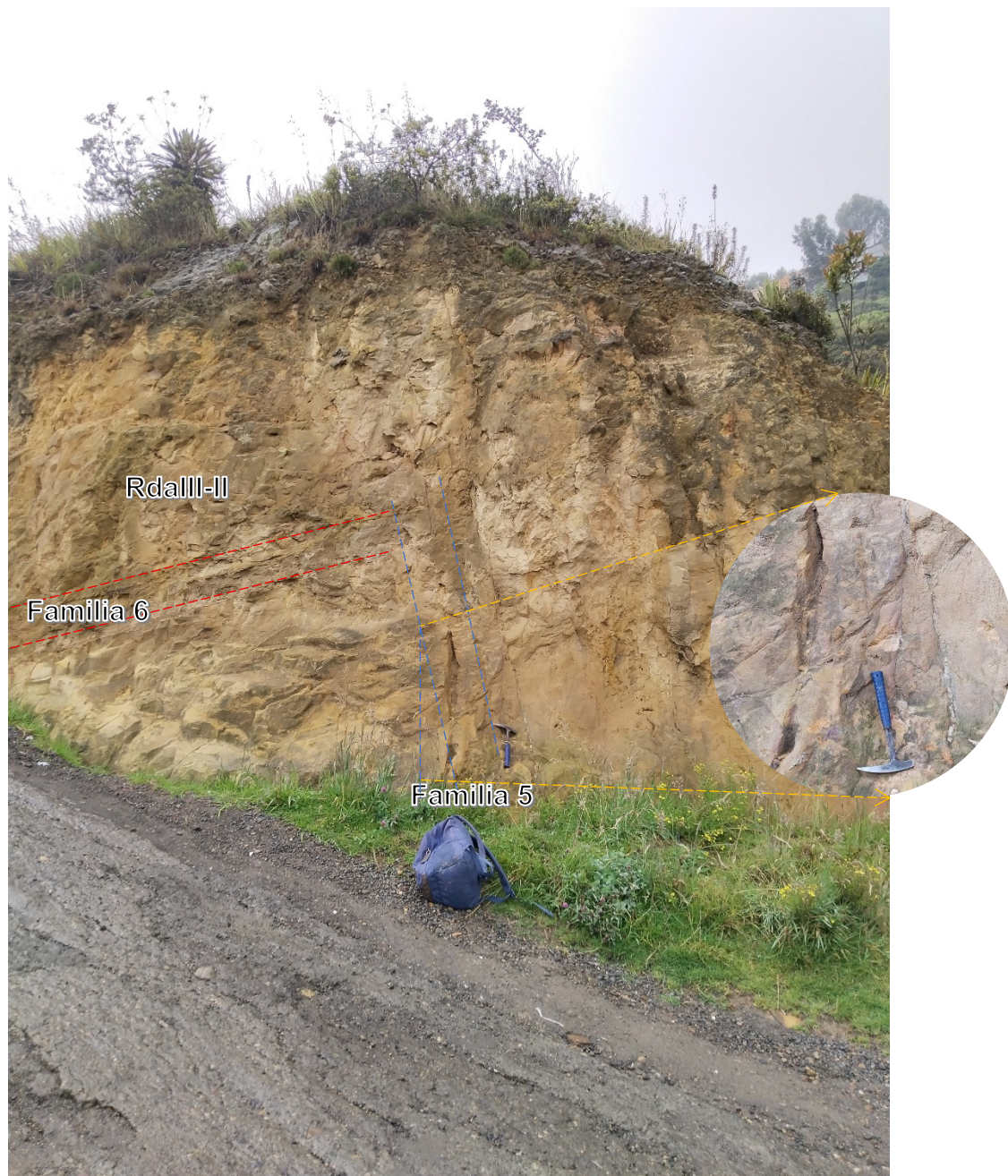


3.2.5.3 PC6-3

El afloramiento corresponde a la continuación del talud del PC6-2, así mismo las descripciones de la roca.

Se identificaron dos familias de diaclasas las cuales se presentan en la Tabla 6

Figura 29 . Afloramiento estación PC6-3



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Datos de levantamiento estructural estación PC6-3

Tipo de dato	Dato #	Buzamiento	Dirección de buzamiento	Martillo Schmidt
Diaclasa	Familia 5	90	160	13 h
Diaclasa	Familia 5	80	160	13 h
Diaclasa	Familia 6	23	268	13 v

3.2.5.4 PC6-4

El afloramiento corresponde a un talud de vía, donde se identifica una Roca dura arenosa III – II (RdaIII-II) granulometría de arena media, poco cementada, color blanco a grisáceo muy friable en zonas de meteorización III, más competentes en grado II, poco húmedas por lluvia.

Figura 30. Afloramiento estación 6-4



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Datos estructurales levantados estación 6-4

Tipo de dato	Dato #	Buzamiento	Dirección de buzamiento	Martillo Schmidt
Estratigrafía	Capa	25	245	16,5 v
Estratigrafía	Capa	25	245	17
Diaclasa	Familia 1	74	134	26.5 h
Diaclasa	Familia 1	85	110	14.5 h
Diaclasa	Familia 2	65	265	22 h, 23 h

3.2.5.5 PC6-5

La estación PC 6-5 se levantó sobre un afloramiento natural de 1.5 m alto en el cual en este punto y a lo largo de esa ladera se observó una capa delgada de unos 50 a 70 cm de espesor de un material transportado coluvial, producto del transporte de fragmentos de roca y suelo desprendidos por acción de la erosión y meteorización de las capas presentes en las zonas más altas.

Así mismo se identificó una roca dura arenosa grado III-II de meteorización, con pequeñas intercalaciones de limos, además se tomó un dato estratigráfico de la formación regadera (33°/245)

Figura 31. Afloramiento estación 6-5



3.2.6 ESTACIÓN 7

En la estación 7 se identificaron surcos en la vía, generadas por el mal control de aguas escorrentías. Estos surcos se generan sobre un suelo antrópico.

Figura 32. Surcos generados por escorrentías



Fuente: Elaboración propia

3.2.6.1 PC 7-1 Sitio crítico

En esta estación se estableció un punto de control para monitorear el proceso morfodinámico principal que compromete la seguridad vial en el sector, ya que, si bien el contexto geológico está definido por rocas arenosas duras con un grado III de meteorización, la ladera ha sufrido una acumulación crítica de material antrópico a lo largo de los años. Por esta razón, el movimiento identificado se asocia principalmente a este material poco consolidado y heterogéneo que terminó cediendo al estar expuesto a detonantes externos como las lluvias intensas, lo que explica la inestabilidad observada en este punto específico.

Figura 33. deslizamiento rotacional polígono 1



Fuente: Elaboración propia

3.3 GEOLOGÍA LOCAL

A partir de la información obtenida en campo durante la visita del 16 de abril de 2026, se identificaron las unidades geológicas superficiales que se describen a continuación:

Formación Regadera Superior Arenosa (Pgrsa): Esta unidad representa la mayor parte del área de estudio y está constituida por suelos y rocas de composición litológica arenosa de grano medio, fino o muy fino. Se presenta en tonalidades que van desde blanco hueso hasta amarillo parduzco, con grados de meteorización III y IV. En general, son materiales muy friables, con poca cementación y escasa matriz; los estratos buzcan preferencialmente hacia el oeste, con orientación D/DD de 33°/245°).

Formación regadera superior arcilla (Pgrsar): Esta unidad se localiza principalmente al occidente del área de estudio y está constituida por suelos arcillosos abigarrados de consistencia

blanda, humedad alta por lluvias, plasticidad alta, muy susceptibles a la erosión por escorrentía, presente pendientes suaves a muy abruptas dependiendo su estado de meteorización. En el área de estudio fue reconocida en las estaciones E1 y E2, y con base en el análisis geomorfológico se identificó su continuidad en el predio vía al Tanque La Fisca.

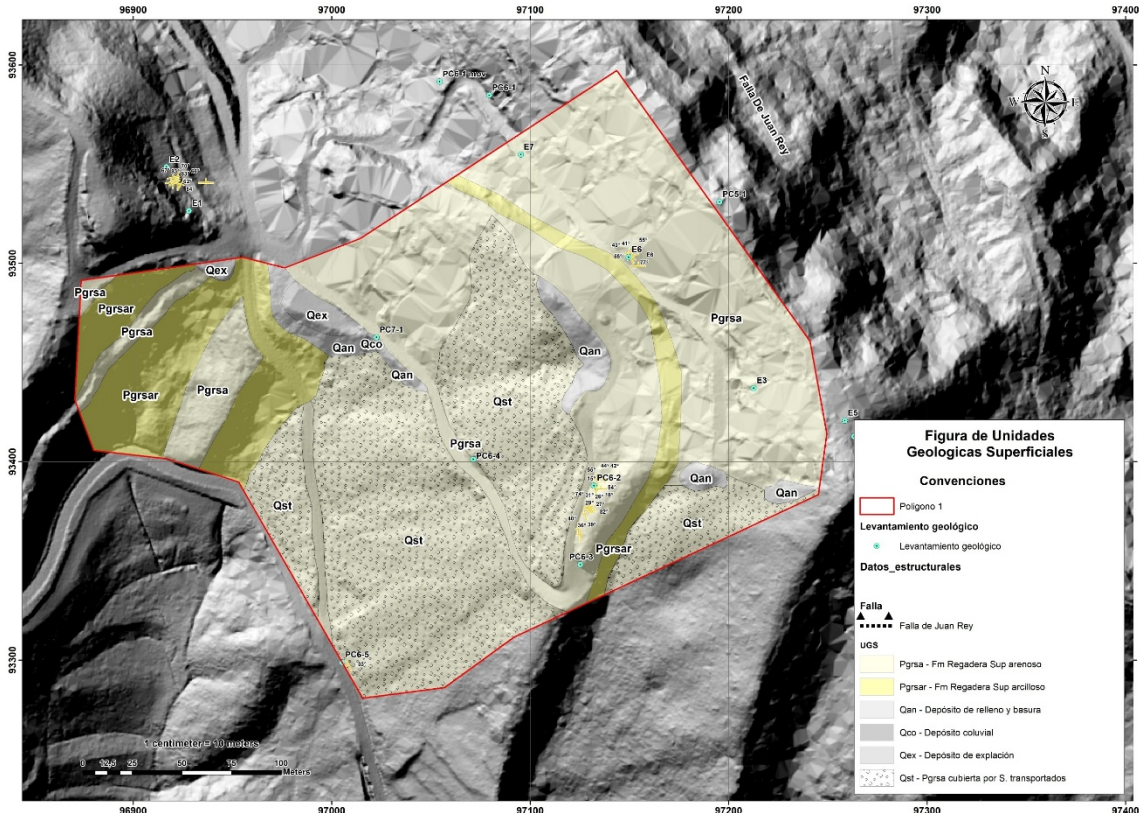
Depósitos de rellenos y basuras (Qan): Corresponden a depósitos conformados por escombros producto de explanaciones y actividades constructivas en el sector, acompañados de basuras y residuos sólidos.

Depósito coluvial (Qco): Esta unidad representa el proceso de deslizamiento ocurrido sobre el corredor vial de la calle 59 c Sur que conecta con la parte alta del barrio San Martín. Dicho proceso está estrechamente relacionado con las zonas de relleno dispuestas en las laderas del sector, lo que, sumado al inadecuado manejo de las aguas de escorrentía, pudo haber desencadenado el evento.

Formación regadera superior arenosa cubierta por suelos transportados (Qt): Se describe como roca arenosa dura de grado III de meteorización, cubierta por suelos transportados de poco espesor o de carácter superficial. Estos depósitos corresponden a materiales sueltos cuya resistencia al corte es bajo y en contacto neto con la roca subyacente favorece la generación de deslizamientos de pequeña magnitud de carácter traslacional.

Depósito de explanación (Qex): Suelos explanados como el resultado del crecimiento urbano en la zona.

Figura 34. mapa de unidades geológicas superficiales.



Fuente: Elaboración propia

3.4 DEFINICIÓN DE UGIS

Las unidades geológicas para ingeniería (UGIs) se definieron a partir de la geología de detalle realizada en el barrio San Martín, lo que permitió identificar características como el grado de meteorización, tipo de litología, compacidad o consistencia, humedad y color. En algunos materiales se complementó la caracterización con ensayos de martillo de Schmidt. A continuación, se describen las unidades geológicas para ingeniería identificadas:

Rda cubierta por suelo transportado coluvial (St): Esta unidad describe los suelos coluviales superficiales o de poco espesor dispuestos sobre la roca dura arenosa de grado III de meteorización. Los St son suelos sueltos, heterogéneos y mal gradados, producto de la depositación de material transportado.

Suelo transportado coluvial (Stco): Corresponden a suelos antrópicos movilizados por

detonantes como el agua y la gravedad. Se encuentra sobre el corredor vial de la calle 59 c Sur que presenta pérdida de estabilidad en el talud inferior ubicado dentro del parque entrenubes.

Suelo antrópico explanación (Sanex): Esta unidad corresponde a suelos de origen antrópico, utilizados para nivelar y explanar terrenos con fines urbanísticos.

Suelo antrópico (San): Esta unidad corresponde a escombros, rellenos y basuras depositados principalmente sobre las laderas del área de estudio. Por tratarse de materiales sueltos y de baja cohesión, presentan alta susceptibilidad al desarrollo de procesos de movimientos en masa.

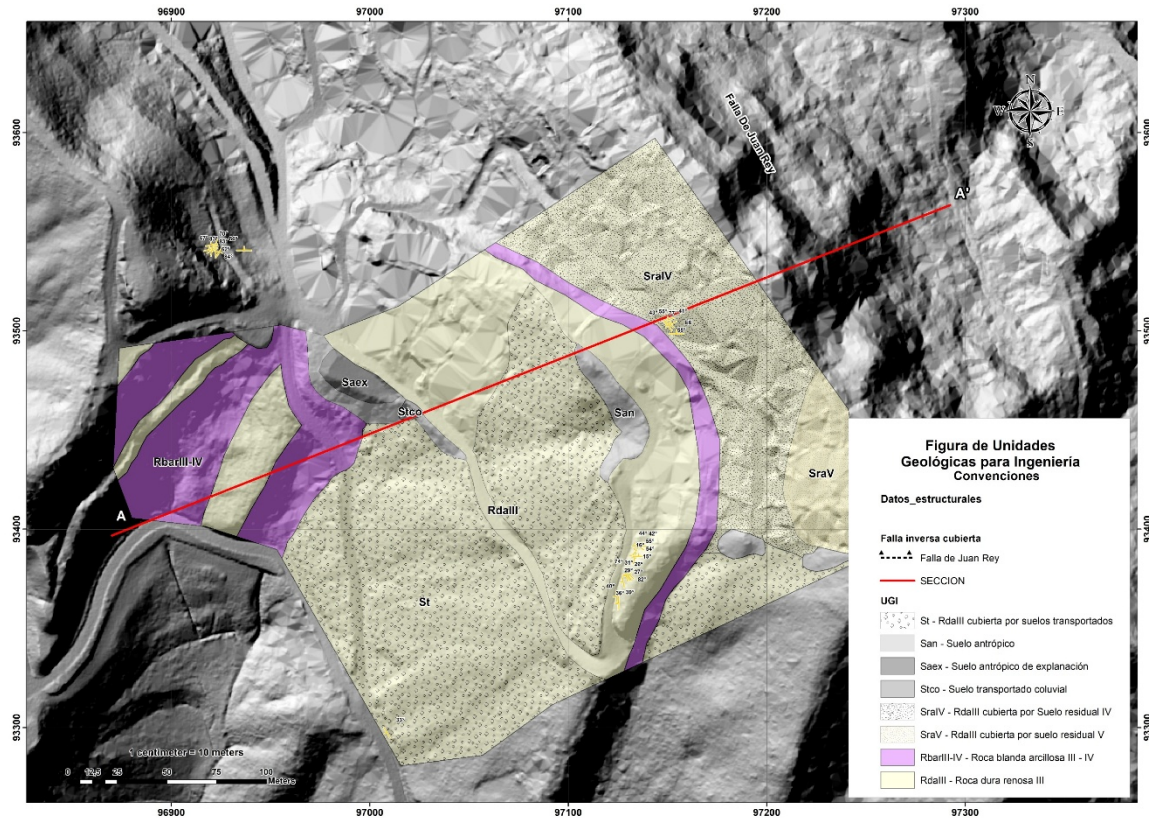
Roca blanda arcillosa (RbarIII-IV): Roca de litología arcillosa con consistencia media a firme, las interestratificaciones presentan coloración abigarrada y blanca, plasticidad alta. Son susceptibles a la erosión por escorrentía y se localizan en pendientes altas interestratificadas con los estratos de areniscas, presentan humedad media a alta por lluvias registradas durante la visita de campo, se identificaron en las estaciones E1 Y E2, así mismo se reconocen morfológicamente ya que se encuentran principalmente en contrapendiente estructural.

Suelo residual arenoso grado V (SraV): Se describen como suelos arenosos con algo de matriz de arenas finas de compacidad media a suelta, friabilidad alta, se ubican en la parte alta del área de estudio, presentan espesores variables, pero en su mayoría menores de 1 m, son suelos poco desarrollados, con una pequeña capa vegetal.

Suelo residual arenoso grado IV (SraIV): Suelos de granulometría media a fina, con compacidad firme, alta friabilidad, baja cementación y escasa matriz de arenas muy finas con cemento silíceo. Su coloración varía entre amarillo claro y amarillo parduzco según el sector. Esta unidad se distribuye principalmente en la zona urbana del barrio San Martín, presentan espesor variado sobre rocas grado III o grado II de areniscas.

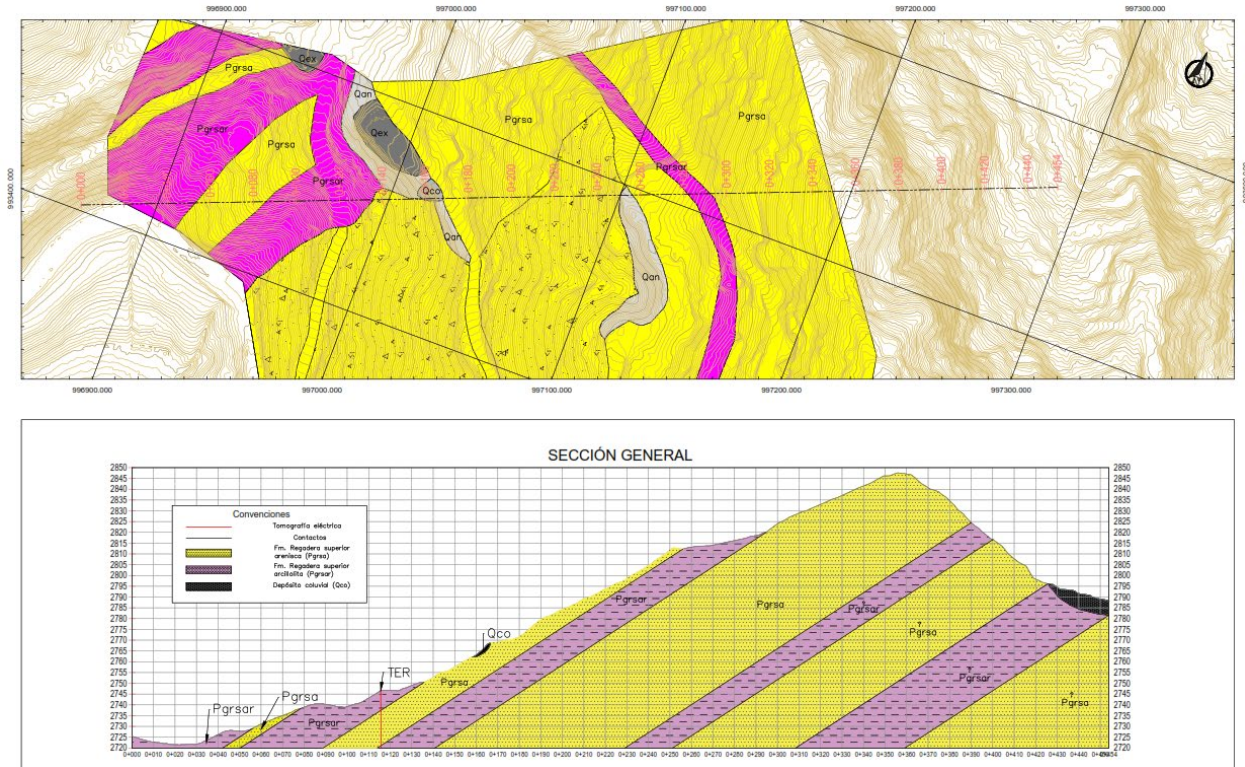
Roca dura arenosa grado (Rdalll): Esta unidad constituye más del 50 % del polígono de estudio. Corresponde a rocas de litología arenosa de grano medio con grado de meteorización predominantemente III, aunque localmente puede alcanzar el grado II. Se caracterizan por su baja cementación con cemento silíceo, escasa matriz de arenas finas y alta friabilidad, algunas zonas presentan cementación ferruginosa por lo que son más duras y resistentes. Su compacidad es firme, no presentan plasticidad y su humedad es baja. La coloración varía entre blanco hueso, amarillo claro y amarillo parduzco, en algunas zonas rojiizas. Morfométricamente se asocian a pendientes muy abruptas a favor de la pendiente estructural.

Figura 35. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGIS).



Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Sección A-A' Perfil General



3.5 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

3.5.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Se plantea la evaluación comparativa de imágenes adquiridas en diferentes fechas y provenientes de una gran variedad de sensores satelitales y fotografías aéreas, con el fin de identificar, cuantificar y entender la evolución de las formas del relieve y los procesos superficiales a lo largo del tiempo. Este enfoque permite reconocer dinámicas como erosión, sedimentación, cambios en coberturas, migración de cauces, movimientos en masa y transformaciones antrópicas, mediante la observación sistemática de variaciones espaciales y temporales en la superficie terrestre.

En geomorfología, este tipo de análisis es fundamental para establecer tasas de cambio, reconstruir la evolución del paisaje y evaluar la estabilidad del terreno. Además, constituye una herramienta clave en estudios de amenaza y riesgo, ya que permite detectar zonas susceptibles

a procesos activos como deslizamientos, erosión hídrica o expansión urbana no controlada.

A partir de la recopilación de imágenes de sensores remotos fue realizado un análisis geomorfológico multitemporal del área de estudio. Esto con el fin de caracterizarla geológica y geomorfológicamente, identificar movimientos en masa pasados, realizar cartografía fotogeológica que sirve de base para el desarrollo del mapa geomorfológico y geológico. Las imágenes de sensores remotos recopiladas y utilizadas se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Resumen de listado de análisis multitemporal

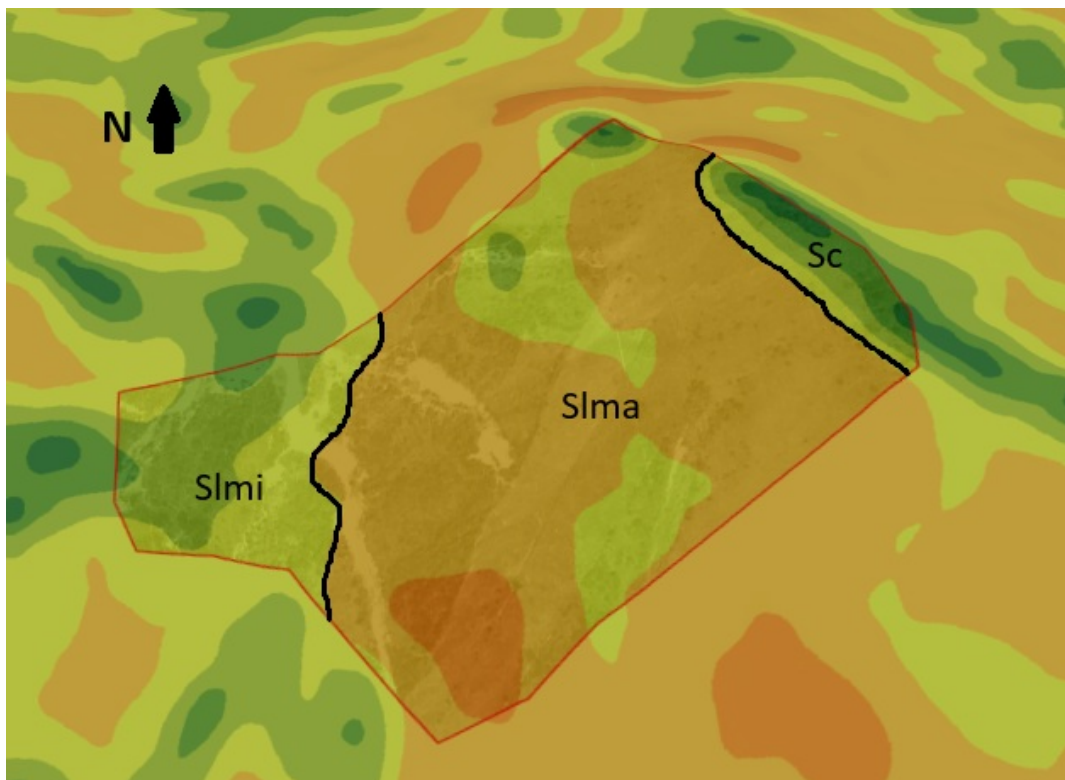
Vuelo/nombre	Fotografía	Fecha imagen	Escala aproximada
C-2161	117	11/02/1984	1:20.000
R-1183	110	02/10/1992	1:20.000
C-2656	177	1999	1:20.000
C-2717	99	2004	1:20.000
Ortofotografía / IGAC	No aplica	2007	1:45.400
Ortofotografía / IGAC	No aplica	2015	Resolución 10 m
Ortofotografía / Lansad copernicus	No aplica	2025	Resolución 15 m

3.5.1.1 Fotografía aérea vuelo C-2161

La fotografía Aérea del vuelo C-2161, corresponde a una imagen aérea capturada en el año 1984, a través de un vuelo exploratorio, dicha imagen permite identificar la forma, disposición de las unidades geológicas de superficiales presentes en el área de estudio.

Se observa que el área de estudio Geomorfológicamente hablando se encuentra una ladera estructural muy abrupta (Slma) junto a una cima estructural correspondiente a una superficie de poca pendiente más denudada (Sc), en contacto a la ladera se encuentra una ladera muy inclinada (Slmi). Clasificación realizada de acuerdo con Carvajal (Carvajal Perico, J. H. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia.*)

Figura 37. Unidades Geomorfológicas del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Con el vistazo geomorfológico general, podemos observar en la fotografía que, sobre la ladera denudada estructural muy abrupta, una vía carretable de sentido norte-sur con un tamo secundario en construcción, creadas con el fin de dar seguimiento a la expansión del naciente barrio.

Frente a la urbanización en la zona, no se aprecia presencia de edificaciones ni urbanizaciones, cercanas al área de estudio.

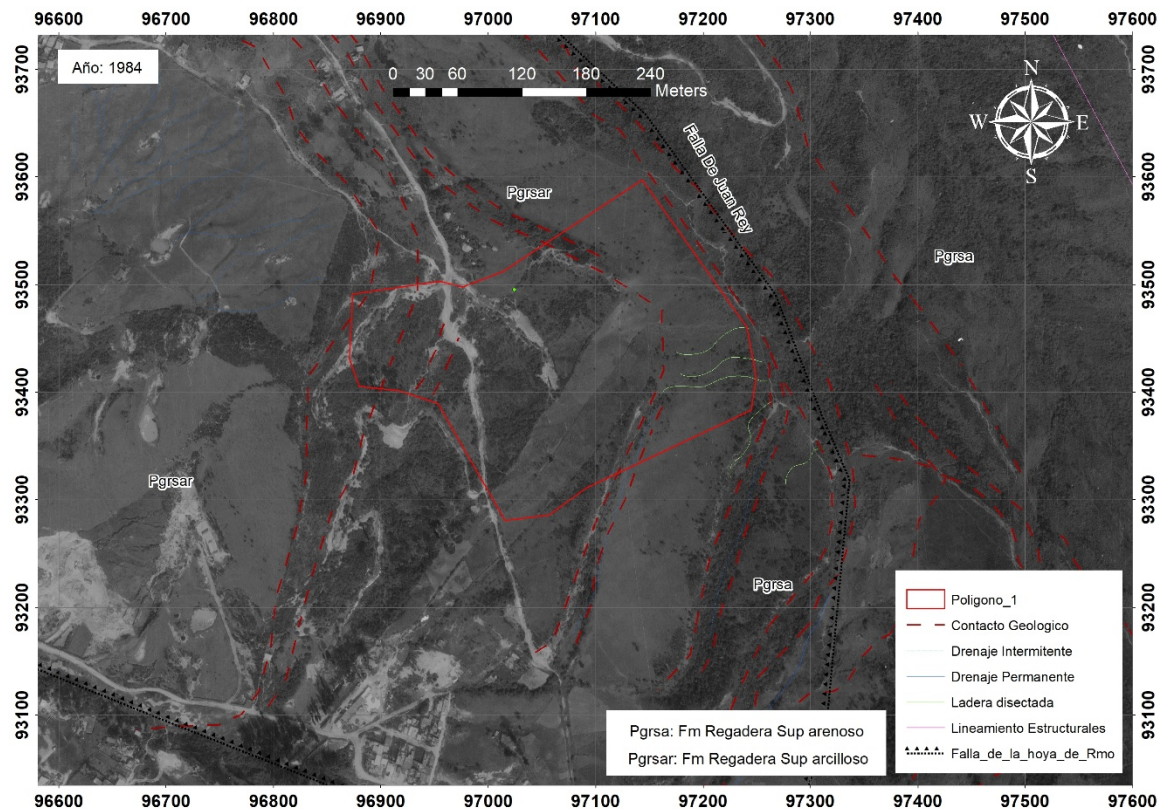
Es apreciable sobre la ladera la presencia de drenajes permanentes observables hacia el noárea Nor-este del área de estudio, que drena las aguas pluviales hacia la carretera principal. Por su parte se observan laderas disectadas evidencia clara de erosión hídrica de drenajes intermitentes presentes en el área de interés y también son evidencia del alta pendiente de la ladera estructural abrupta.

Hacia la parte norte de la fotografía aérea observamos posibles alineamientos estructurales,

geoformas alargadas que controlan los drenajes y que son evidencia de posibles fallas y fracturas.

Por último, podemos observar claramente desde el centro al suroeste del polígono de estudio el contacto geológico entre la ladera compuesta de lodolitas arenosas de la formación Regadera superior y la terraza constituida de los materiales residuales de la misma. A su vez podemos ver hacia la parte inferior izquierda el contacto entre la terraza y la planicie aluvial.

Figura 38. Fotointerpretación 1984



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2 Fotografía aérea vuelo C1183

La fotografía Aérea del vuelo C-1183, corresponde a un vuelo realizado en el año 1992, en el cual podemos observar con respecto al año 1984. Una expansión significativa de la vía principal que atraviesa en sentido norte-sur. Se observa también de manera evidente el aumento de movimientos en masa por la gran aparición de depósitos coluviales, probablemente presentes

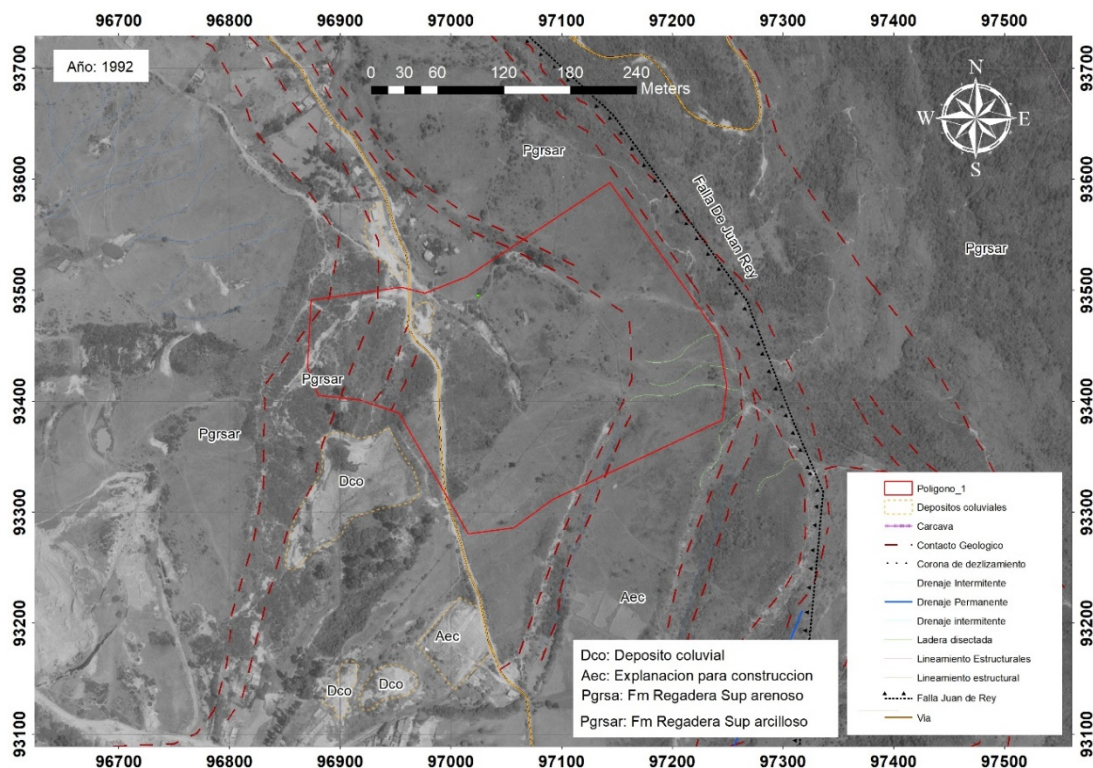
por intervención de relleno y desplazamiento de suelo antrópico y obras antrópicas, como la explanación para contracciones presente.

Con respecto a la geomorfología, se observa el evidente aumento de las laderas disectadas presentes debido al aumento del caudal de drenajes pluviales y el aumento de la erosión tanto hídrica como eólica potencializado por la actividad antrópica presente en el área de estudio.

Dicha intervención entropía solo ha aumentado la creación de movimientos en masa algunos de gran tamaño, resultado de la deforestación y aumento de erosión por actividad antrópica del área de estudio.

Por último, se evidencia no solo la presencia de una nueva vía carretable por la parte inferior izquierda de la fotografía aérea, vía creada con el fin de conectar las nuevas zonas urbanizadas del barrio diana Turbay, sino que se empiezan a evidenciar cárcavas que anuncian futuros movimientos masivos de masa.

Figura 39. Fotointerpretación 1992



Fuente: Elaboración propia

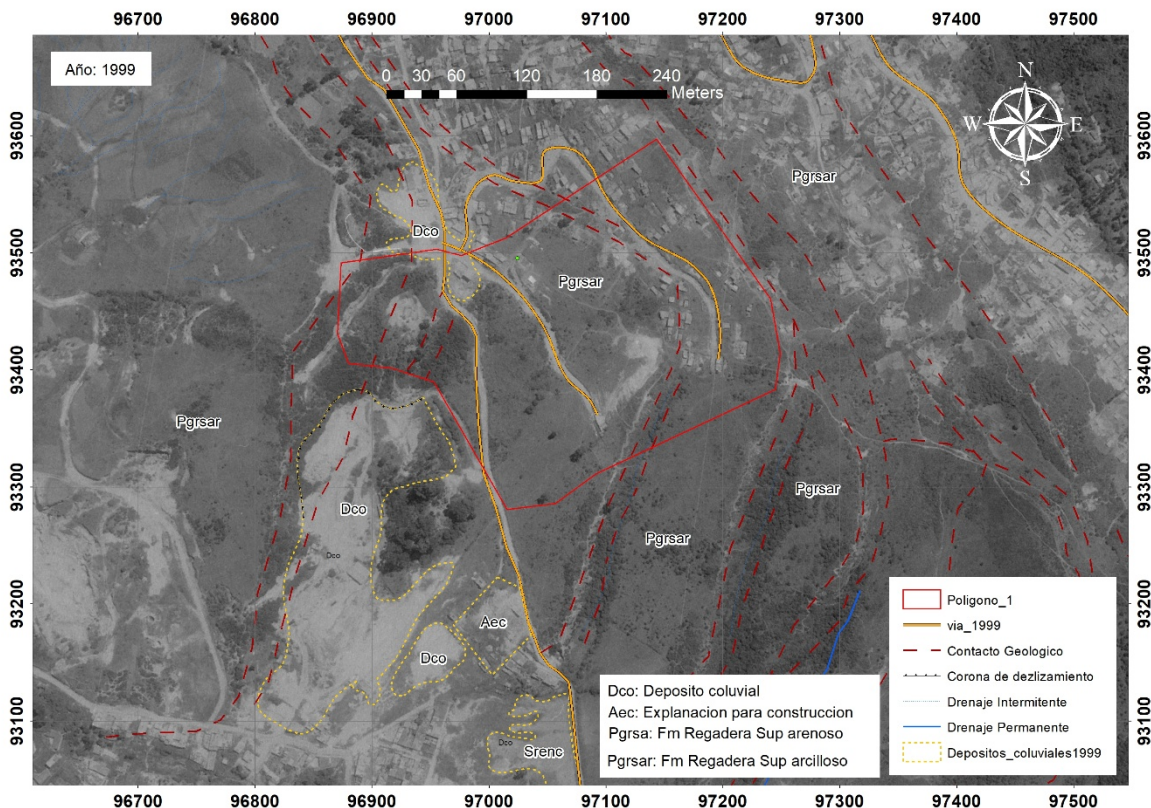
3.5.1.3 Fotografía aérea vuelo C2656

La fotografía Aérea del vuelo C-2656, corresponde a un vuelo realizado en el año 1999, en el cual podemos observar con respecto al año 1992. Una expansión significativa de la del casco urbano del barrio diana Turbay en dónde las obras antrópicas cubren ya el 50% del area de estudio cubriendo la mayoría de los rasgos geomorfológicos presentes en las laderas.

Con respecto a la geomorfología, se observa el evidente aumento de los movimientos en masa y el ensanchamiento de los ya existentes, esto debido al aumento de deforestación que a su vez promueve en gran medida la erosión.

Por último, la actividad antrópica del área de estudio ha generado movimientos de masa de material de recebo no consolidado (Srenc), principalmente dado por el colapso de los taludes que constituyen el tramo vial.

Figura 40. Fotointerpretación 1999



Fuente: Elaboración propia

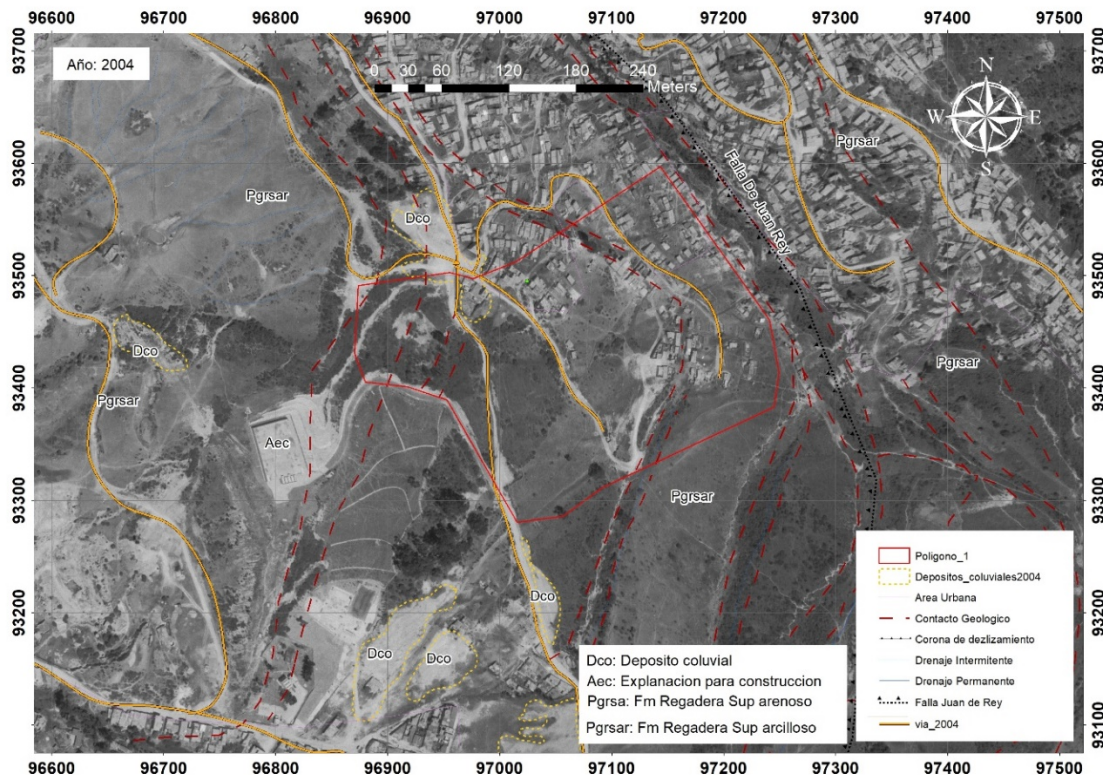
3.5.1.4 Fotografía aérea vuelo C2717

La fotografía Aérea del vuelo C-2717, corresponde a un vuelo realizado en el año 2004, en el cual podemos observar con respecto al año 1999 que el ambiente antrópico predomina en el área de estudio, la expansión urbana del barrio Diana Turbay.

La geomorfología del paisaje inicial ha sido modificada en su totalidad solo manteniendo algunos drenajes permanentes, la creación y aumento de la malla vial y la explanación realizada a los suelos para la creación de viviendas a permitido el modelado casi en su mayoría del terreno, Solo manteniendo y creando nuevos movimientos de masa principalmente fallas en los taludes de corte a lo largo del tramo vial principal.

Por último, se puede observar cómo se ha aprovechado el material de los depósitos coluviales como fuente de materiales para la explanación y creación del mallado vial. Creando zonas de notable erosión, pero reduciendo el flujo de detritos.

Figura 41. Fotointerpretación 2004



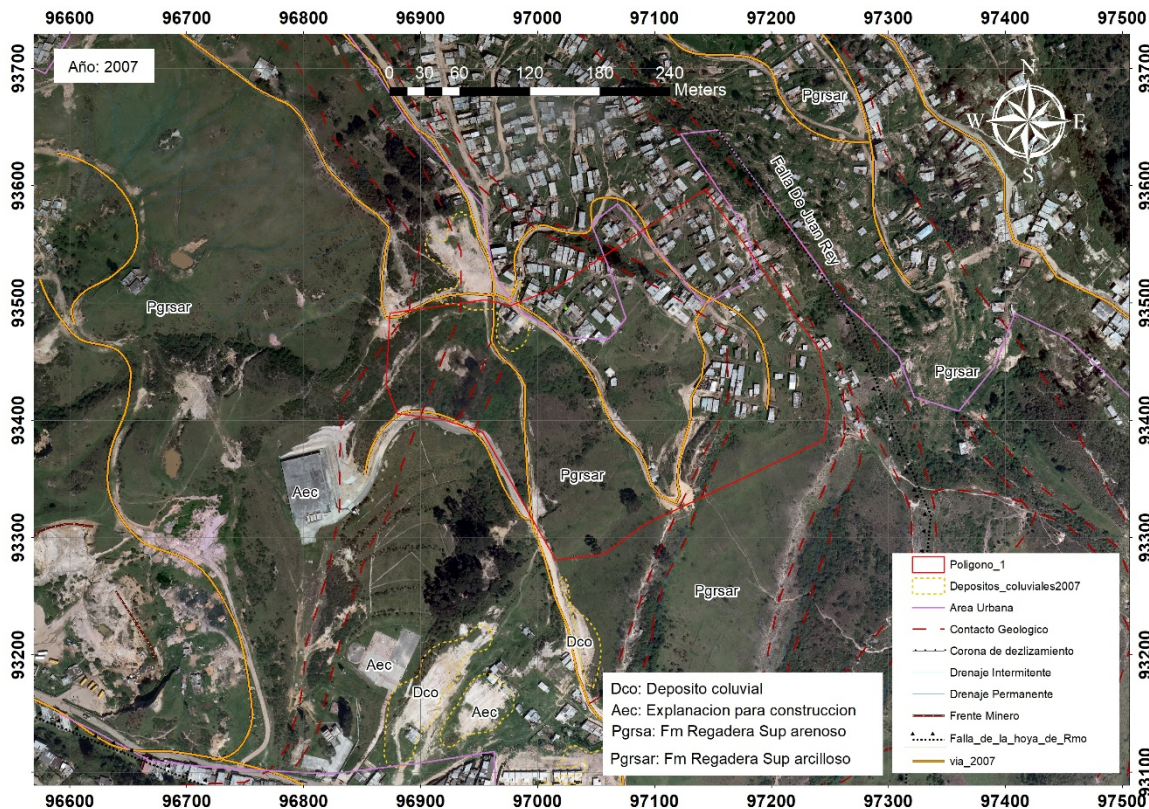
Fuente: Elaboración propia

3.5.1.5 Fotografía ortomosaico 2009

La ortofotografía, corresponde a un mosaico ráster ortorectificado del Distrito Capital capturada por el instituto geográfico Agustín Codazzi (igac) en el año 2007, en la cual podemos observar con respecto al año 2004 pocos cambios geomorfológicos, Principalmente se destaca la expansión urbana del barrio Diana Turbay que ahora recubre gran parte del polígono de estudio.

Es de relevancia la creación de una cantera pequeña de extracción de material arcilloso- arenoso en la parte inferior izquierda de la fotografía, con el cual junto al material de sobrante de excavación se ha modelado la morfología del área de estudio para explanar y reforzar labores de creación del mallado vial y zonas urbanizables.

Figura 42. Fotointerpretación 2007



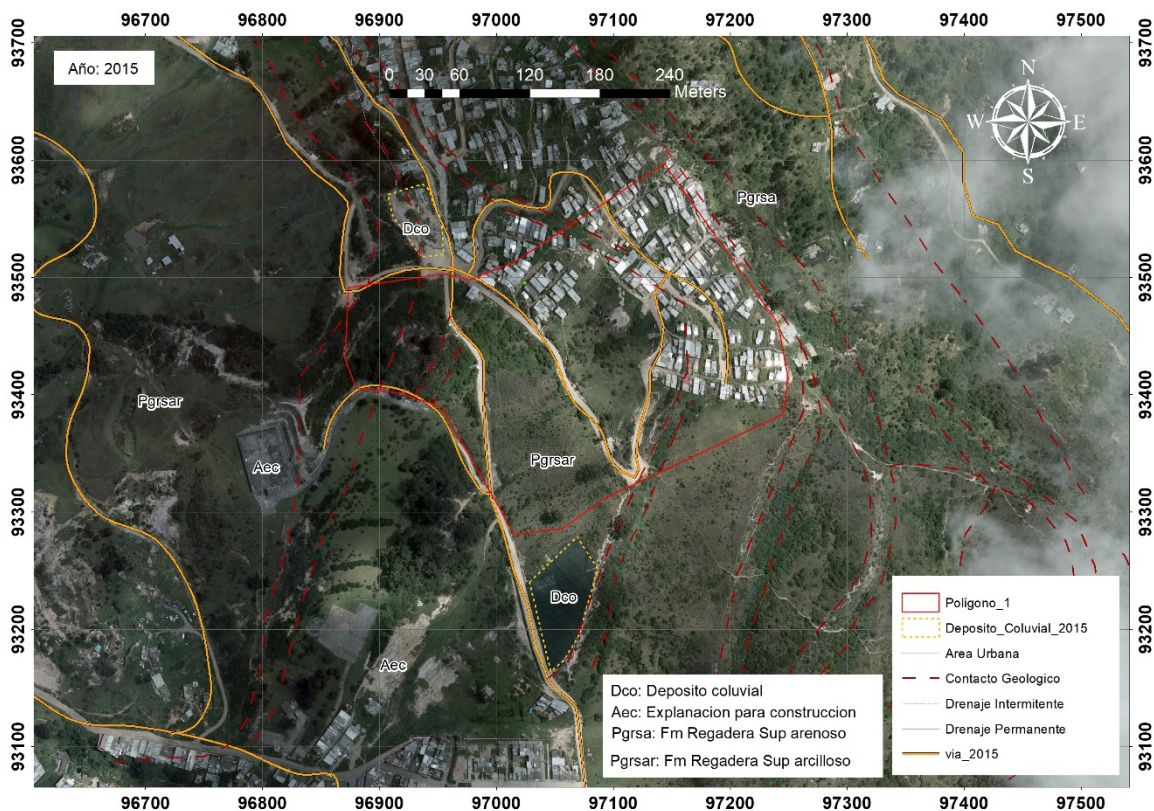
Fuente: Elaboración propia

3.5.1.6 Fotografía ortomosaico 762

La ortofotografía, corresponde a un mosaico ráster ortorectificado del Distrito Capital capturada por el instituto geográfico Agustín Codazzi (igac) en el año 2015, en la cual podemos observar con respecto al año 2007 no existen casi geomorfológicos, Principalmente porque el ambiente antropogénico domina el área de interés.

Se puede observar que los ZODME se han empezado a cubrir con vegetación, estabilizando los pocos movimientos en masa existentes y se observa la estabilización y reforestación de los depósitos coluviales observador en años anteriores a través del trazado vial.

Figura 43. Fotointerpretación 2015



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.7 Fotografía ortomosaico 5017

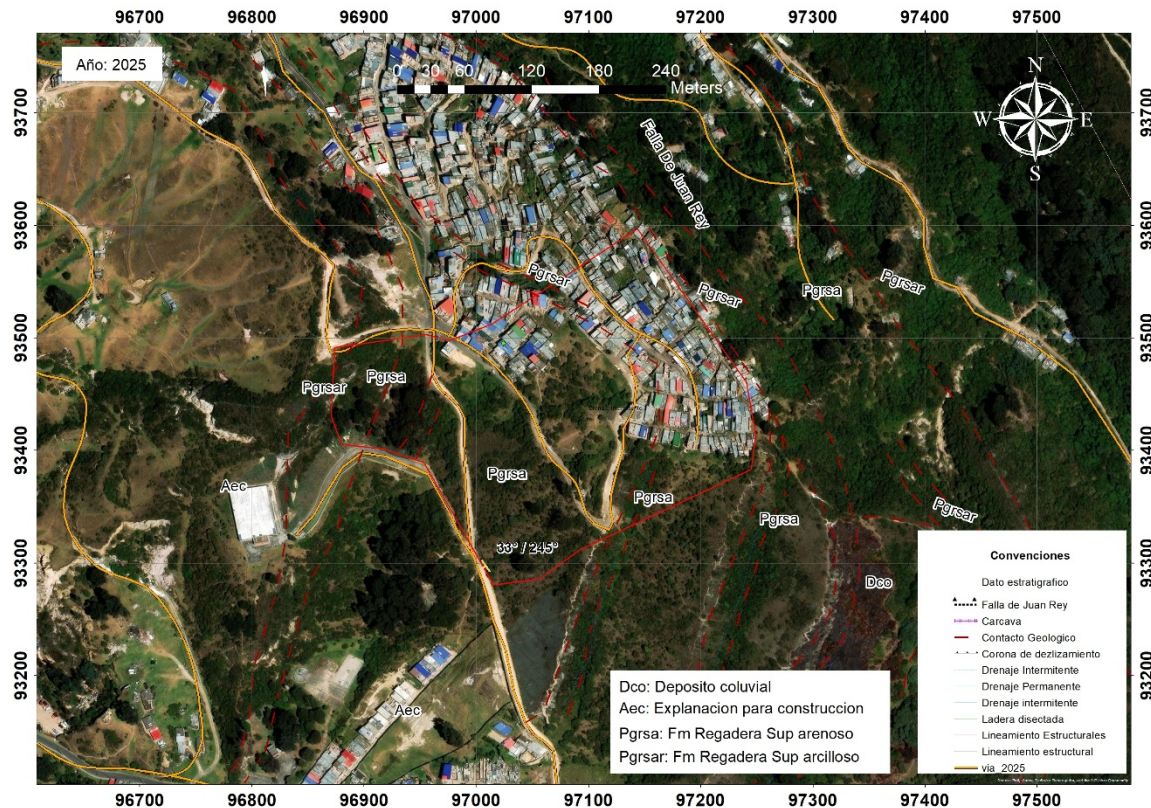
La ortofotografía, corresponde a un mosaico ráster ortorectificado del Distrito Capital capturada por Sentinel Copernicus en el año 2025, en la cual podemos observar con respecto al año 2015

no existen casi geomorfológicos. Se observa la poca expansión urbana que se desarrollado mejorando la red vial, y la estabilidad de los pocos taludes presentes en el área de estudio.

El rasgo geomorfológico más evidente, son las laderas disectadas, presentes sobre la ladera abrupta presente en el este del polígono de estudio, evidencia de la acción del agua escorrentía, que muestras futuros y posibles movimientos en masa por saturación y gravedad.

Por último, podemos observar un aumento en las zonas de explanación para construcción, con el fin de la expansión urbana del barrio Diana Turbay.

Figura 44. Fotointerpretación 2025



Fuente: Elaboración propia

3.5.2 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO

El mapa de pendientes elaborado bajo la clasificación de Carvajal (2012) evidencia que el área de estudio se encuentra dominada por pendientes en los rangos de muy abrupta (21° – 30°) y

escarpada (31° – 45°), representadas por las tonalidades naranja predominantes dentro del polígono. Esta condición es coherente con el control estructural identificado en el análisis geomorfológico, donde las unidades SIp y Sef ocupan la mayor parte del área y están asociadas precisamente a laderas de alta inclinación condicionadas por el buzamiento de los estratos de la Formación Regadera.

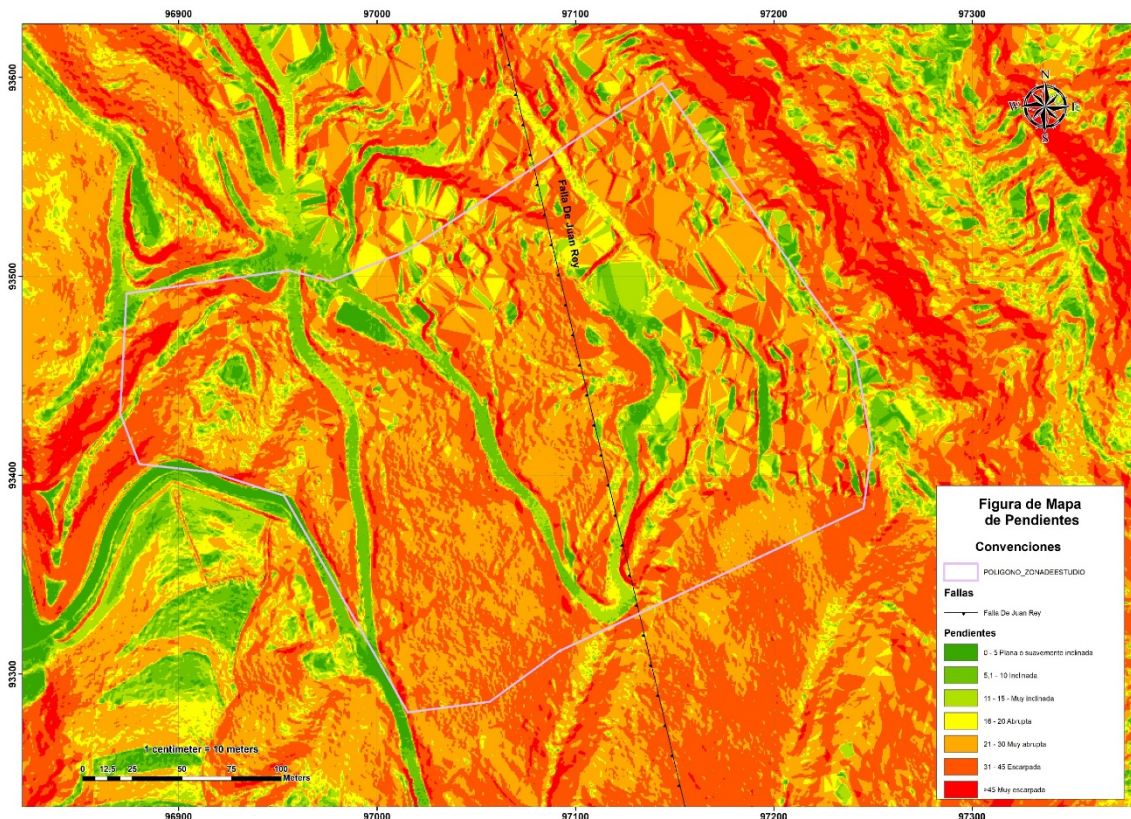
Las zonas de pendiente plana a inclinada (0° – 10°), representadas en verde, se restringen principalmente a vías y zonas de depositación.

Desde el punto de vista de los depósitos antrópicos, la situación es crítica. Las unidades Are, y el deslizamiento rotacional Ddr se emplazan sobre pendientes predominantemente en el rango de muy abrupta a escarpada (21° – 45°), lo que representa una condición de alta inestabilidad intrínseca. Los rellenos antrópicos (San) caracterizados por su baja cohesión, escasa compacidad y heterogeneidad, al ser dispuestos sobre laderas con estas inclinaciones quedan sometidos a esfuerzos gravitacionales que superan con frecuencia su resistencia al corte. Esta situación es grave en materiales como el Qst que no presentan resistencia al corte ya que no se encuentra ligado a la roca o suelo subyacente, condición que frente a esfuerzos gravitacionales puede generar puntos de falla localizado donde favorece la ocurrencia de deslizamientos.

El deslizamiento rotacional (Ddr) registrado en el sector central del polígono es una expresión directa de esta dinámica: material antrópico mal compactado, dispuesto sobre una ladera escarpada, con manejo deficiente de aguas de escorrentía, en un contexto donde la Falla de Juan Rey introduce además un factor de perturbación estructural adicional que puede afectar la resistencia de los materiales y favorecer la reactivación de procesos de inestabilidad.

En síntesis, las pendientes dominantes dentro del polígono no son compatibles con la disposición de rellenos antrópicos sin medidas de estabilización, y constituyen uno de los factores condicionantes más determinantes en la susceptibilidad del área a procesos de remoción en masa.

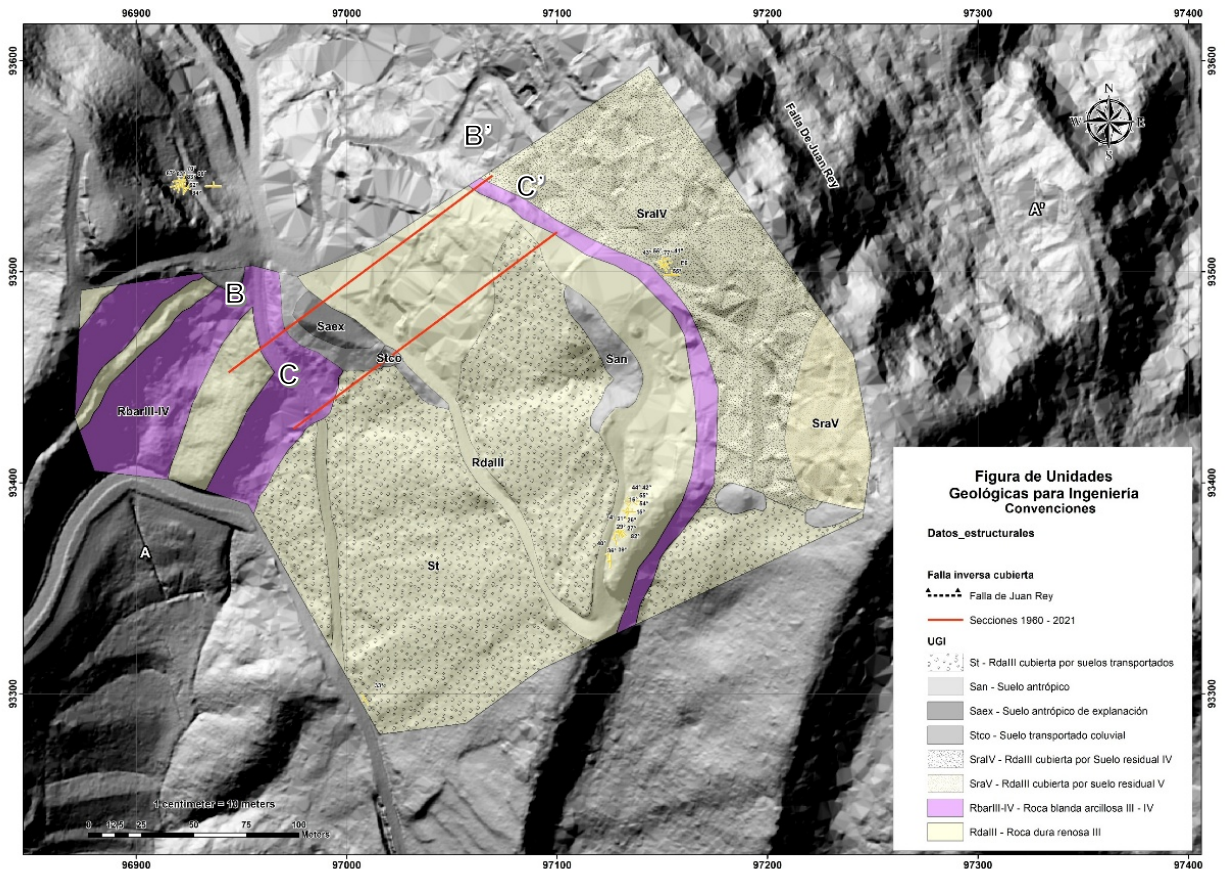
Figura 45. Mapa de pendientes



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 46 se presenta la ubicación de las secciones B-B' y C-C' las cuales se generaron para observar las variaciones morfométricas de dos sitios: 1) Zona de explanación, 2) Deslizamiento.

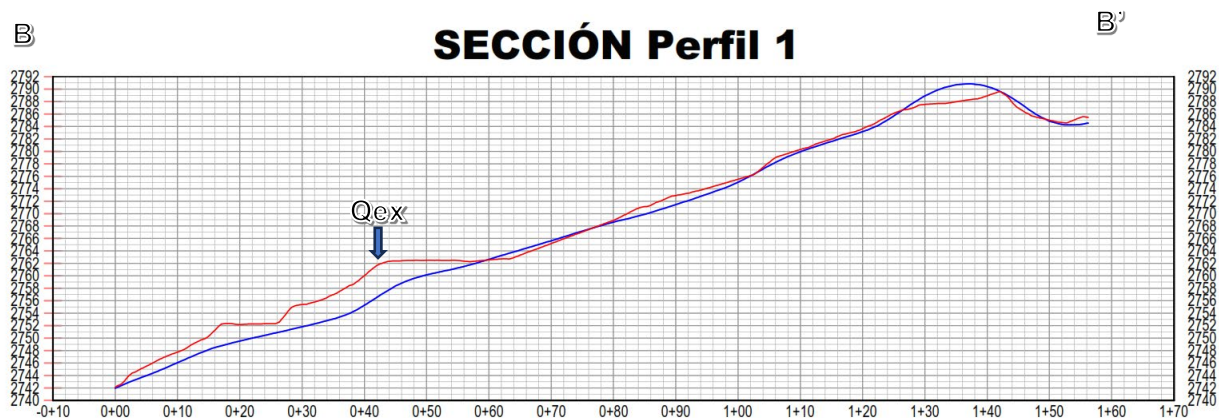
Figura 46. Mapa UGLs con ubicación secciones diferencias topográficas entre 1960 - 2021



Fuente: Elaboración propia

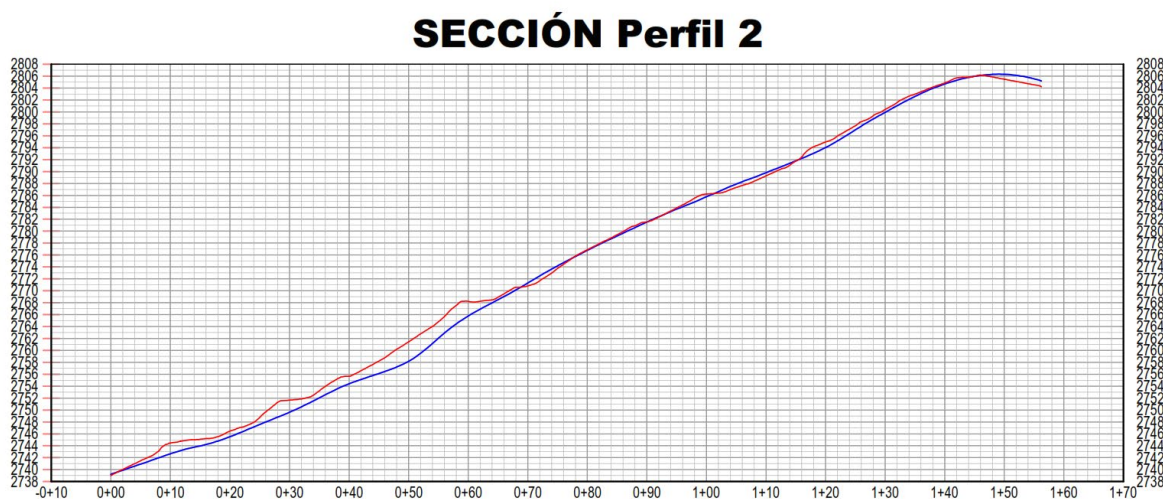
En la sección B-B' se presentan dos superficies, la de color azul representa la superficie de 1960 y la roja la superficie de 2021, en la parte alta a 2790 m hay una diferencia entre 1960 y 2021 lo que se interpreta como una zona donde retiraron material y explanaron debido al crecimiento urbano. En la zona baja desde los 2762 m se presenta una diferencia en donde agregaron material antrópico y lo explanaron, esto se visualiza dado que la línea roja queda varios metros por encima que la azul.

Figura 47. Sección B-B'



En la sección C-C', se identifica hacia la altura de 2768 m, un incremento del material hacia la ladera, posiblemente de rellenos antrópicos, es importante tener en cuenta que en la cartografía de 1960 las curvas de nivel están cada 5 m por lo que su escala no es tan detallada como la del 2021.

Figura 48. Sección C-C'



3.5.3 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

En el área de estudio se identificaron únicamente dos procesos los cuales se presentan en la estación 7 y 7-1

En la estación 7 se identificaron surcos en la vía, generados por el mal control de aguas escorrentías. Estos surcos se generan sobre un suelo antrópico.

Figura 49. Surcos generados por escorrentías



Fuente: Elaboración propia

3.5.3.1 PC 7-1 Deslizamiento rotacional sobre rellenos antrópicos

En esta estación se estableció un punto de control para monitorear el proceso morfodinámico principal que compromete la seguridad vial en el sector, ya que, si bien el contexto geológico está definido por rocas arenosas duras con un grado III de meteorización, la ladera ha sufrido una acumulación crítica de material antrópico a lo largo de los años. Por esta razón, el movimiento identificado se asocia principalmente a este material poco consolidado y heterogéneo que terminó cediendo al estar expuesto a detonantes externos como las lluvias intensas, y gravedad lo que explica la inestabilidad observada en este punto específico.

Figura 50. deslizamiento rotacional polígono 1



3.5.4 CARTOGRAFÍA GEOMORFOLOGÍA

El análisis geomorfológico del área de estudio se realizó a partir del levantamiento de detalle efectuado en el barrio San Martín, apoyado en la interpretación de modelos digitales de elevación e imágenes de alta resolución, complementados con la verificación en campo durante la visita del 16 de abril de 2026. Este análisis permitió identificar y delimitar las unidades geomorfológicas

presentes en el polígono 1, caracterizando su morfología, origen y dinámica. El área de estudio se enmarca en un contexto de ladera con fuerte control estructural, marcada intervención antrópica y presencia de procesos morfodinámicos activos, condiciones que inciden directamente en la estabilidad del terreno y en la configuración actual del paisaje. A continuación, se describen las unidades presentes.

Ladera en pendiente estructural (Slp): Constituye la unidad de mayor extensión dentro del polígono. Corresponde a laderas cuya morfología está controlada por la disposición estructural de los estratos, con buzamientos preferenciales hacia el oeste. Presentan pendientes abruptas a muy abruptas y se distribuyen tanto en el sector occidental como en la zona central y suroriental del área de estudio.

Escarpe y frente estructural (Sef): Se presentan de forma recurrente en el borde occidental del polígono, asociados a los frentes de los estratos de la Formación Regadera. Corresponden a geoformas de pendiente escarpada a subvertical, generadas por la diferencia de resistencia entre los materiales litológicos y el control estructural de la secuencia sedimentaria.

Relleno antrópico (Are): Unidad distribuida en varios sectores del polígono, tanto en la zona central como en el costado oriental. Corresponde a superficies modificadas por la acumulación de materiales de origen antrópico sobre las laderas naturales, asociados a actividades constructivas y de urbanización en el barrio San Martín.

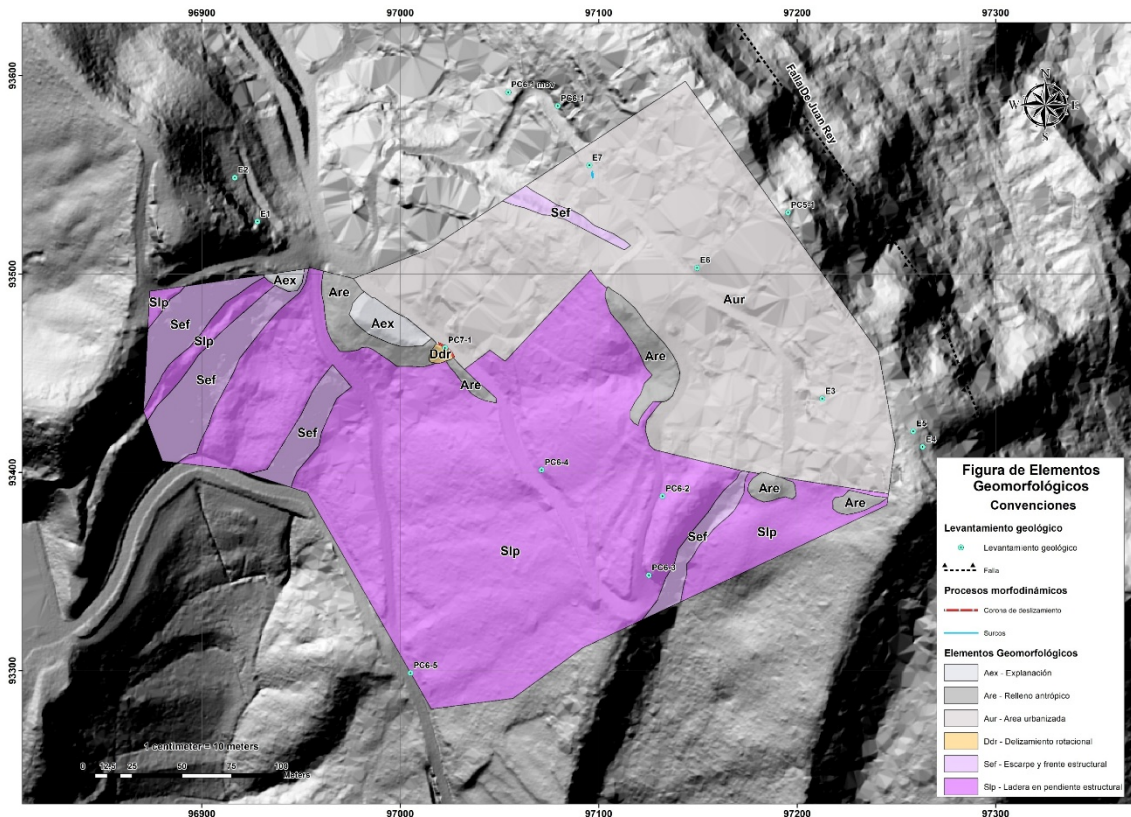
Explanación (Aex): Se identifica en el sector central del polígono. Corresponde a superficies intervenidas antrópicamente mediante corte y nivelación del terreno con fines urbanísticos, generando cambios abruptos en la morfología original de la ladera.

Área urbanizada (Aur): Se localiza principalmente en el sector nororiental del polígono. Representa las superficies consolidadas por infraestructura urbana, donde la morfología original ha sido transformada por la ocupación y el desarrollo constructivo.

Deslizamiento rotacional (Ddr): Se identifica en el sector central del polígono, asociado espacialmente a las zonas de relleno antrópico. Este proceso corresponde al movimiento de masa ocurrido sobre materiales antrópicos dispuestos en la ladera, cuya inestabilidad fue favorecida por la baja cohesión de los rellenos, el inadecuado manejo de aguas de escorrentía y la pendiente del terreno.

Adicionalmente, el polígono es atravesado por la Falla de Juan Rey, con trayectoria aproximada norte-sur, la cual constituye un elemento estructural de importancia en el control de la morfología local y en la susceptibilidad del terreno a procesos de inestabilidad

Figura 51. Figura de Elementos y Componentes Geomorfológicos.



Fuente: Elaboración propia

4 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

4.1 EVALUACIÓN SISMOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La evaluación sismológica tiene como propósito fundamental determinar la influencia de las condiciones geológicas y geotécnicas locales en la propagación de las ondas sísmicas, fenómeno conocido como efecto de sitio. Para el contrato IDIGER-294-2025, esta caracterización es esencial para el análisis de estabilidad de las laderas y el dimensionamiento de las obras de mitigación en el Polígono 1, localizados en las localidades de Usme.

El análisis contenido en este capítulo se fundamenta técnicamente en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y, de manera específica, en el Decreto 523 de 2010, por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. A través de este marco normativo, se establecen los parámetros de diseño sismorresistente que garantizan la integridad de las soluciones de ingeniería y las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) frente a la amenaza sísmica regional y local.

4.1.1 AMENAZA Y RESPUESTA SÍSMICA

La amenaza sísmica se define como la severidad y frecuencia de los sismos que pueden ocurrir en un sitio determinado, y en el caso colombiano está asociada principalmente a la convergencia de las placas de Nazca, Suramérica y Caribe, cuya interacción genera sismos corticales, de subducción e intraplaca con potencial destructivo significativo.

De acuerdo con la información más reciente, extraída del modelo nacional de amenaza sísmica, publicado por el Servicio Geológico Colombiano en el año 2020, para la ciudad de Bogotá se estima una aceleración pico en roca de 0,19 g para un periodo de retorno de 475 años, equivalente a una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años. Para otros periodos de retorno, los valores estimados son 0,13 g para 225 años, 0,27 g para 975 años y 0,40 g para 2.475 años. Estos valores ubican a Bogotá en una condición de amenaza sísmica relevante dentro del contexto nacional, superior a la de varias capitales del norte y del oriente del país, aunque inferior a la de ciudades localizadas en regiones de amenaza más alta, como Cali, Popayán, Pasto, Cúcuta o Villavicencio.

Es importante mencionar que los análisis de amenaza sísmica del modelo nacional, corresponden a roca firme, definida en el estudio mediante una velocidad promedio de onda de corte en los 30 m superficiales de $V_{s30} = 760$ m/s, y que no incluyen efectos de sitio. En consecuencia, los valores del modelo representan la amenaza regional de referencia y no sustituyen la evaluación de respuesta sísmica local, la microzonificación sísmica ni los estudios específicos de sitio requeridos para diseño geotécnico y estructural (no reemplazan los coeficientes sísmicos de diseño establecidos en reglamentos sismorresistentes, ni los resultados de estudios particulares de infraestructura).

En el año 2010, el antiguo FOPAE (ahora IDIGER) realizó el estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá, en el cual se adoptó, interpretó y transformó la amenaza sísmica regional en demanda sísmica local de diseño para la ciudad, incorporando los efectos de sitio asociados a la geología, la geotecnia y la dinámica del subsuelo bogotano.

La amenaza sísmica regional define la intensidad probable del movimiento sísmico de referencia; la respuesta sísmica local define cómo esa excitación se amplifica, atenúa o desplaza espectralmente según el espesor del depósito, el tipo de suelo, la profundidad del basamento rocoso, los períodos fundamentales y los efectos topográficos. Como resultado del estudio de microzonificación sísmica del año 2010, la ciudad de Bogotá se dividió o zonificó en sectores con respuesta sísmica local homogéneo.

4.1.2 INFORME - ZONIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE BOGOTÁ PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES

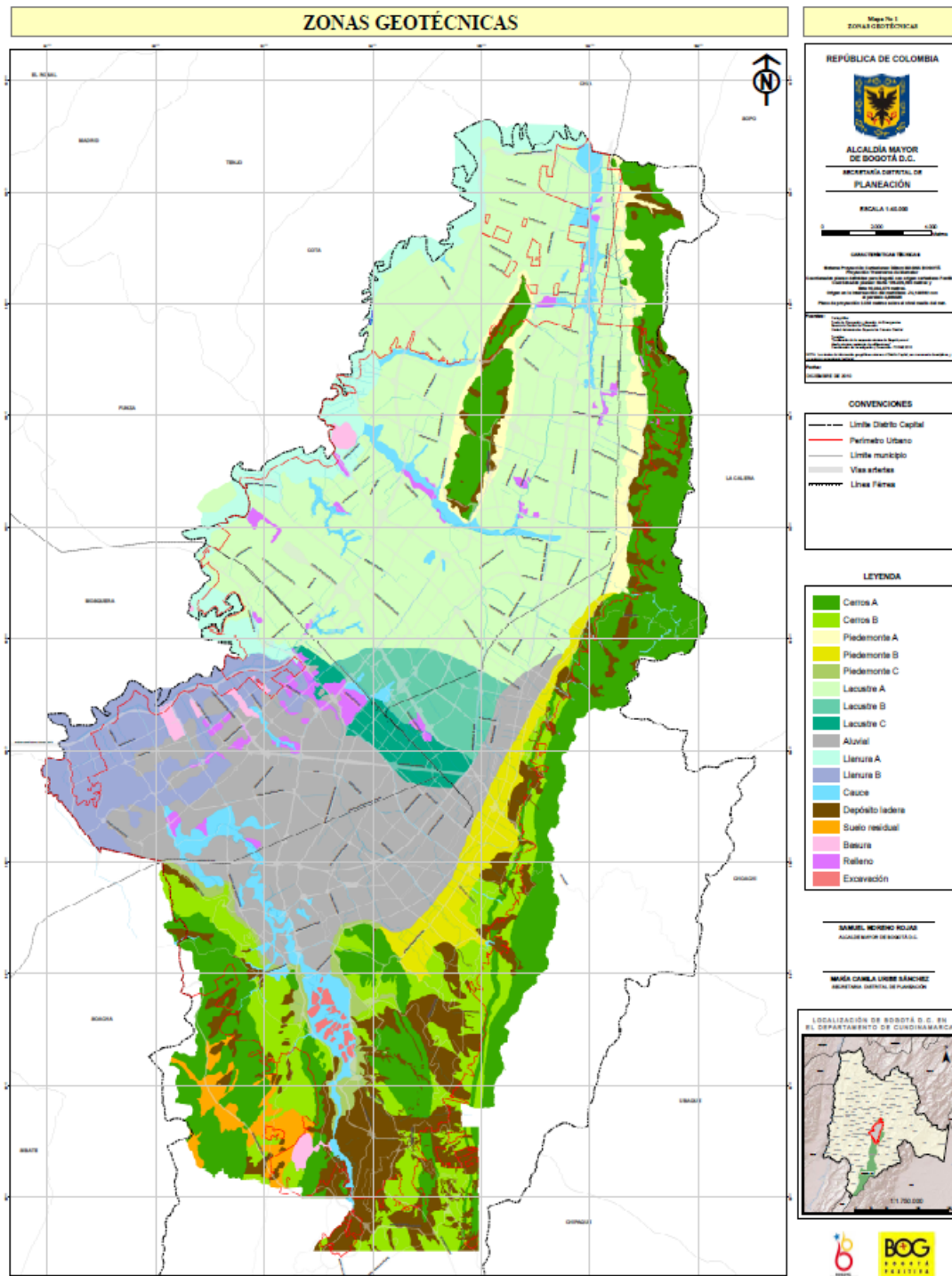
En este documento se presenta el proceso de análisis, las fuentes de información primaria y secundaria, los convenios Inter administrativos firmados para el desarrollo del estudio de Microzonificación sísmica, la información relevante sobre la amenaza sísmica y las señales de diseño compatibles con la amenaza, la formulación del modelo geotécnico de análisis de respuesta sísmica (zonificación geotécnica), el análisis y determinación de propiedades dinámicas, la información sobre los análisis de calibración de los modelos de respuesta, los resultados de los análisis unidimensionales y bidimensionales de respuesta sísmica de la ciudad (relaciones espectrales promedio, zonificación para respuesta sísmica, espectros y recomendaciones para diseño - NSR10) y la comparación con los resultados del estudio de

Microzonificación del año 1997 (INGEOMINAS, 1997), así como las conclusiones y recomendaciones resultantes de todo el proceso de análisis. A continuación, se presentan los aspectos más relevantes extraídos de este documento y empleados para la caracterización sísmológica de los polígonos de estudio:

4.1.2.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

A partir de la integración y cruce temático de diferentes factores de análisis como la morfometría del terreno (modelo digital del terreno), los planos geológicos y geomorfológicos (litología y proceso de formación) de la ciudad de Bogotá, el modelo de isopropundidades al basamento rocoso y la caracterización geotécnica de los materiales detectados, se construyó una zonificación geotécnica de la ciudad de Bogotá. Como resultado se dividió la ciudad en 17 zonas de comportamiento geotécnico homogéneo, tal y como se ilustra en la Figura 52. Este plano es empleado para la caracterización de la zona de estudio.

Figura 52 Zonificación geotécnica de la ciudad de Bogotá - Decreto 523 de 2010.



(Fuente: Extraído del Decreto 523 de 2010)

A partir del análisis de la cartografía de zonificación geotécnica establecida para el Distrito Capital, se determinó que el Polígono 1 (Figura 53 y Tabla 9) se encuentra localizado de manera predominante sobre la unidad geotécnica denominada **"Cerros A"**. Esta unidad corresponde a sectores de ladera asociados a los cerros surorientales de la ciudad, caracterizados geomorfológicamente por presentar alta pendiente.

Desde el punto de vista de su composición, la unidad Cerros A está conformada por formaciones de areniscas duras y suelos residuales derivados de los procesos de meteorización de la roca parental. El comportamiento geotécnico general de estos materiales indica que se trata de rocas competentes y resistentes a la meteorización; sin embargo, presentan susceptibilidad a problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando el macizo se encuentra fracturado o presenta intercalaciones de arcillolitas blandas. Adicionalmente, se observó que estas condiciones geotécnicas son sensibles a las variaciones en el contenido de humedad del suelo.

De manera complementaria, en los sectores adyacentes al polígono de intervención se identificó la presencia de áreas clasificadas como **Depósitos de ladera**. Estos depósitos están constituidos por acumulaciones de materiales coluviales que han sido transportados gravitacionalmente desde las cotas superiores del relieve. Se determinó que dichas formaciones exhiben una composición heterogénea y un bajo grado de consolidación. Estas características les confieren una mayor propensión a la ocurrencia de procesos erosivos y movimientos en masa, los cuales pueden verse exacerbados ante intervenciones antrópicas o alteraciones en el sistema natural de drenaje superficial.

Figura 53 Zonificación Geotécnica - Polígono 1



(Fuente: Elaboración propia a partir de Decreto 523 de 2010)

Tabla 9 Características de las unidades Geotécnicas - Polígono 1

UNIDAD GEOTÉCNICA	COMPOSICIÓN PRINCIPAL	COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO GENERAL
Cerros A	Areniscas duras con intercalaciones de arcillolitas blandas y suelos residuales.	Rocas competentes y resistentes a la meteorización. Se identificaron potenciales problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, condicionados por el grado de fracturamiento del macizo.

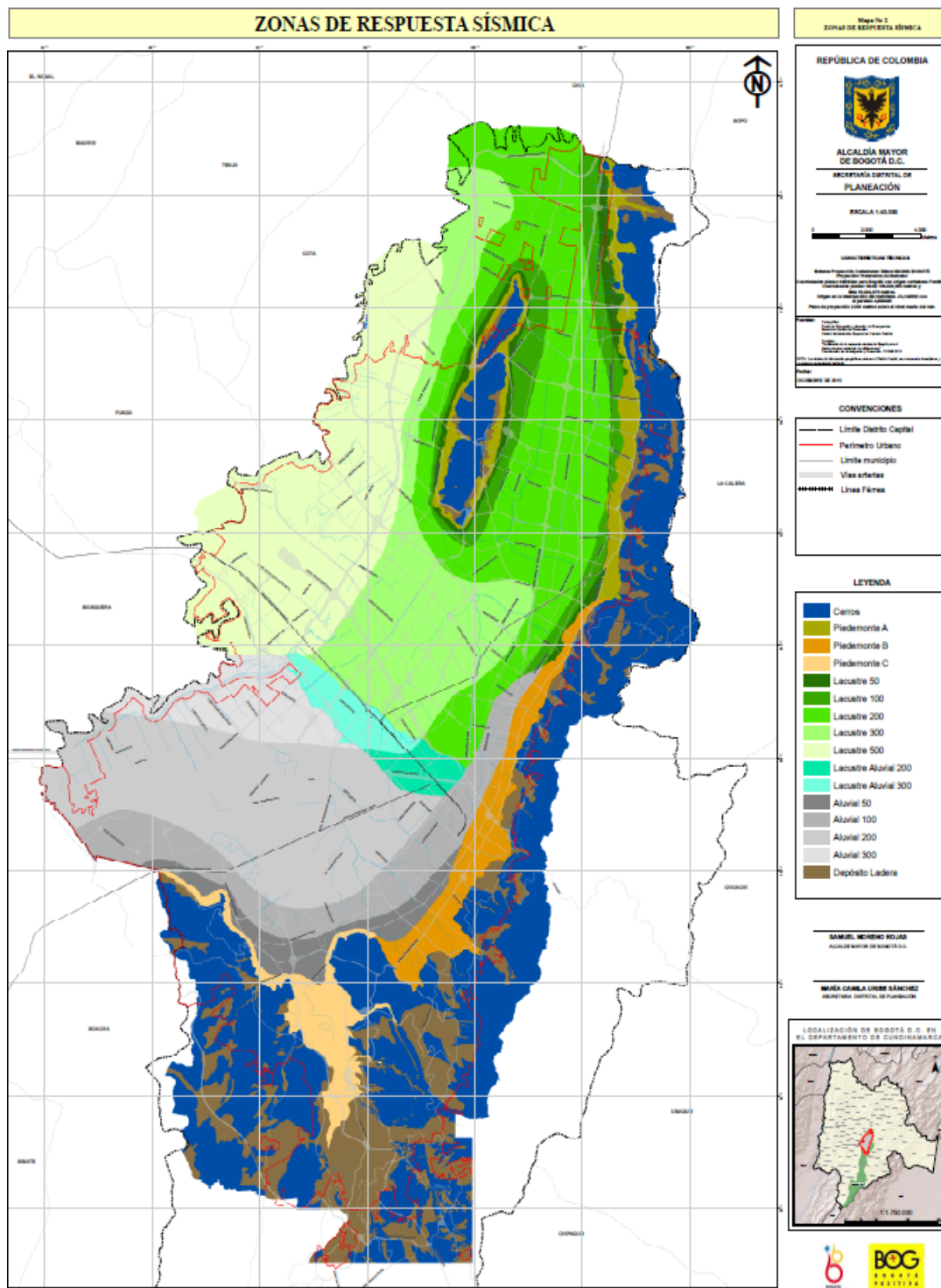
UNIDAD GEOTÉCNICA	COMPOSICIÓN PRINCIPAL	COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO GENERAL
Depósito de Ladera	Gravas areno-arcillosas compactas de origen coluvial.	Suelos de composición heterogénea con mediana capacidad portante. Se determinó una susceptibilidad intrínseca a problemas de estabilidad de taludes debido a su menor grado de consolidación.

(Fuente: Elaboración propia a partir de Decreto 523 de 2010)

4.1.2.2 ZONIFICACIÓN DE RESPUESTA SÍSMICA

Una vez establecida la zonificación geotécnica de la ciudad, se procedió a la construcción de diversos modelos unidimensionales y bidimensionales de respuesta sísmica, representativos para todas las zonas de comportamiento homogéneo que cubren el Distrito Capital. Estos modelos fueron calibrados con registros de aceleración en roca y en superficie capturados por la Red de Acelerógrafos de Bogotá (RAB), permitiendo la ejecución de múltiples modelaciones dinámicas. Mediante el análisis y la comparación de estos resultados, se estableció la zonificación de Bogotá en términos de respuesta sísmica. Finalmente, a través de la integración de la zonificación geotécnica con los modelos de respuesta sísmica, se definió la zonificación oficial de la ciudad, conformada por 16 zonas de respuesta sísmica de acuerdo con lo estipulado en el Decreto 523 de 2010 (Figura 54). Esta cartografía constituye el insumo fundamental para la caracterización sismológica de los polígonos de estudio y la posterior determinación de los espectros de diseño.

Figura 54 Zonificación de respuesta sísmica de la ciudad de Bogotá - Decreto 523 de 2010.



(Fuente: Extraído del Decreto 523 de 2010)

De acuerdo con la Microzonificación Sísmica de Bogotá (Decreto 523 de 2010), el Polígono 1 se localiza predominantemente dentro de la zona de respuesta sísmica denominada **Cerros**. Esta unidad geomorfológica corresponde a los sectores de ladera asociados al sistema montañoso del borde suroriental de Bogotá. Desde el punto de vista geotécnico, estas zonas se caracterizan por estar conformadas de manera principal por suelos residuales y materiales derivados de la meteorización de formaciones rocosas locales, los cuales se encuentran generalmente ubicados sobre laderas de pendientes moderadas a fuertes. El comportamiento dinámico en esta unidad frente a la propagación de ondas sísmicas está condicionado fundamentalmente por la rigidez relativa del terreno.

De manera complementaria, en las áreas circunvecinas al polígono de estudio se identifican sectores clasificados normativamente como **Depósitos de ladera**. Estos sectores corresponden a acumulaciones de materiales coluviales que han sido transportados de forma gravitacional desde las cotas superiores del relieve. Dichos depósitos suelen presentar una mayor heterogeneidad en su matriz y un menor grado de consolidación relativa, condición física que puede generar variaciones significativas en la amplificación de las ondas sísmicas y modificar la respuesta dinámica del suelo ante la ocurrencia de un evento sísmico.

4.2 INVENTARIO DETALLADO Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En este capítulo se presenta el resultado de la recopilación, procesamiento y análisis de información secundaria, relevante para la caracterización geotécnica del área de estudio. En esta etapa se avanzó en dos frentes de trabajo, el primero orientado a la caracterización física y geomecánica de las unidades geológicas superficiales identificadas en el área de estudio, por medio de la construcción de una base de datos. El segundo frente de trabajado avanzó en la revisión de la base de datos de movimientos en masa (Sectores propensos a movimientos en masa) del SIRE (Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y Cambio Climático), identificando los sitios localizados al interior de los polígonos 1, 2 y 3, extrayendo las fichas técnicas de caracterización, de cada evento reportado.

4.2.1 BASE DE DATOS DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Con el objetivo de realizar una caracterización robusta de las unidades geológicas identificadas en los polígonos 1,2 y 3, se realizó el procesamiento y análisis de múltiples tablas de resúmenes de ensayos de laboratorio, de los cuales se han extraído a la fecha, aproximadamente 2000 registros de datos (cada registro corresponde a un punto de toma de muestras, con respectivos resultados de caracterización física y mecánica). Para la extracción de los registros y la construcción de la base de datos, se empleó un código de programación desarrollado por esta consultoría en lenguaje Python, que corre en Google Colab (servicio gratuito en la nube de Google basado en Jupyter Notebooks). A continuación, en la Tabla 11 se presenta el listado maestro de revisión de proyectos, en el cual se consigna la información más relevante de cada uno de los proyectos que ha sido consultado, para la construcción de la base de datos de caracterización geotécnica de unidades geológicas superficiales.

Tabla 11 Listado maestro de proyectos incorporados en la base de datos de caracterización geotécnica.

ID	POL	CONSULTOR	AÑO	GRUPO	LOCALIDAD	GEOLOGÍA / GEOMORFOLOGÍA
1674	3	INGEOCIM	1998	SBN	Chapinero-Usaquén	Formación Sabana, material limo
1680	3	INGEOCIM	1998	SBN	Chapinero-Usaquén	Formación Sabana, material limo
1682	3	INGEOCIM	1998	SBN	Chapinero-Usaquén	Formación Sabana, material limo
1684	3	INGEOCIM	1998	SBN	Chapinero-Usaquén	Formación Sabana, material limo
1709	3	INGEOCIM	1998	SBN	Usaquén	Depósito coluvial con arcilla
1709	3	INGEOCIM	1998	SBN	Usaquén	Depósito coluvial con arcilla
1710	3	INGEOCIM	1998	SBN	Usaquén	Depósito coluvial con arena

ID	POL	CONSULTOR	AÑO	GRUPO	LOCALIDAD	GEOLOGÍA / GEOMORFOLOGÍA
1710	3	INGEOCIM	1998	SBN	Usaquén	Depósito coluvial con arena
1712	3	INGEOCIM	1998	SBN	Usaquén	Depósito coluvial con arcilla
1715	3	INGEOCIM	1998	SBN	Usaquén	Arenisca labor
1788	1	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Regadera, conjunto superior
1792	1	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Regadera, conjunto superior
1900	2	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Río Tunjuelo
1901	2	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Río Tunjuelo
1919	2	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Regadera, conjunto superior
1920	1	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Río Siecha
1922	1	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Regadera, conjunto superior
1927	2	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Depósitos coluviales
1928	2	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Río Siecha
1929	2	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Río Siecha
1939	2	CIAMBIENTAL	2022	SBN	Usme	Formación Tilatá

Fuente: Consorcio Adaptación 2026

4.2.2 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

El inventario de procesos morfodinámicos es el camino más directo para conocer la distribución real de los procesos de inestabilidad y constituye una herramienta de calibración para modelos de amenaza. Su utilidad técnica se resume en cuatro aspectos:

- Permite conocer la distribución espacial real de los movimientos en masa.
- Aporta información útil para identificar y delimitar zonas que actualmente presentan amenaza alta por movimientos en masa.
- Permite reconocer la relación entre inestabilidad, litología, geomorfología, lluvia e intervención antrópica;
- Sirve como insumo de calibración para mapas de evaluación de amenaza por movimientos en masa, generados mediante modelos directos e indirectos.

Por su utilidad y relevancia, el inventario de movimientos en masa es considerado una actividad obligatoria, en las etapas tempranas de estudios de zonificación de amenaza por movimientos en masa.

A continuación, se describen las fuentes de información secundarias consultadas para la construcción del inventario de movimientos en masa, que se encuentra construyendo el

Consorcio Adaptación, para el presente estudio.

4.2.2.1 ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Este análisis técnico se fundamenta en la integración de estudios históricos, como los desarrollados por la firma INGEOCIM Ltda. en 1998 para la UPES (actual IDIGER) a escala 1:5.000, y el monitoreo detallado de sectores críticos realizado bajo el contrato IDIGER-294-2025. Para las localidades de Usme y Usaqué, los estudios identifican condiciones de vulnerabilidad diferenciadas, donde la configuración geológica de los Cerros Orientales y del Sur interactúa de manera directa con procesos de ocupación antrópica.

Localidad de Usme: Interacción Hidro-Geotécnica en el Borde Sur

En la localidad de Usme, específicamente en los sectores de La Fiscala y Danubio Azul, el monitoreo técnico identifica una condición de riesgo crítica asociada a la microcuenca de la Quebrada Hoya del Ramo. A diferencia de otras zonas de la ciudad, los procesos inventariados en el Sitio 5-020 revelan una prevalencia de movimientos en masa tipo caída de suelo por erosión y deslizamientos complejos que afectan materiales arcillosos altamente saturados y de mediana plasticidad.

Desde el punto de vista geomorfológico, en esta zona predominan laderas naturales con pendientes montañosas de aproximadamente 40°. El informe técnico atribuye la inestabilidad en sectores como Panorama a una fuerte interacción entre la litología residual y la erosión hídrica superficial. Se destacan como factores contribuyentes la ausencia de obras de drenaje definitivas, la descarga de aguas servidas y la intervención de rondas hídricas, lo que ha generado escarpes verticales y agrietamientos con aberturas de hasta 10 cm. Esta lectura es fundamental, pues orienta las medidas de mitigación hacia el reasentamiento de familias en riesgo alto y el control de inundaciones por avenidas torrenciales.

Localidad de Usaqué: Dinámica de Laderas Escarpadas y Avenidas Torrenciales

Para la localidad de Usaqué, los estudios de zonificación en sectores como Camino del Meta y Vereda Páramo (Sitios 1-020 y 1-018) identifican una respuesta dinámica de alta energía. El inventario registra procesos de flujo de detritos y deslizamientos rotacionales activos con distribución en retrogresión, condicionados por la formación geológica Arenisca Labor Tierna.

En Usaqué, la relación entre la magnitud de los eventos y la morfometría del terreno es severa; se han cartografiado áreas de afectación de hasta 50.000 m² en laderas con pendientes escarpadas que superan los 50° e incluso alcanzan los 80° en zonas de falla. El informe vincula estos fenómenos con la saturación del suelo en la parte alta de las cuencas y la insuficiencia de medidas de conducción de aguas de escorrentía. Al igual que en el modelo de Ciudad Bolívar, la acción antrópica es un factor detonante mediante el acopio de basuras y escombros en los cauces de las quebradas Puente Piedra y Chorrera, lo que exacerba la socavación lateral y compromete infraestructura educativa y vial.

De este informe se está extrayendo y digitalizando información valiosa del inventario de procesos morfodinámicos, el cual constituye un antecedente preciso y contundente, para la caracterización de los polígonos 1, 2 y 3.

4.2.2.2 REVISIÓN DE SECTORES PROPENSOS A MOVIMIENTOS EN MASA (REVISIÓN SIRE)

El IDIGER ha identificado históricamente 274 sectores propensos a movimientos, los cuales corresponden a lugares con condiciones recurrentes de eventos, que son objeto de visitas de inspección periódica por parte de sus funcionarios y de igual manera dentro las labores de los Consejos Locales de Gestión de Riesgos y Cambio Climático.

Con el objetivo de identificar posibles eventos que se hayan presentado después del año 1998, para incorporarlos en el inventario de procesos, se consultó el *“Aplicativo del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático - IDIGER, para la consulta de las fichas técnicas realizadas en los sitios identificados como propensos por Movimientos en Masa.”*

En la Tabla 13 se presenta la base de datos que consolida los reportes de eventos que se han presentado al interior de los polígonos 1 (Figura 56)

Figura 57 Localización de sectores propensos a movimientos en masa según la base de datos del SIRE (terreno) – Polígonos 1



Fuente: Consorcio Adaptación 2026

Tabla 12 Convenciones de obras

CL	CONCRETO LAZADO
A	ANCLAJES
P	PERNOS
R	RENATURALIZACIÓN
MA	MANEJO DE AGUAS
B	BIOINGENIERÍA
Re	RECONFORMACIÓN
G	GAVIONES
MC	MUROS DE CONCRETO
MR	MALLAS DE RETENCIÓN
PA	PANTALLAS ANCLADAS
GM	GEOMALLAS
MP	MURO EN PIEDRA PEGADA PARA MANEJOS DE AGUAS SUPERFICIALES
SS	SACO SUELOS
TRM	TRINCHOS DE MADERA
D	Diques

A continuación, se presenta un breve resumen del estudio en mención.

Tabla 13 Sectores propensos a movimientos en masa según la base de datos del SIRE – Polígonos 1, 2 y

3

IDENTIFICACIÓN					COORDENADAS		FECHA VISITA/REPORTE	GEOLOGIA	EROSIÓN	ANGULO TALUD°	MOV. MASA			OBRAS
ID	POL	ARCHIVO	PTO	SIRE	ESTE	NORTE		MATERIAL			TIPO MM	ESTADO	DISTRIBUCIÓN	
1	1	18-033 (1)	1	18-033	74°06'12"W	4°32'13"N	3/05/2025	Suelo	Laminar	87	Caída de suelo	Activo	Avanzado	MR
2	1	18-034 (3 al 8)	5	18-034	74°06'16"W	4°32'14"N	11/10/2024	Suelo	Laminar	70	Caída de suelo	Activo	Avanzado - Retrogresión	Sin obras
3	2	5-020 (3)	1	5-020	74°06'42"W	4°32'05"N	9/05/2022	Suelo-Residual	Laminar	40	Caída de suelo	Inactivo	Avanzado	Sin obras
4	2	5-020 (4)	2	5-020	74°06'45"W	4°32'09"N	18/05/2023	Suelo-Residual	Laminar	40	Caída de suelo	Inactivo	Avanzado	SS
5	3	1-020 (1) al (4)	1	1-020	74°0'36.79"W	4°40'15.35"N	7/07/2023	Suelo-Residual	Laminar-Socavación	80	Flujo de detritos	Activo	Avanzado	G, TRM, SS
6	3	1-021 (1) al (4)	1	1-021	74°01'11"W	4°41'11"N	7/07/2023	Suelo-Transportado	Cárcavas-Socavación	70	Flujo de detritos	Activo	Avanzado	G,CL, MA
7	3	1-022 (1) al (4)	1	1-022	74°1'29.18"W	4°41'11.29"N	7/07/2023	Suelo-Transportado	Cárcavas-Socavación	70	Flujo de detritos	Activo	Avanzado	Re, D
8	3	1-022 (1) al (4)	2	1-022	74°1'32.45"W	4°41'10.32"N	7/07/2023	Suelo-Transportado	Cárcavas-Socavación	70	Flujo de detritos	Activo	Avanzado	Re, D

Fuente: Adaptado de la base de datos del SIRE

4.3 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

4.3.1 EXPLORACIÓN DIRECTA -SONDEOS

Para determinar las características y propiedades mecánicas del suelo en el sitio del proyecto, se realizaron actividades de exploración del subsuelo que consistieron principalmente en la ejecución de perforaciones ejecutando el ensayo de campo (SPT), extracción de muestras alteradas para realizar ensayos de laboratorio.

Se realizaron tres (3) sondeos con profundidades de 7.8 a 9.0 m, se recuperaron muestras alteradas en tubos de cuchara partida, las cuales se utilizaron para ensayos de caracterización. En la Tabla 14 se muestra la relación de las cantidades de perforación.

Tabla 14. Relación de cantidad de perforación CTM12

Perforación	Profundidad (m)	Coordinada X	Coordinada Y
S1	9.00	4877547.343	2059429.996
S2	7.80	4877503.883	2059415.020
S3	8.4	4877639.421	2059406.832

Figura 58. Localización sondeos



4.3.2 NIVEL FREÁTICO

Durante la ejecución de la perforación se registró la profundidad del nivel freático. Los resultados obtenidos indican la presencia de un nivel freático y variable en el área de estudio, con profundidades medidas que oscilan aproximadamente entre *0.70 m* y *3.30 m* respecto a la superficie del terreno natural.

Tabla 15. Profundidad nivel freático

Perforación	Profundidad (m)	Nivel freático
S1	9.00	3.30
S2	7.80	0.70
S3	8.40	1.0

En la Figura 59 se presenta los materiales encontrados en las perforaciones realizadas en el polígono. De manera general se presenta un perfil de suelo con una capa de relleno antrópico con raíces de 2.0 m de espesor (M1) seguido se encuentra un material conformado por arenisca (M2).

Figura 59. Columnas sondeos

PROFUNDIDAD		S1	S2	S3
INICIAL	FINAL			
0	0.9	Relleno	Relleno	Relleno
0.9	1.7			Arenisca
1.7	2			
2	3			
3	4			
4	5			
5	6			
6	7			
7	7.8			
7.8	8.4			
8.4	9			

4.3.3 EXPLORACIÓN INDIRECTA

En el área de estudio del polígono 1 se realizaron un total de una (1) tomografía de resistividad eléctrica y una (1) línea sísmica de refracción, con el propósito de caracterizar las condiciones del subsuelo mediante métodos geofísicos. La ubicación de los ensayos se presenta en la siguiente ilustración.

Figura 60. localización de tomografías de resistividad eléctrica polígono 1



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Ubicación y longitud Ensayos tomografía de resistividad polígono 1

Ensayo	Coordenada X-INICIO	Coordenada Y-INICIO	Coordenada X-FIN	Coordenada Y-FIN	Longitud
TM-1	4877505,125	2059299,273	4877471,402	2059444,335	153

Fuente: Elaboración propia Coordenadas en CTM12

Tabla 17. localización de ensayos de línea sísmica de refracción polígono 1



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Ubicación y longitud Ensayos de líneas sísmicas de refracción polígono 1

Ensayo	Coordenada X- INICIO	Coordenada Y-INICIO	Coordenada X-FIN	Coordenada Y-FIN	Longitud
LSR-1	4877562,806	2059414,408	4877515,548	2059459,945	66

Fuente: Elaboración propia Coordenadas en CTM12

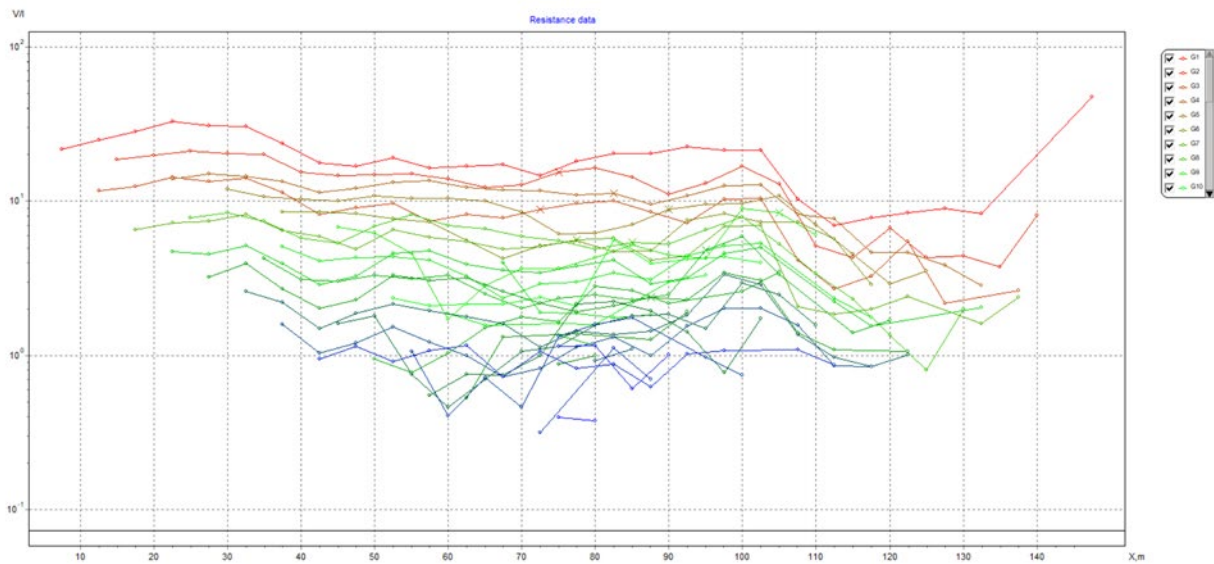
4.3.3.1 Tomografía eléctrica 1

A continuación, se presentarán los gráficos y modelos de datos crudos, procesados e interpretados de los ensayos de exploración indirecta.

En la Figura 61 se presenta una gráfica donde se relaciona los datos adquiridos en campo (resistividades aparentes), su posición sobre la línea del ensayo y concordancia con los demás datos, donde se identifican algunos datos que se salen de la armonía de los datos en grupo, por

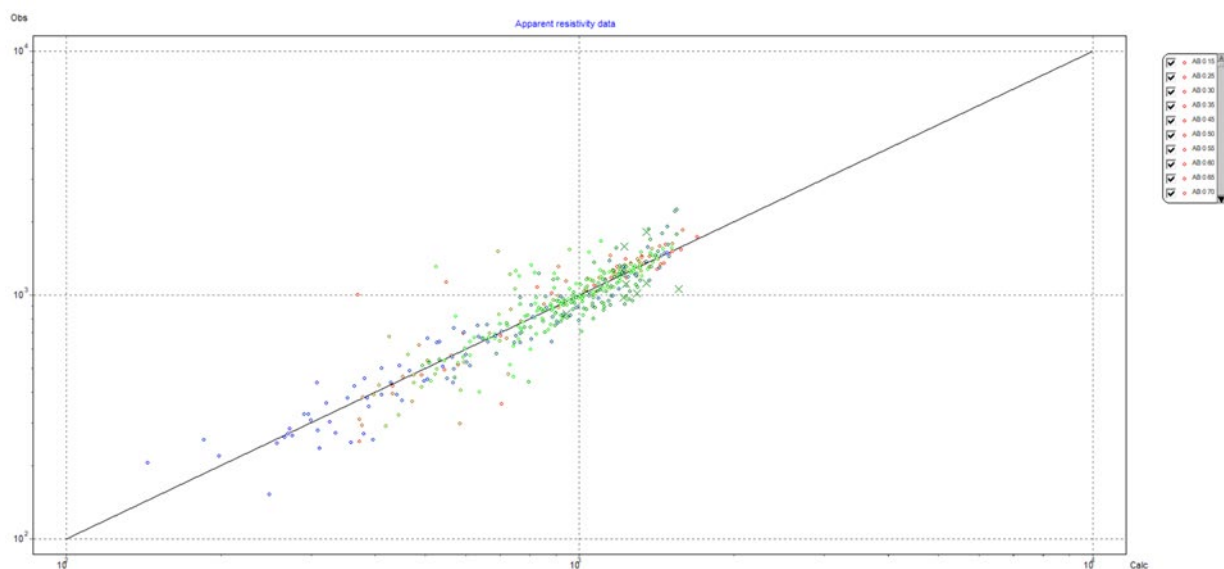
lo que se eliminaron.

Figura 61. Gráfica de relación de Rho aparente (resistividad aparente) Vs Distancia. Grafica de datos adquiridos posteriormente filtrados.



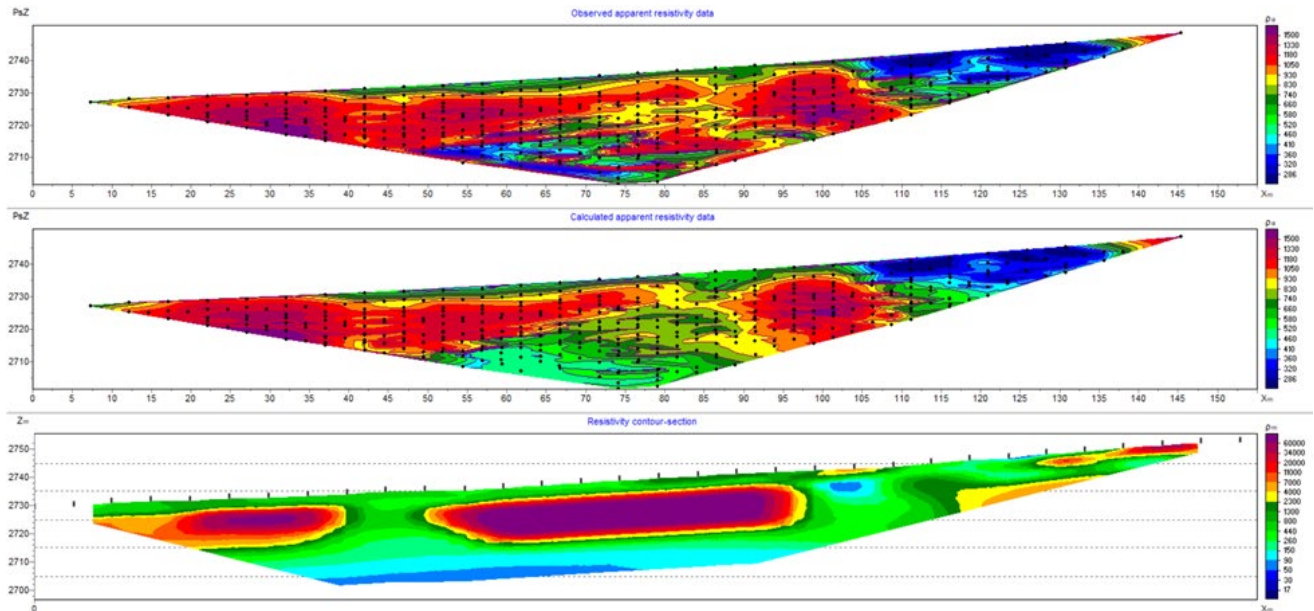
En el procesamiento de datos se realizaron una serie de controles por datos anómalos que se encuentran fuera de la línea de dispersión como se observa en la Figura 62.

Figura 62. Diagrama de dispersión de datos



La Figura 63 presenta el modelo de tomografía con datos de campo (primera sección) Pseudosecciones teóricas y modelo calculado, donde se observa variación en las resistividades de los materiales desde 120 ohm-m hasta 5200 ohm-m.

Figura 63. Pseudosecciones teórica y Sección Calculada Tomografía.



La Figura 64 presenta la interpretación de los resultados de la tomografía eléctrica 1

En esta se interpreta el material M1: Formación regadera Arcillolita; M2: Formación regadera Areniscas y M3: suelo transportado.

De acuerdo con los resultados de la tomografía se interpreta un material arcilloso (M1) corresponde a los estratos de arcillolita de la formación Regadera con resistividades desde los 17 a 150 ohm-m

El segundo material identificado corresponde a los bancos de arenisca de la formación Regadera (M2), con resistividades entre los 7000 a 6000 ohm-m

Figura 64. Sección calculada SCHLUMBERGER

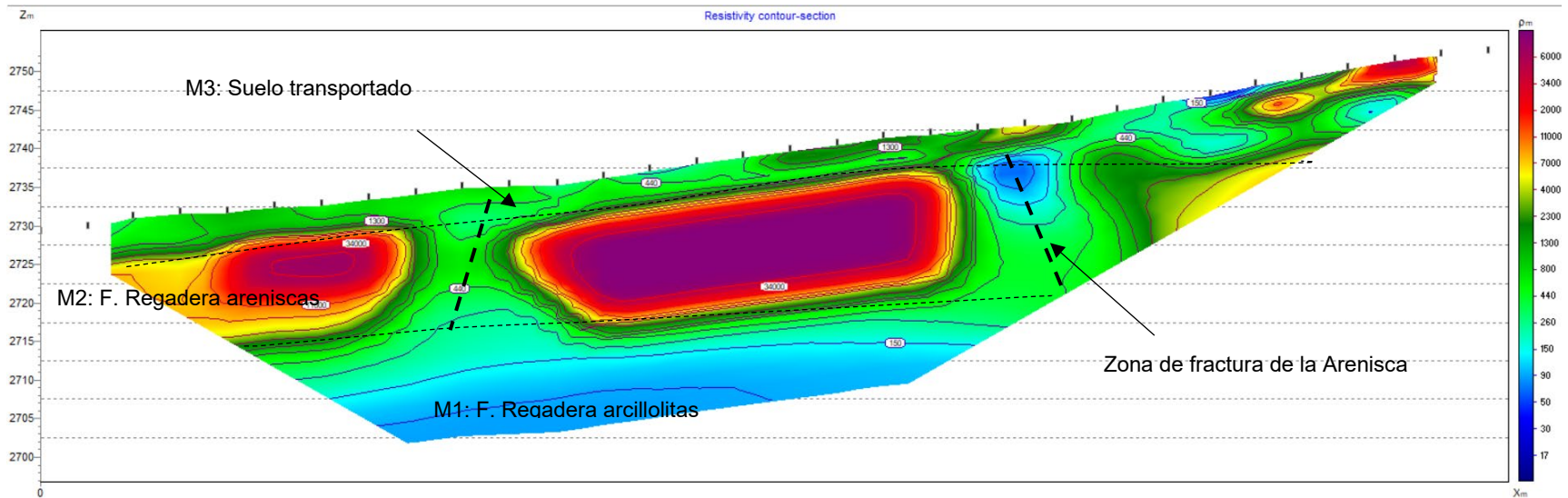
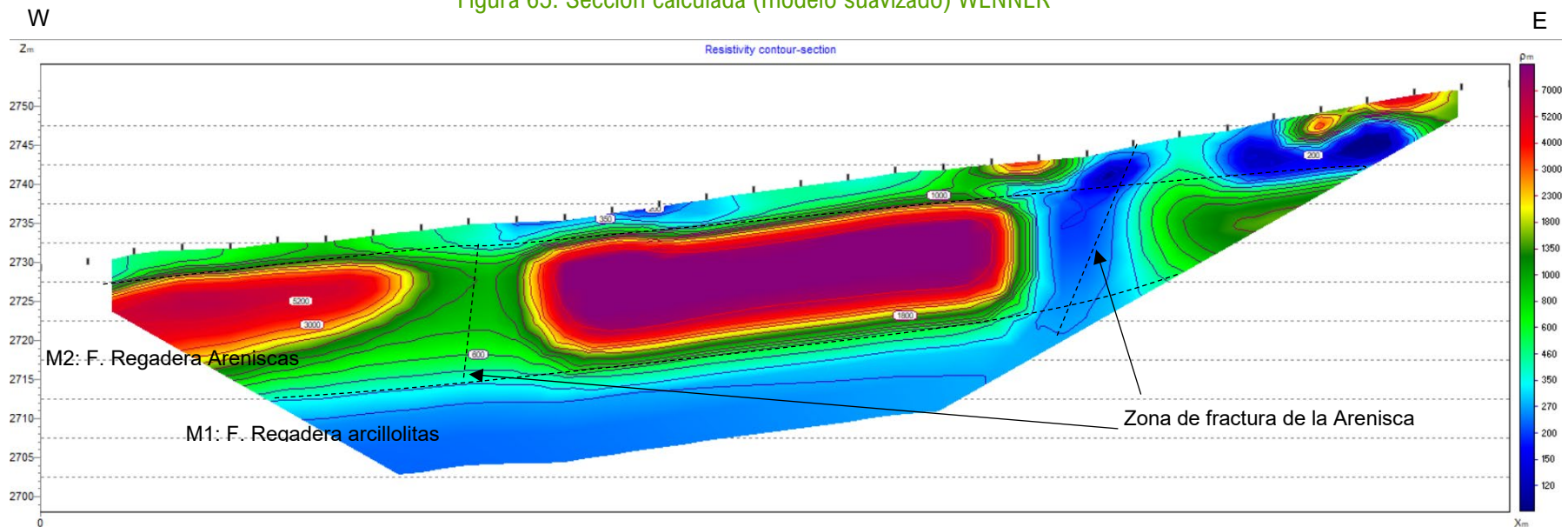


Figura 65. Sección calculada (modelo suavizado) WENNER



4.3.3.2 Línea sísmica de refracción 1

Se realizó un arreglo con 69 m de longitud, un distanciamiento entre geófonos de 3 m, con los tiempos de arribo se construyó la tomografía de ondas compresionales V_p , la cual se presenta en la Figura 67. Del modelo y la geología regional de la zona se pueden inferir las siguientes características del suelo:

- Se identifica un perfil de velocidad de onda de compresión que aumenta desde 560 m/s hasta 1800 m/s.
- Se identifica un primer material (M1), con un espesor de 2-3 metros aproximadamente a partir desde superficie, con velocidad de onda P de 560 m/s, se asocia a suelo de relleno antrópico para conformación de la vía.
- Se identifica un segundo material (M2), a partir de 2 /3 con 14 metros de espesor máximo, con 4 velocidades de onda P de 700 m/s a 1500 m/s, se interpreta como la roca muy meteorizada de la formación regadera.
- Se identifica un tercer material (M3), a partir de 14 m hasta los 30 metros de espesor, con velocidades de onda P de 1970 m/s, se interpreta como la roca de la formación Regadera fracturada.

Figura 66. Tomografía Vp

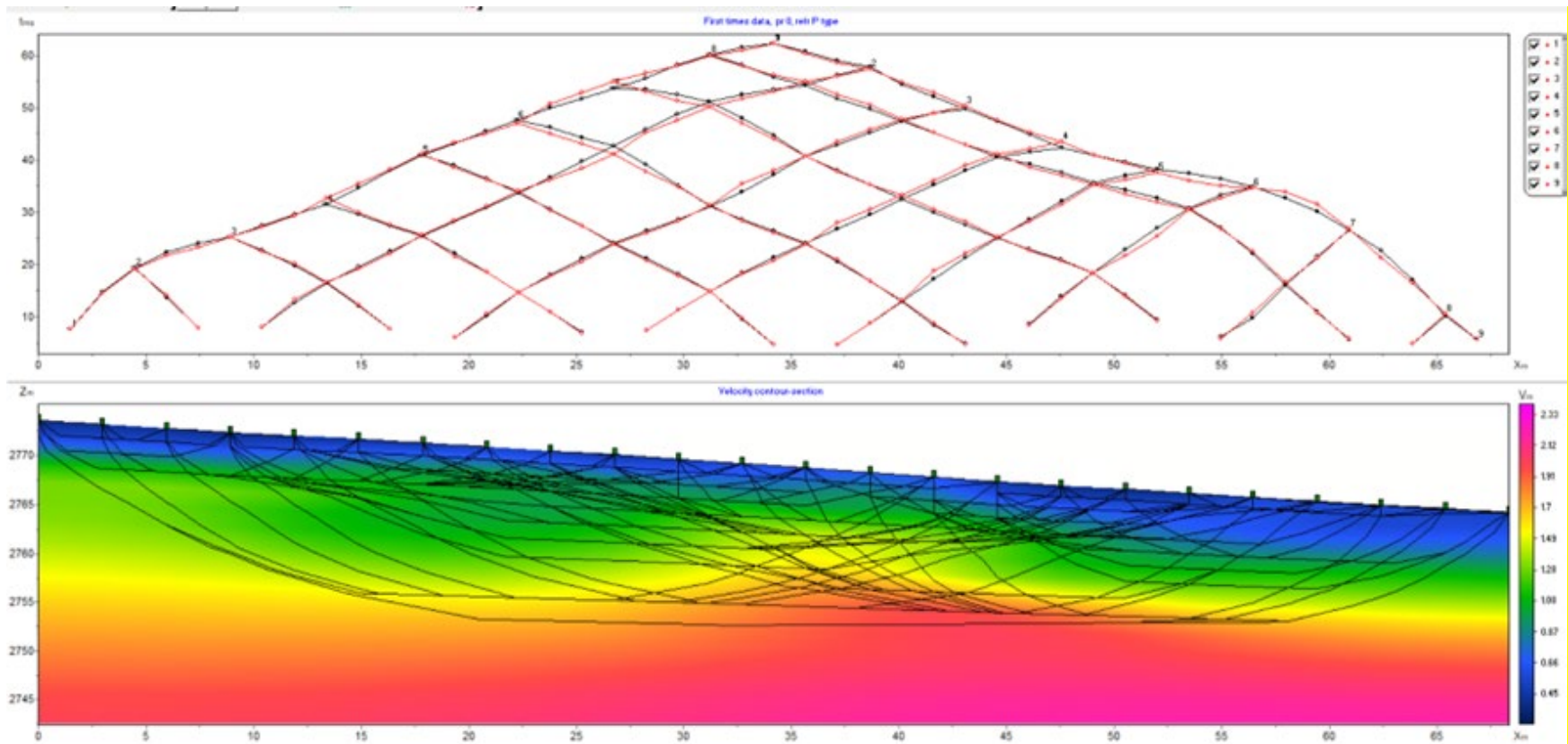
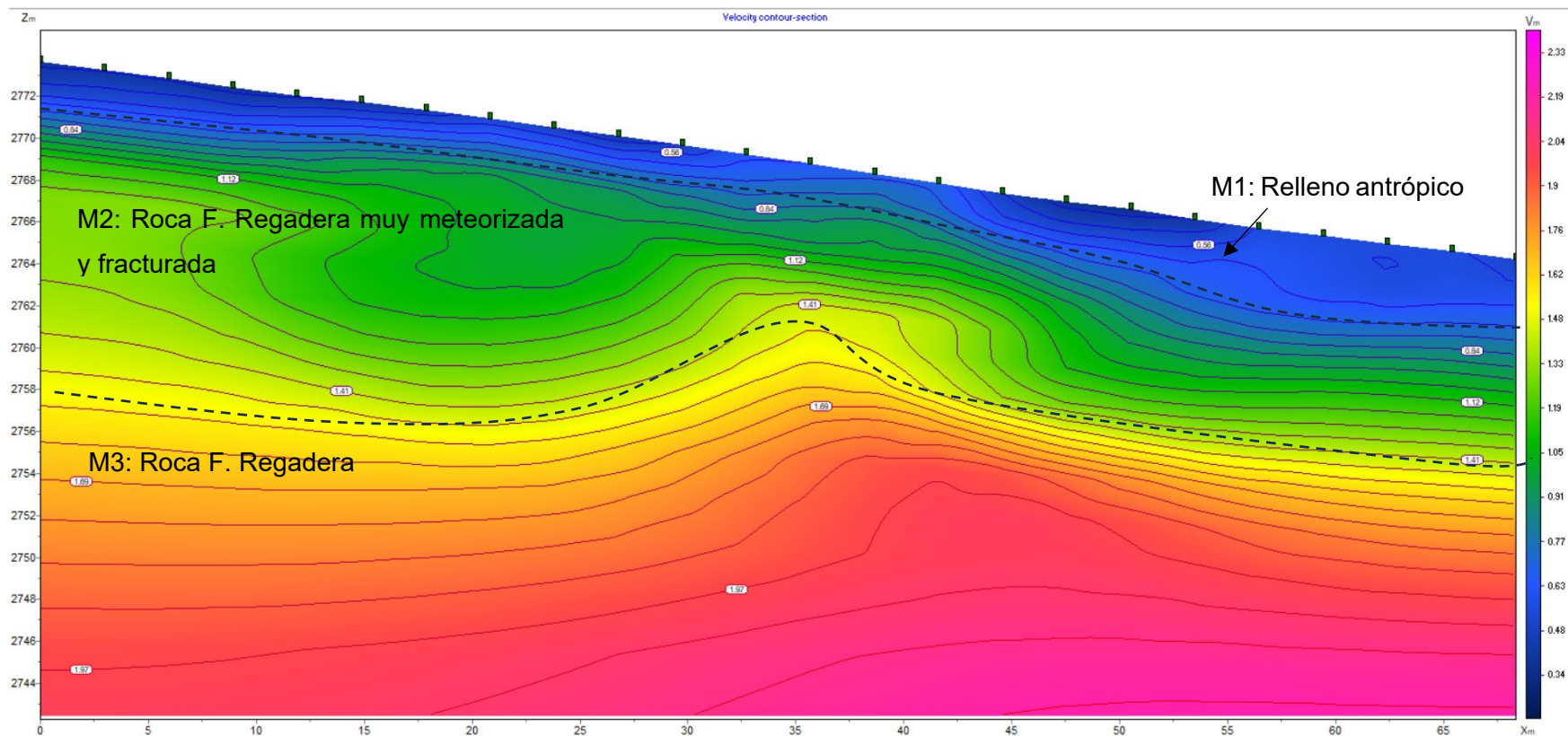


Figura 67. Perfil del suelo interpretado resultados sísmica de refracción LSR 1



Por otro lado, se presentan los resultados del ensayo MASW complementados con medición de micro tremores para la construcción de la curva de dispersión. Se construyó el perfil 2D de velocidades de onda de corte presentado en la a partir de la inversión de curva de dispersión obtenida en cada punto ensayado. Del perfil 2D, se pueden interferir las siguientes características del perfil del suelo:

- Según el cálculo del Vs30 se tiene que el suelo se clasifica como Tipo C con un Vs de 542 m/s, el cual se describe como perfil de Suelos muy densos o roca blanda.
- Se identificó una capa M1 con una velocidad Vs de 200 a 270 m/s, con un espesor de 2-3 metros aproximadamente a partir desde superficial, se asocia al material de relleno antrópico para la conformación de la vía.
- Una segunda capa M2 con una velocidad Vs de 340 m/s a 600 m/s, la cual va a partir de los 3 metros de profundidad y se extiende hasta los 12 metros de profundidad aproximadamente, se interpreta como la Arenisca de la formación Regadera muy fracturada.
- Una tercera capa M3 con una velocidad Vs superior de 750 m/s, la cual va a partir de los 12 metros de profundidad y se extiende hasta los 30 metros de profundidad, se interpreta como le basamento rocoso con menor grado de fracturación.

Tabla 19. Perfil Vs30 LSR-1

Desde (m)	Hasta (m)	Espesor (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0.0	1.0	1.0	650	320
1.0	2.3	1.3	660	330
2.3	4.0	1.7	650	330
4.0	6.1	2.2	680	340
6.1	8.0	1.8	790	400
8.0	13.9	5.9	960	480
13.9	16.9	3.0	1200	600
16.9	20.1	3.3	1510	750
20.1	29.3	9.2	1790	890
29.3	30.0	0.7	1950	980
Vs30 (m/s)				542

Figura 68. Perfil Vs-5 LSR-1

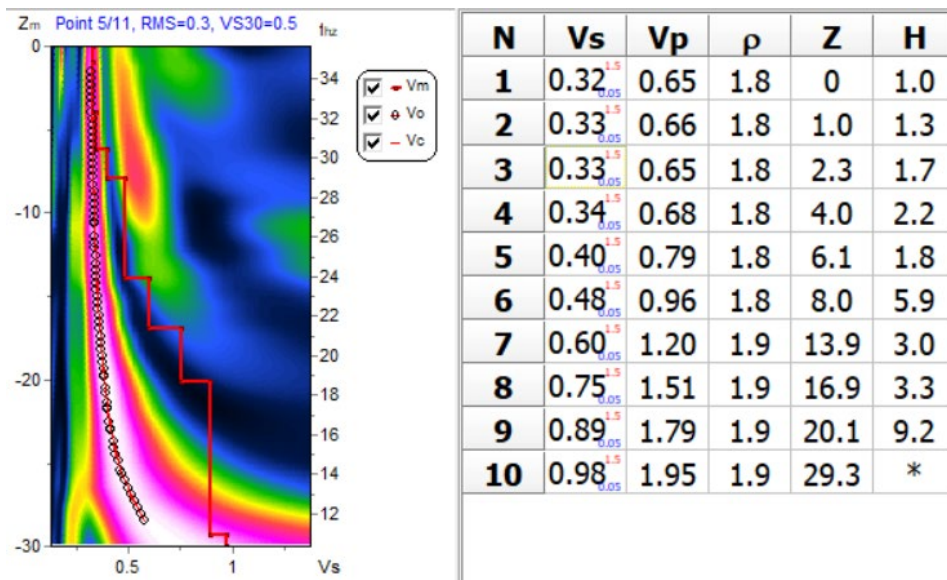
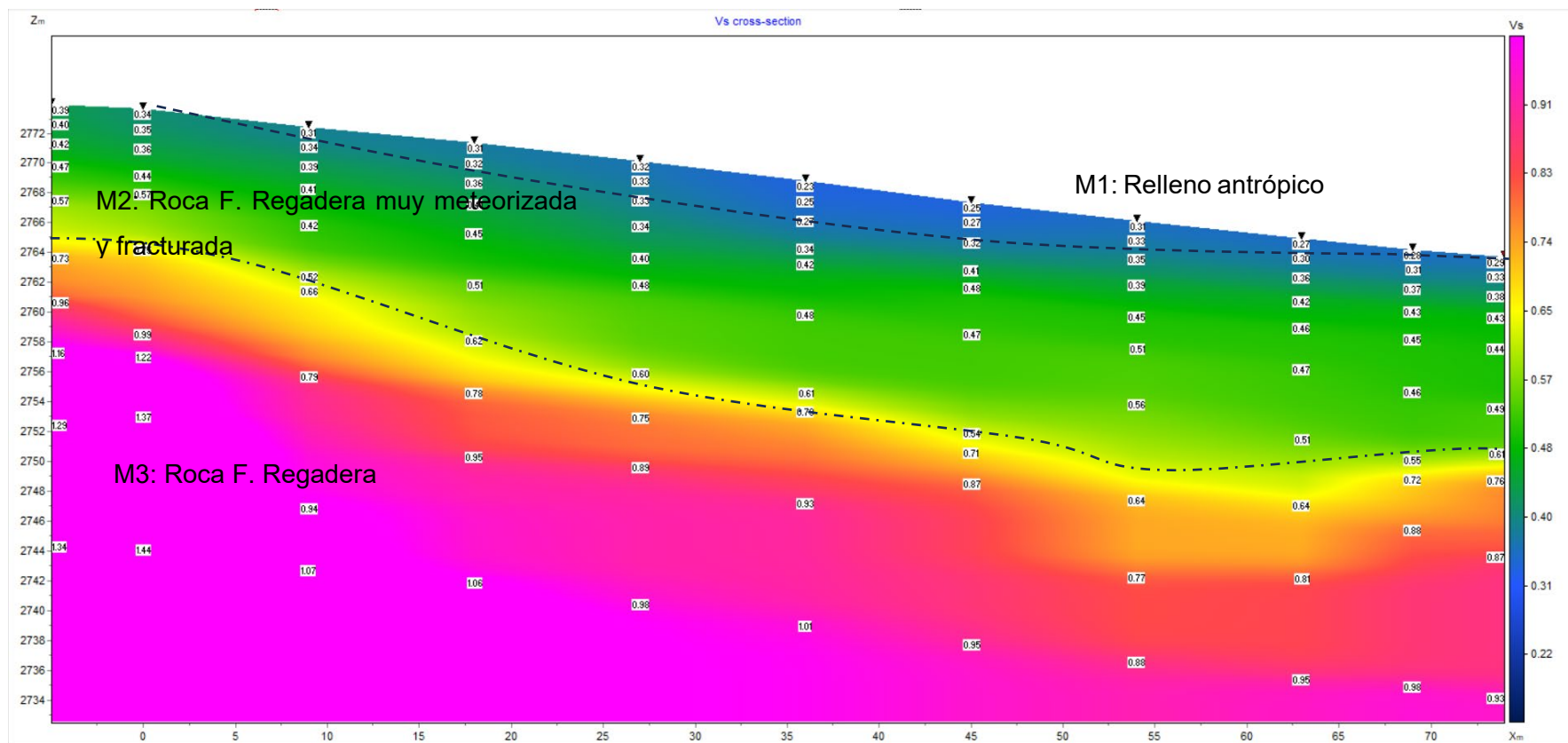


Figura 69. Perfil 2D Velocidad de onda de corte (Unidades en m/s y m) – LSR-1



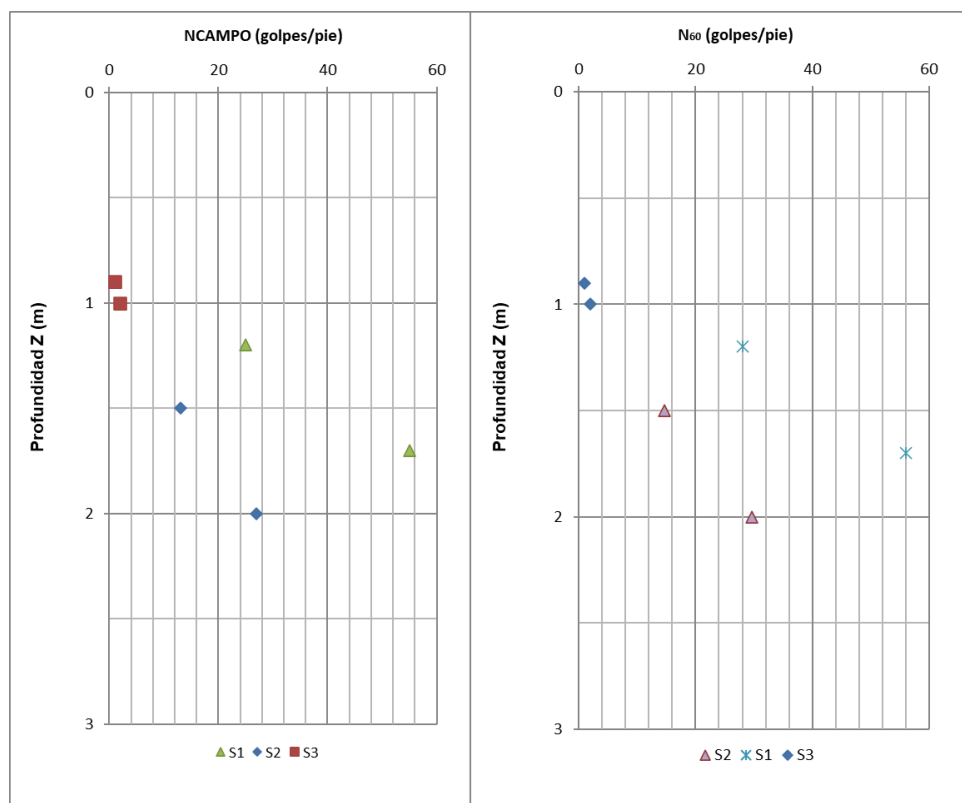
4.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

4.4.1 ENSAYOS DE CAMPO

Ensayo de penetración estándar (SPT)

Se realizó el ensayo de SPT en las perforaciones realizadas. En la Figura 70, se presentan los valores de N_{campo} en profundidad, de acuerdo con los resultados se tiene un material de relleno con espesor de 1-2m en profundidad con valores de 13 a 27 golpes/pie corregido con un valor promedio de 20 golpes/pie correspondiente a un suelo de consistencia media. Seguidamente se encuentra un material de arenisca a partir de una profundidad de 2m con rechazo.

Figura 70. Variación SPT



Fuente: Elaboración propia

Para estimar los valores de ángulo de fricción del material se utilizó la correlación en el ensayo de SPT calculando el ángulo de fricción equivalente (ϕ_{equiv}), para ello se utilizó la

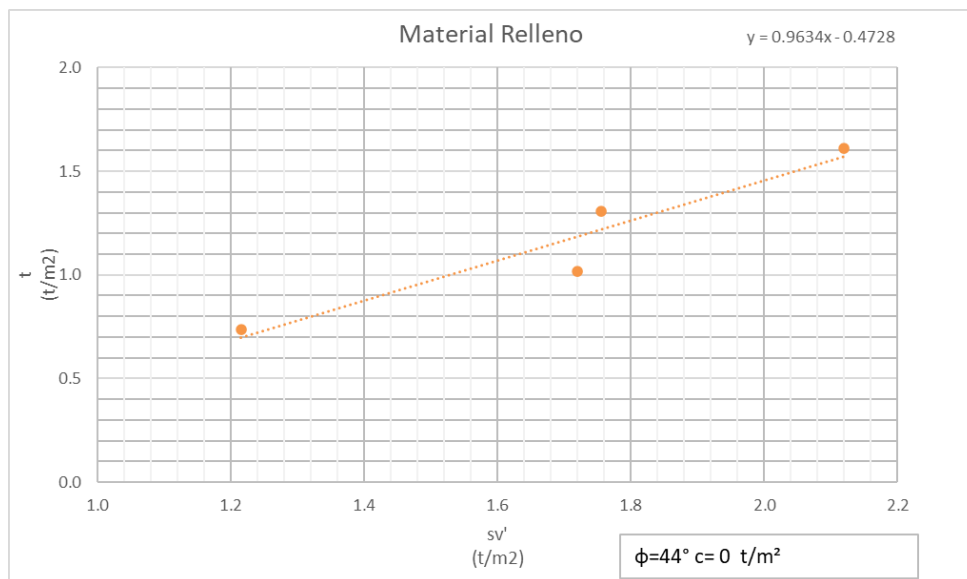
siguiente expresión:

$$\phi_{equiv} = 15 + \sqrt{20 N'_{72}} \quad (Kishida)$$

Con el valor de ϕ_{equiv} se calcularon los parámetros de c' y ϕ' para los materiales, siguiendo la metodología propuesta por González A. J. (1999) que consiste en graficar puntos (σ_v' , τ) en planos Mohr-Coulomb, donde los coeficientes obtenidos en una regresión lineal corresponden a los parámetros geomecánicos efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical σ_v' , se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geo-estático total y la presión de poros, y el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo, mientras que τ , se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente ϕ_{equiv} .

De esta manera, se obtienen los parámetros de resistencia para el material de relleno.

Figura 71. Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal. Relleno



Fuente: Elaboración propia

Los parámetros de resistencia para el material de relleno que pertenece a los primeros 2m se obtiene de los sondeos S1, S2 y S3 que es donde se encuentra el material.

Módulo de elasticidad

El módulo de estabilidad es determinado a partir de la información de los perfiles de velocidad. A continuación, se presentan los valores promedio por material.

Tabla 20. Módulo de Young Perfil Zona geotécnica A

MATERIAL	E [MPa]
(M1) Qan	56.5
(M2) Pgrsa	91.7

Coeficiente de Poisson

El coeficiente de poisson es determinado a partir de la información de los perfiles de velocidad. A continuación, se presentan los valores por material.

Tabla 21. Coeficiente de poisson Perfil Zona geotécnica A

MATERIAL	μ (-)
(M1) Qan	0.25
(M2) Pgrsa	0.44

Peso Unitario

El peso unitario es determinado a partir de la información de los perfiles de velocidad. A continuación, se presentan los valores por material.

Tabla 22. Coeficiente de poisson Perfil Zona geotécnica A

MATERIAL	γ (Kn/m3)
(M1) Qan	21
(M2) Pgrsa	20.2

Parámetros Mecánicos

A partir de la caracterización del macizo rocoso, se definió el valor del Índice de Resistencia Geológica (GSI) para la arenisca identificada en el sitio. Este parámetro fue utilizado como entrada en el software RocLab, mediante el cual se estimaron los parámetros geomecánicos del macizo rocoso, tales como la resistencia a la compresión uniaxial del

macizo, la cohesión y el ángulo de fricción equivalentes.

Figura 72. Parámetros mecánicos

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 258 MPa
GSI = 65 $m_i = 17$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

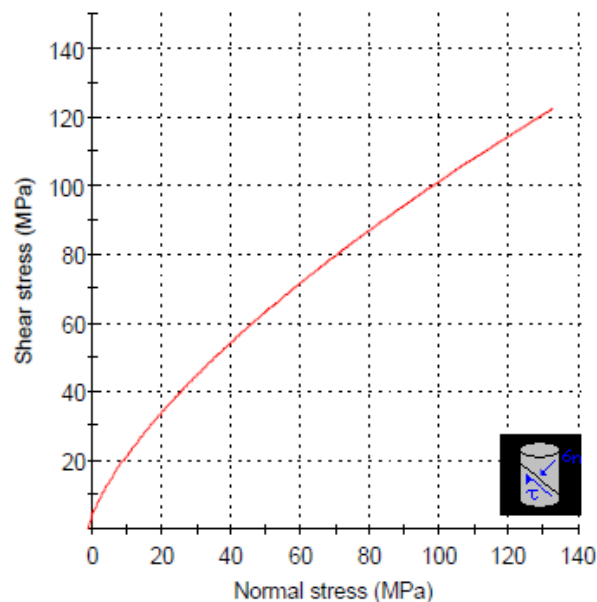
$m_b = 4.871$ $s = 0.0205$ $a = 0.502$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 18.819 MPa friction angle = 39.57 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -1.084 MPa
uniaxial compressive strength = 36.629 MPa
global strength = 79.929 MPa
modulus of deformation = 23713.74 MPa



4.4.2 PERFIL GEOTÉCNICO

Con el fin de representar adecuadamente las condiciones del subsuelo del polígono 1 del proyecto, se definió el perfil geotécnico, integrando la información obtenida de los ensayos geofísicos y de campo, según la localización de las estructuras proyectadas. A continuación, se presentan los parámetros determinados para el diseño en cada material identificado en el modelo geotécnico.

M1: Relleno (Qan)

Corresponde a un depósito superficial y no consolidado conformado por la acumulación de materiales de origen antrópico.

- Peso Unitario: 1.8t/m³ Se asumió de valores típicos para relleno
- N60: 20 golpes/pie Se tomó de la correlación del SPT
- Resistencia al corte Mohr Coulomb:
 - Angulo de fricción: 44° Se tomó de la correlación del SPT
 - Cohesión: 0.0 t/m² Se tomó el promedio de SPT

M2: Pgrsa

Corresponde a un material proveniente de la Formación Regadera, de litología arenosa con tamaños de grano predominantemente medio, fino o muy fino, cuyas tonalidades varían desde el blanco hueso hasta el amarillo parduzco, se caracteriza por ser un material de compacidad firme, plasticidad nula y humedad baja.

- GSI:65
- Resistencia al corte Mohr Coulomb:
 - Angulo de fricción: 39.57° Se tomó de Roclab
 - Cohesión: 1881.9 t/m² Se tomó de Roclab

M3: Pgrsar

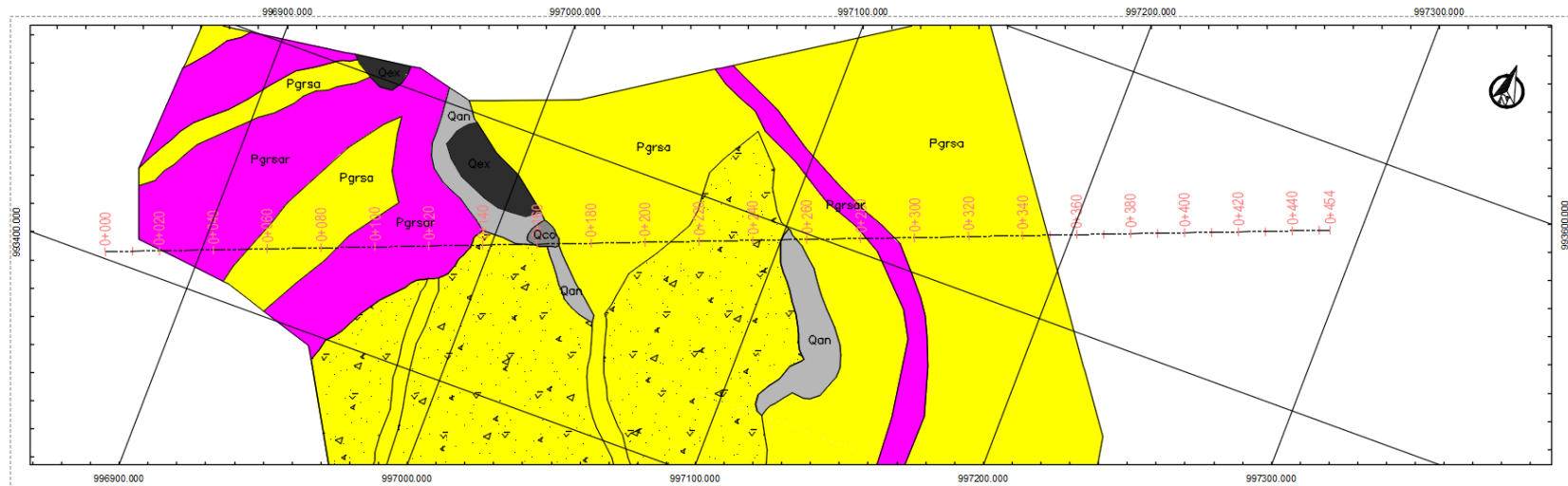
Corresponde a un material originario de la Formación Regadera de litología arcillosa con interestratificaciones de coloración abigarrada y blanca, el material presenta una consistencia que varía de media a firme.

- GSI:65

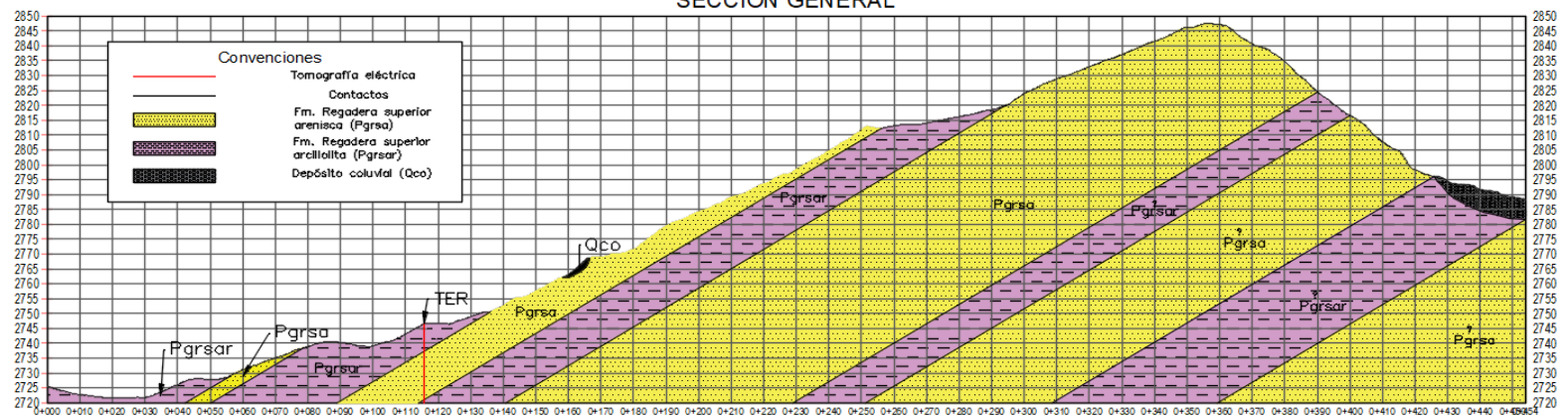
4.4.3 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

A partir de la información recopilada del trabajo de campo y la exploración directa e indirecta se realizan las secciones geológicas-geotécnicas, estas secciones constituyen una representación gráfica y descriptiva de las características geotécnicas del subsuelo y se presenta en planta la ubicación de los cortes correspondiente con el perfil geotécnico.

Figura 73. Modelo geológico geotécnico



SECCIÓN GENERAL



4.5 CONCLUSIONES

- El análisis multitemporal evidenció que el sector de estudio, ubicado en el barrio Diana Turbay al sur de Bogotá, ha experimentado una transformación notable del relieve, pasando de una ladera natural susceptible a erosión, desarrollada sobre la Formación Regadera, a un escenario fuertemente intervenido por actividades viales entre las décadas de 1984 y 1999, seguido por procesos de urbanización que incluyeron la disposición de rellenos antrópicos.
- Desde el punto de vista geomorfológico, actualmente predomina un ambiente de origen antropogénico, en el cual las geoformas están principalmente condicionadas por la acción humana. La coexistencia entre rellenos artificiales y el macizo rocoso genera contrastes en las propiedades mecánicas, lo que influye directamente en la estabilidad del terreno.
- El modelo geológico propuesto distingue tres unidades principales: por un lado, las rocas duras de litología arenosa, rocas blandas de litología arcillosa correspondientes a la Formación Regadera, y por otro, los rellenos antrópicos heterogéneos, siendo estos últimos los de mayor relevancia en términos de estabilidad.
- El análisis multitemporal de la topografía permite evidenciar cambios significativos en los parámetros morfométricos del terreno, reflejando una evolución dinámica del relieve asociada tanto a procesos naturales como a intervenciones antrópicas.
- Las variaciones en la configuración de las pendientes y en los patrones de drenaje evidencian modificaciones en la respuesta geomorfológica del área, lo que puede incidir directamente en la susceptibilidad a procesos como movimientos en masa o cambios en la escurrentía.
- En conclusión, la amenaza principal está asociada a rellenos antrópicos no controlados, cuya estabilidad depende del manejo de drenaje, confinamiento

adecuado y obras de estabilización.

4.6 REFERENCIAS

IDIGER, 2023. “Estudio de riesgo por avenidas torrenciales y/o crecientes súbitas para la cuenca hoyá del ramo de la localidad de Usme”.

JAM, 2017. “Estudios y diseños para la construcción de obras de mitigación de riesgo por procesos morfodinámicos en la margen izquierda de la cuenca alta de la quebrada hoyá del ramo del parque ecológico distrital de montaña entrenubes (localidad de usme).”

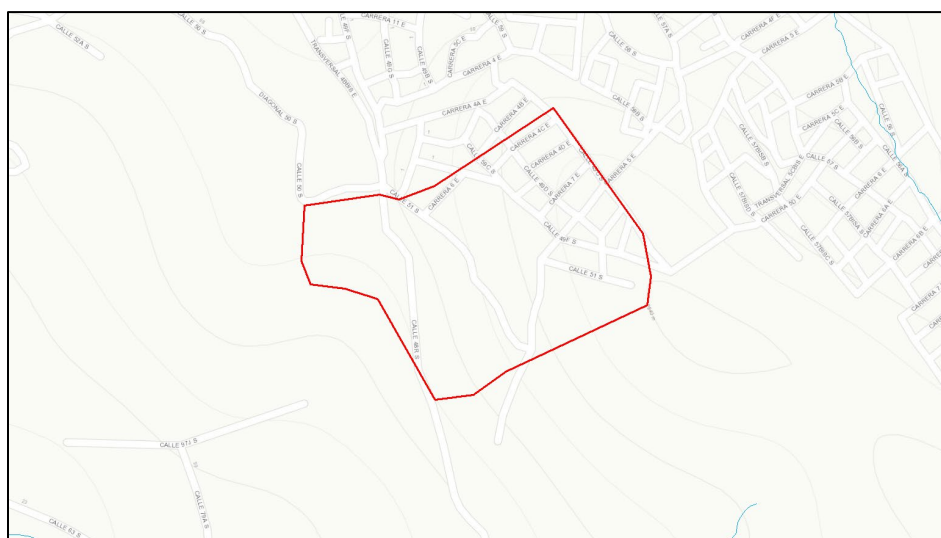
5 EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL

El presente capítulo corresponde a la identificación del drenaje superficial (natural y artificial) y su influencia en relación con los posibles procesos de inestabilidad que se puedan presentar en los polígonos 1, 2 y 3.

5.1 Drenaje Natural

Durante los recorridos realizados en terreno no se identificaron cuerpos de agua al interior del área de interés. De forma complementaria, se consulta inicialmente lo reportado por la EAAB-ESP en el Sistema de Información Geográfico, en donde se logra identificar que al interior del polígono 3 no se cuenta con drenajes naturales.

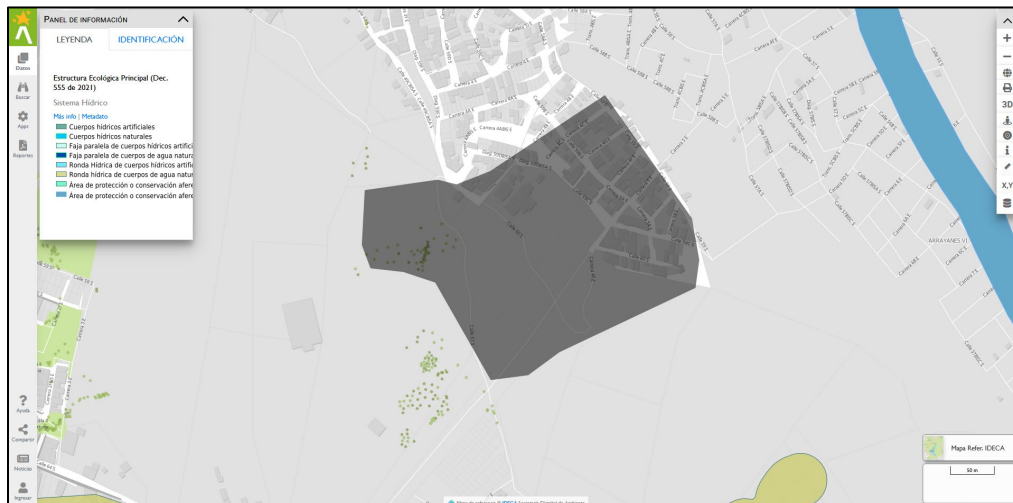
Figura 5.1 Hidrografía – Polígono 1



Fuente: Adaptado de SIGUE EAAB-ESP

Así mismo, se realiza la consulta en el Visor Geográfico Ambiental de la SDA en el cual, efectivamente, no se reportan drenajes naturales para el área objeto de estudio.

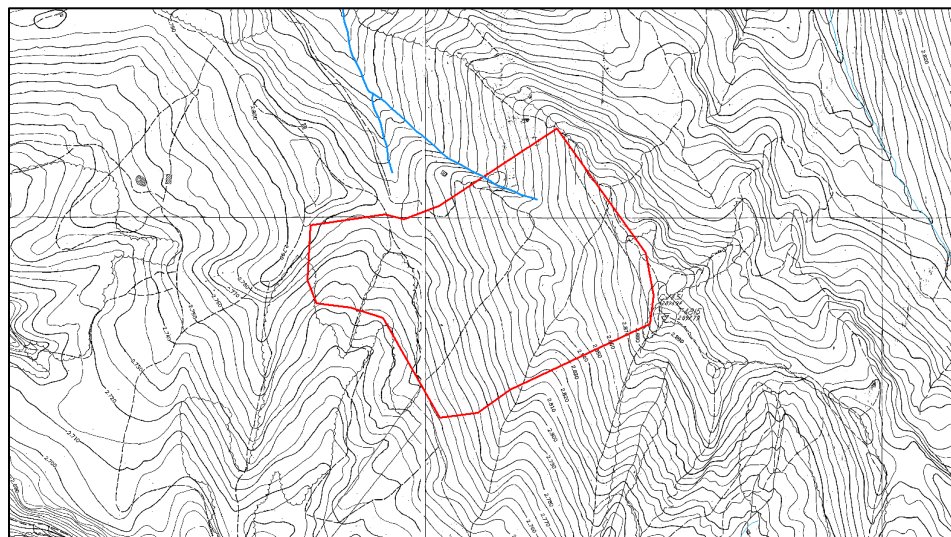
Figura 5.2 Cuerpos de agua naturales – Polígono 1



Fuente: Adaptado de Visor Geográfico Ambiental – SDA

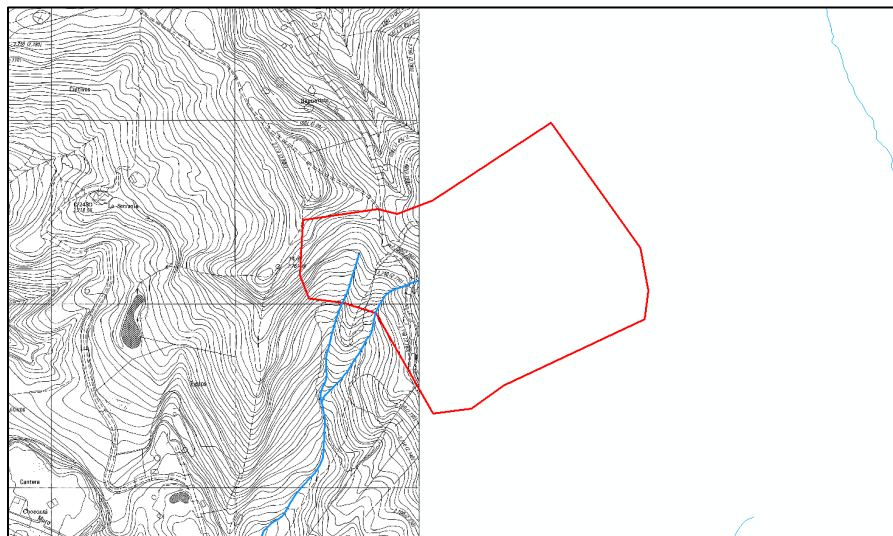
Con la finalidad de entender la posible relación con procesos de inestabilidad, se consultan las planchas del IGAC para los años 1960 y 1981, periodos en los cuales si se reportan drenajes asociados a corrientes intermitentes que discurren desde la divisoria de aguas del polígono 1 y presentan una dirección de drenaje hacia el norte (año 1960) y hacia el sur (año 1981).

Figura 5.3 Hidrografía Planchas IGAC 1960 – Polígono 1



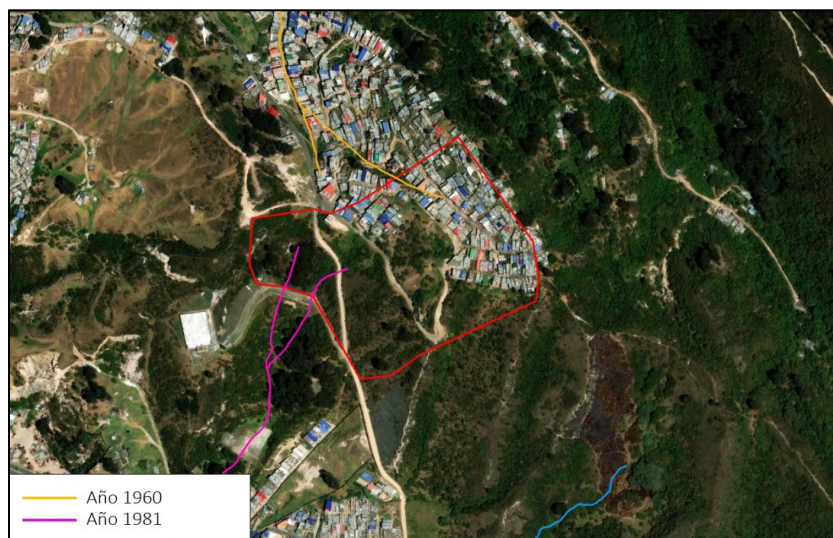
Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Figura 5.4 Hidrografía Planchas IGAC 1981 – Polígono 1



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Figura 5.5 Multitemporal – Polígono 1



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

A partir de lo encontrado, y con base en la forma en que históricamente se dieron los procesos de consolidación urbana en la ciudad y, especialmente, en la localidad de Usme, los drenajes naturales, principalmente aquellos de naturaleza intermitente, sufrieron una transformación significativa derivada de la expansión y la ocupación progresiva del territorio.

Dichos drenajes fueron directamente rellenados para habilitar suelo urbanizable, lo que redujo la conectividad hidráulica natural y alteró los patrones de escorrentía superficial.

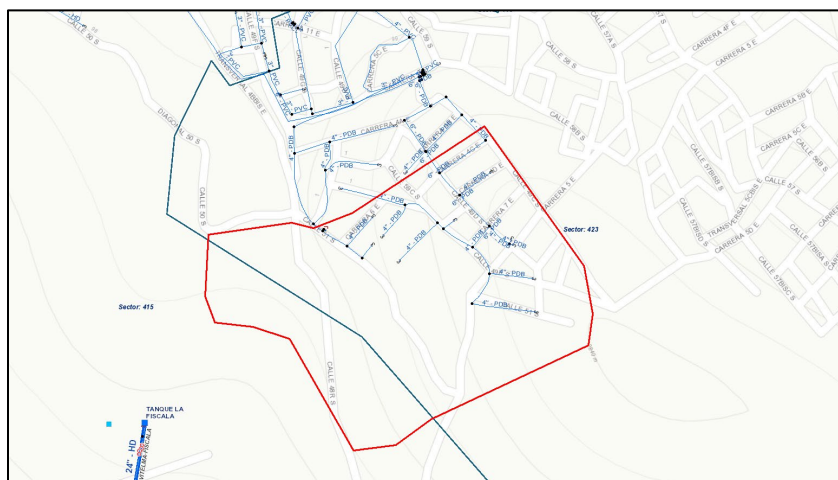
De forma complementaria, la sustitución de coberturas vegetales por superficies impermeables incrementó los caudales pico y disminuyó los tiempos de concentración, generando respuestas hidrológicas más rápidas ante eventos de lluvia. En numerosos casos, los cauces menores dejaron de cumplir su función de conducción y regulación, desapareciendo físicamente del paisaje.

5.2 Drenaje Artificial

A partir de lo reportado en el Sistema de Información Geográfico de la EAAB-ESP, los polígonos 1 y 2 hacen parte de la Zona Operativa 4, la cual corresponde a las localidades de San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Kennedy, Puente Aranda, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar, mientras que el polígono 3 corresponde a la Zona Operativa 1, correspondiente a las localidades de Suba y Usaquén. A continuación, se realiza la descripción de los sistemas de acueducto y alcantarillado presentes al interior de cada polígono objeto de análisis.

Para el Polígono 1, no se identifica red matriz alguna perteneciente al sistema de acueducto, solamente se localizan redes menores. Aparentemente, todo el polígono cuenta con cobertura del servicio, identificándose diámetros de 4" y 6" en polietileno de baja densidad, tal como se puede apreciar en la siguiente imagen:

Figura 5.6 Red menor de acueducto – Polígono 1



Fuente: Elaboración propia

6.1.2 METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO Y EXPLORACIÓN

Para la definición del modelo geológico–geotécnico del sitio de estudio y la evaluación de su condición actual, el diagnóstico inicial se fundamentó en la inspección visual detallada en campo, complementada con el análisis de registro fotográfico, el contraste de información topográfica disponible y la interpretación de resultados de exploración indirecta y directa.

A partir de la comparación de superficies topográficas, se identificaron modificaciones antrópicas en la morfología original del terreno, permitiendo delimitar la zona intervenida mediante rellenos. Esta interpretación fue verificada mediante la ejecución de tres (3) sondeos exploratorios puntuales, a partir de los cuales se estimaron los espesores del material de relleno.

De manera complementaria, se integraron los resultados de una (1) tomografía eléctrica y una (1) línea sísmica de refracción, lo que permitió mejorar la definición del subsuelo en profundidad, identificar variaciones laterales de los materiales y obtener una aproximación continua del perfil estratigráfico. La integración de estas actividades permitió establecer un modelo conceptual del sitio, definiendo la geometría del talud, la extensión del relleno antrópico.

6.1.3 CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO Y FACTORES DETONANTES

Con base en el reconocimiento de campo, se determinó que la problemática del sitio está asociada a condiciones de inestabilidad local relacionada con la presencia de rellenos antrópicos.

El mecanismo de inestabilidad identificado corresponde a procesos superficiales asociados a pérdida de soporte en la banca y degradación progresiva del material. Como factores detonantes se reconocen principalmente:

- La presencia de rellenos antrópicos con baja compacidad y heterogeneidad
- La posible infiltración de agua, que favorece la saturación del material y la reducción de su resistencia al corte

6.1.4 CARACTERÍSTICAS MORFODINÁMICAS DEL PROCESO IDENTIFICADO

- **Escarpe principal:** Se identifica en el talud inferior un depósito de relleno antrópico, con presencia de cobertura vegetal y una inclinación aproximada de 30°.
- **Cuerpo desplazado:** Corresponde al material de relleno antrópico que conforma la banca inferior del talud.
- **Superficie de falla:** El mecanismo identificado es de carácter superficial, desarrollado dentro del relleno antrópico, con profundidades estimadas de 2,0m a partir de la exploración directa.

Figura 9. Sitio crítico polígono 1

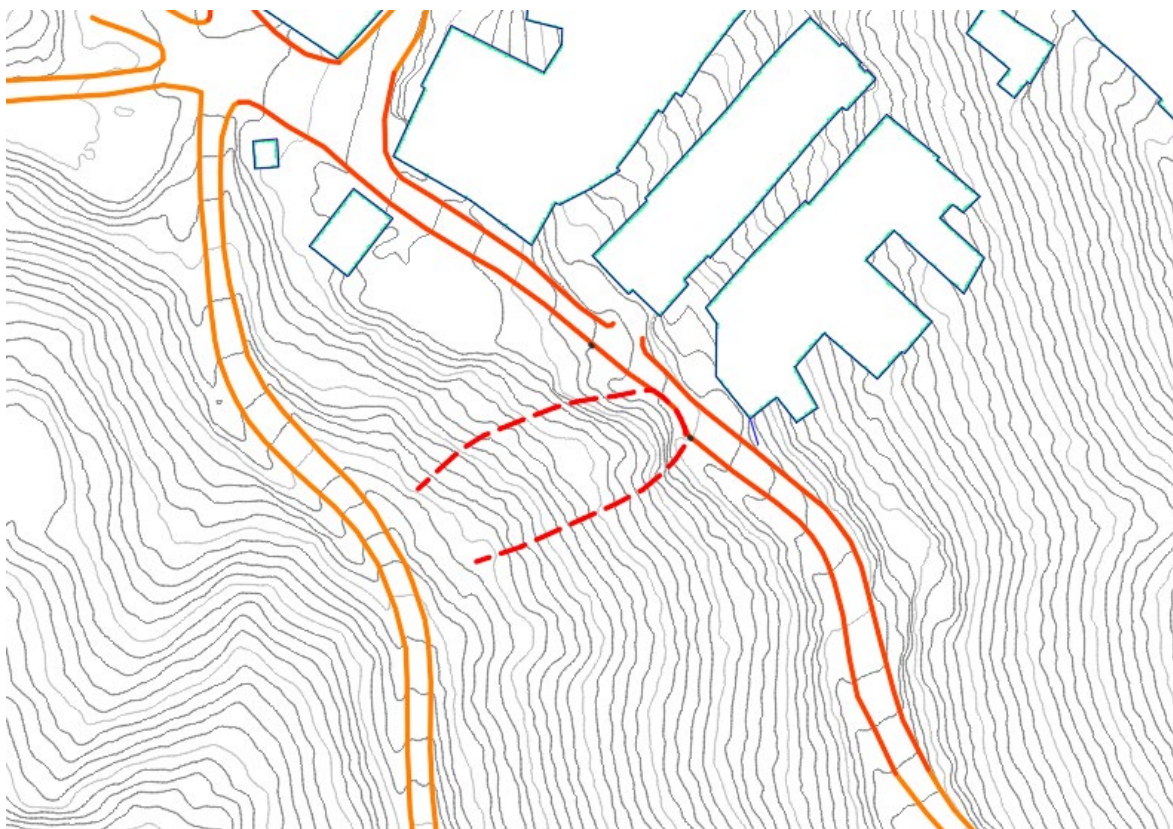


Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se presenta el proceso del sitio crítico sobre la topografía del año

2026.

Figura 10 Proceso sobre la topografía



Fuente: Elaboración propia

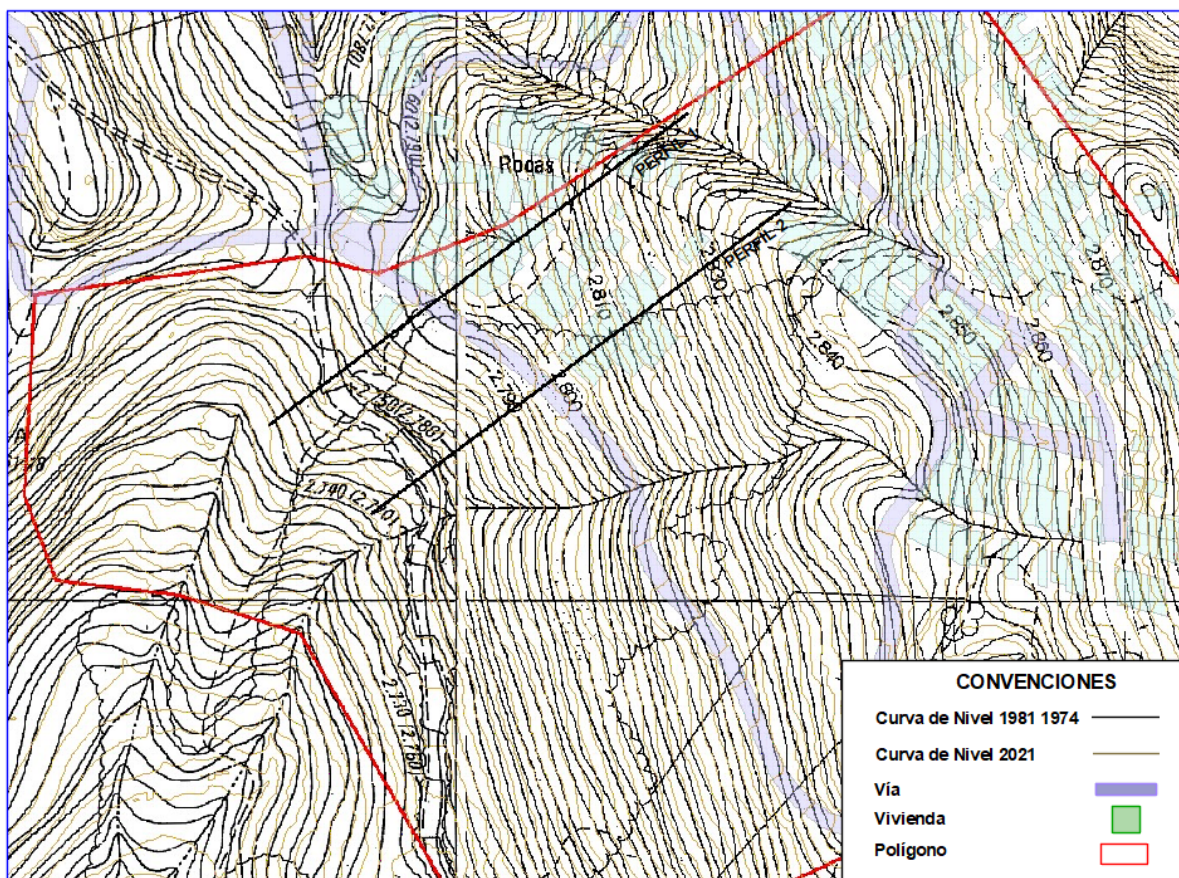
6.1.5 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Con el propósito de establecer la evolución geomorfológica del sector y cuantificar la incidencia del material antrópico en la inestabilidad identificada, se realizó un análisis multitemporal a partir de la comparación de modelos topográficos correspondientes a los años 1981-1974, 2021 y 2026. La topografía de 1981-1974 representa condiciones previas a la intervención antrópica significativa, en las cuales no se evidencia la presencia del relleno actualmente inestable. En contraste, la topografía de 2021 refleja la configuración del terreno, incluyendo la acumulación de material antrópico sobre la ladera. La topografía año 2026 fue ejecutada por esta consultoría y muestra las condiciones actuales del sitio, y permite determinar los cambios morfométricos y los niveles de relleno antrópico, así como

la delimitación de procesos inestables.

A partir de la superposición y contraste de las tres superficies, se definieron dos perfiles representativos en la zona de estudio, mediante los cuales fue posible identificar y estimar el espesor del relleno antrópico. Este análisis permitió diferenciar claramente entre el terreno natural y los materiales adicionados, constituyéndose en un insumo fundamental para la definición de los parámetros y criterios del diseño geotécnico orientado a la estabilización del sitio. En la Figura 78 se presenta la topográfica del sitio crítico y la ubicación de los perfiles.

Figura 11. Contrastación topográfica año 1981-1974 y 2021



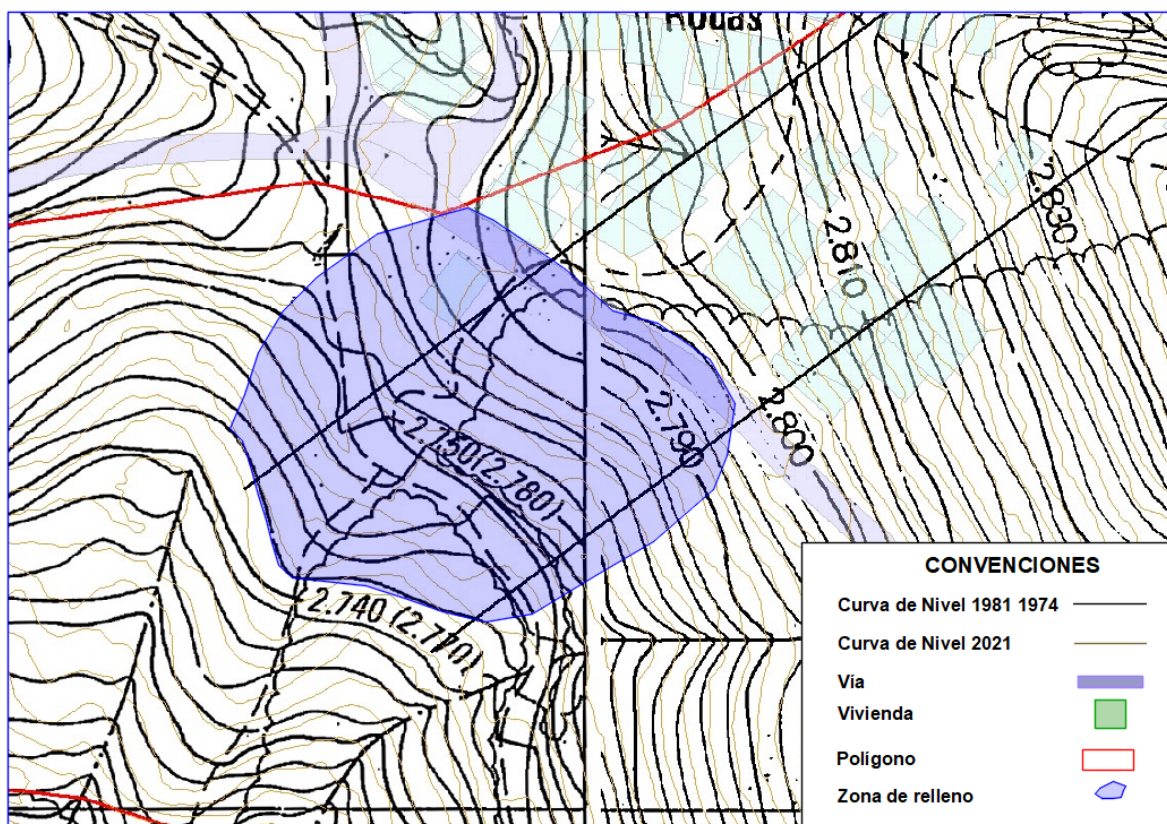
Fuente: Elaboración propia

Con base en la ilustración presentada y en el contraste realizado entre las superficies topográficas, se definió la extensión del relleno antrópico en el área de estudio. Este análisis

permitió identificar las modificaciones en la morfología original del terreno, evidenciando sectores donde se han generado aportes de material ajeno al perfil natural.

La interpretación obtenida a partir de esta comparación fue complementada con las observaciones de campo y la información derivada de los sondeos exploratorios, lo que permitió validar la presencia del relleno, así como estimar su distribución espacial y variabilidad en espesor.

Figura 12. Localización zona de relleno



Fuente: Elaboración propia

En los perfiles presentados a continuación se observa el contraste de la topografía del terreno. En estos se incluyen dos (2) perfiles longitudinales construidos a partir de la información topográfica correspondiente a los años 1960, 2021 y 2026, lo que permite evidenciar las modificaciones en la morfología original del sitio a lo largo del tiempo.

A partir de esta comparación, se identifica claramente la zona intervenida mediante relleno

antrópico, la cual se manifiesta como una variación significativa entre ambas superficies. Esta zona coincide espacialmente con la delimitación del relleno previamente definida en planta. A continuación, se presenta la ubicación de los perfiles sobre la topografía año 2026 y las respectivas secciones de trabajo.

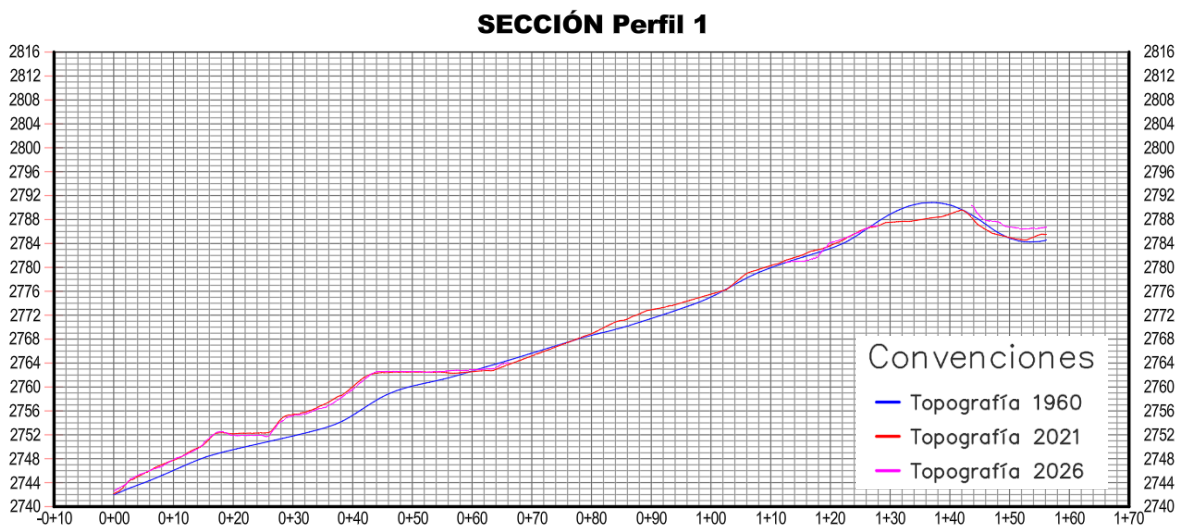
Figura 13 Ubicación perfiles de trabajo



Fuente: Elaboración propia

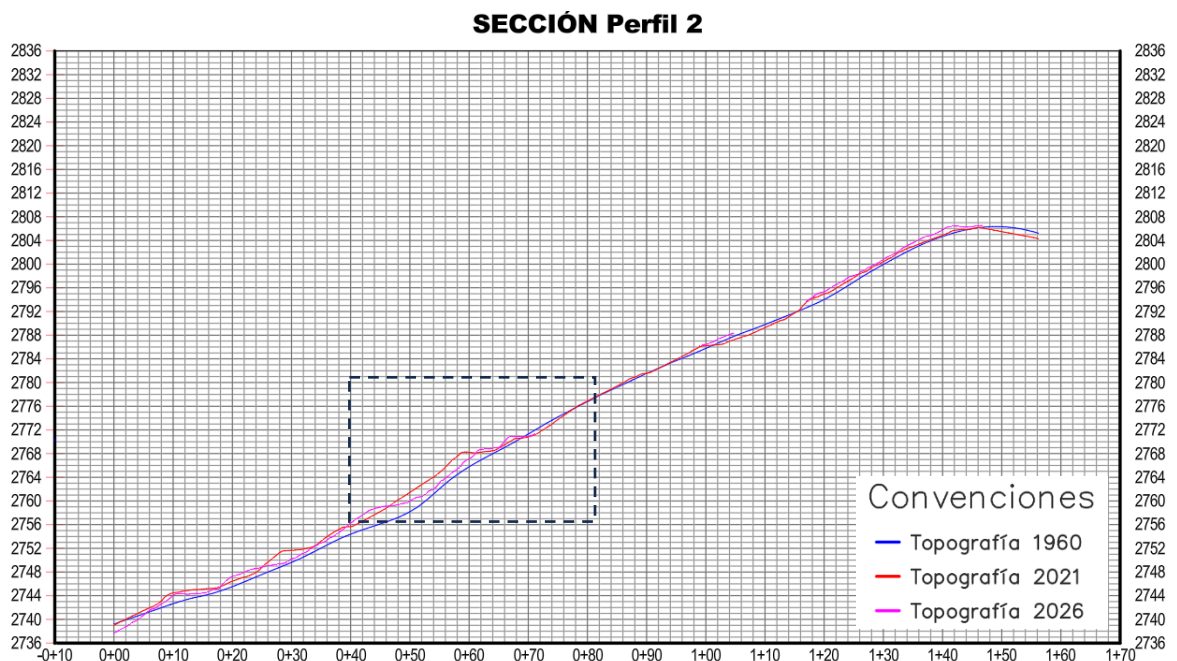
Para el Perfil 1, se concluye que los espesores de relleno antrópico están por el orden de los 3.0 m de espesor y fueron implantados para la conformación de la vía y de las edificaciones en la zona inferior del talud.

Figura 14. Perfil 1 de contrastación topográfica



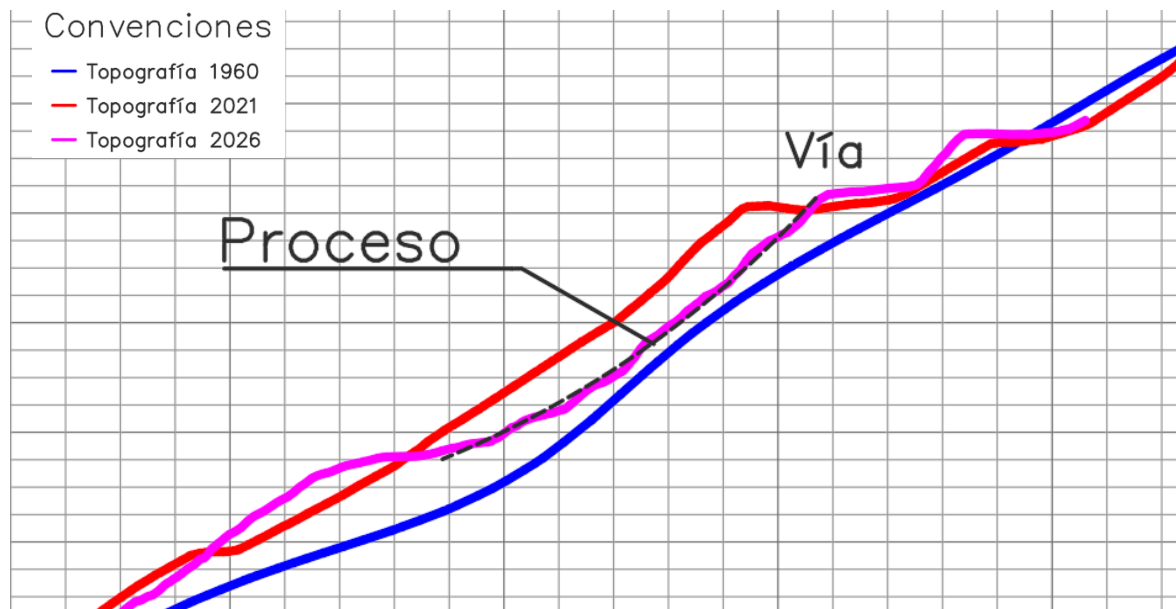
Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Perfil 2 de contrastación topográfica



Fuente: Elaboración propia

Figura 16 Detalle proceso por contrastación topográfica



Fuente: Elaboración propia

En el Perfil 2 se evidencia el proceso de pérdida de banca sobre el relleno antrópico.

6.2 DISEÑO GEOTECNICO

6.2.1 ANÁLISIS RETROGRESIVO (BACK ANALYSIS)

La definición de los parámetros geotécnicos de los materiales involucrados en el proceso de inestabilidad se fundamentó en la información obtenida mediante inspección de campo y criterios de caracterización geomecánica. En el caso del macizo rocoso, correspondiente a areniscas y arcillolitas, los parámetros fueron estimados a partir del índice GSI determinado mediante evaluación visual en sitio. Por su parte, para el relleno antrópico, debido a su naturaleza heterogénea y baja consolidación, se adoptaron parámetros asumidos, sobre los cuales se desarrolló un análisis de sensibilidad enfocado principalmente en la variación de la cohesión.

Con el fin de reproducir el mecanismo de falla observado y validar los parámetros adoptados, se llevó a cabo un análisis retrogresivo (back analysis) considerando la geometría actual del talud definida a partir de la topografía reciente, así como la configuración del relleno identificada en el análisis multitemporal. La modelación de

estabilidad se realizó mediante el software Slide, empleando el criterio de falla de Mohr-Coulomb y métodos de equilibrio límite, evaluando diferentes escenarios de resistencia del material antrópico hasta obtener condiciones cercanas al estado de falla. Este procedimiento permite identificar una superficie de falla compatible con la evidencia observada en campo.

Figura 17. Parámetros ingresados a slide (Pgrsa) Arenisca

(Pgrsa) Arenisca

Name: (Pgrsa) Arenisca Colour: Hatch:

Unit Weight: 20 kN/m3 ☐ Saturated U.W. 20 kN/m3

Strength Type: Gen. Hoek-Brown $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d((m_b \sigma_3 / \sigma_d) + s)^a$

Strength Parameters

UCS (intact): 258000 kN/m2 mb: 4.870581

s: 0.020468 a: 0.501975

Water Parameters

Water Surface: None Ru Value: 0

Figura 18. Parámetros ingresados a slide (Pgrsar) Arcillolita

(Pgrsar) Arcillolita

Name: (Pgrsar) Arcillolita Colour: Hatch:

Unit Weight: 20 kN/m3 ☐ Saturated U.W. 20 kN/m3

Strength Type: Gen. Hoek-Brown $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d((m_b \sigma_3 / \sigma_d) + s)^a$

Strength Parameters

UCS (intact): 258000 kN/m2 mb: 1.958166

s: 0.108368 a: 0.500592

Water Parameters

Water Surface: None Ru Value: 0

Figura 19. Parámetros ingresados a slide relleno

Relleno

Name: Colour: Hatch:

Unit Weight: kN/m3 ☐ Saturated U.W. kN/m3

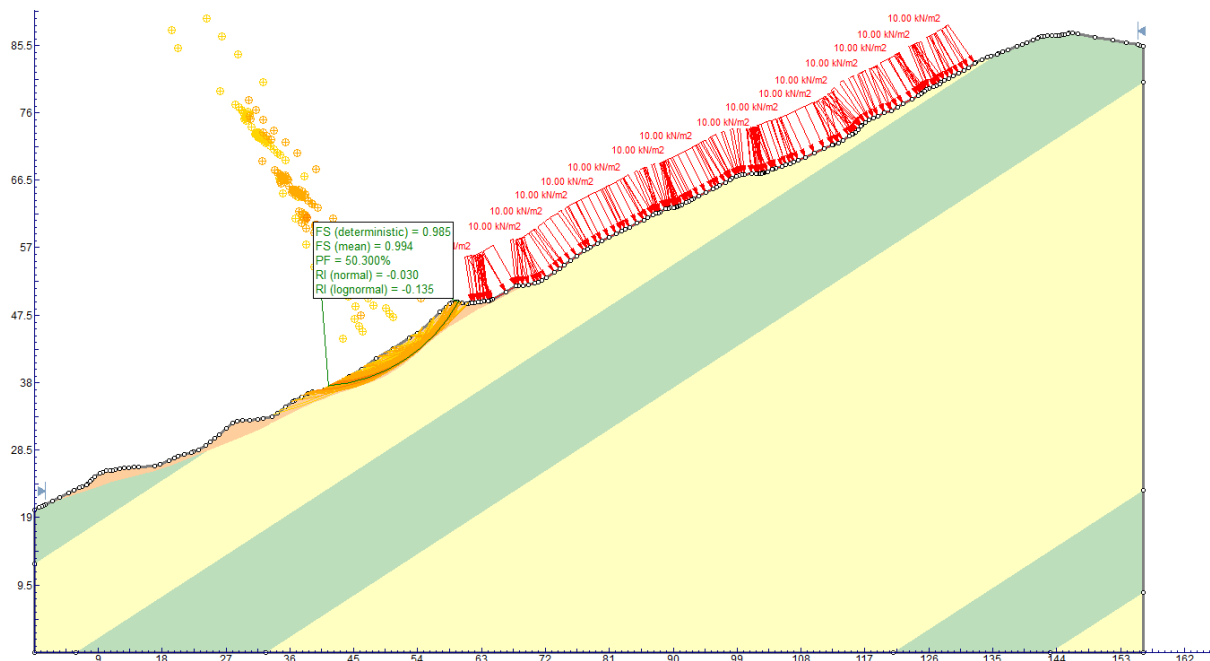
Strength Type: $\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi'$

Strength Parameters: kN/m2 Cohesion: degrees Phi:

Water Parameters: Water Surface: Ru Value:

Con el propósito de refinar los parámetros geomecánicos del material inestable, se llevó a cabo el Back Analysis. Utilizando la superficie definida, se modeló el movimiento en el software SLIDE 6.0 de la casa Rocscience mediante el principio de equilibrio límite. En la Figura 87 se presenta el modelo con la superficie de falla.

Figura 20. Modelo Back Analysis



En el presente caso, el análisis retrogresivo se desarrolló considerando una condición de saturación, representada mediante un coeficiente de presión de poros $R_u = 0.2$ aplicado al material de relleno antrópico.

Para el Back Analysis, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad de los parámetros de resistencia de Mohr Coulomb (cohesión y ángulo de fricción), considerando una distribución normal 3σ . Se empleó una cohesión promedio de 10 kN/m² con una desviación estándar de 3, y un ángulo de fricción promedio de 20° con una desviación estándar de 5, como se ilustra a continuación.

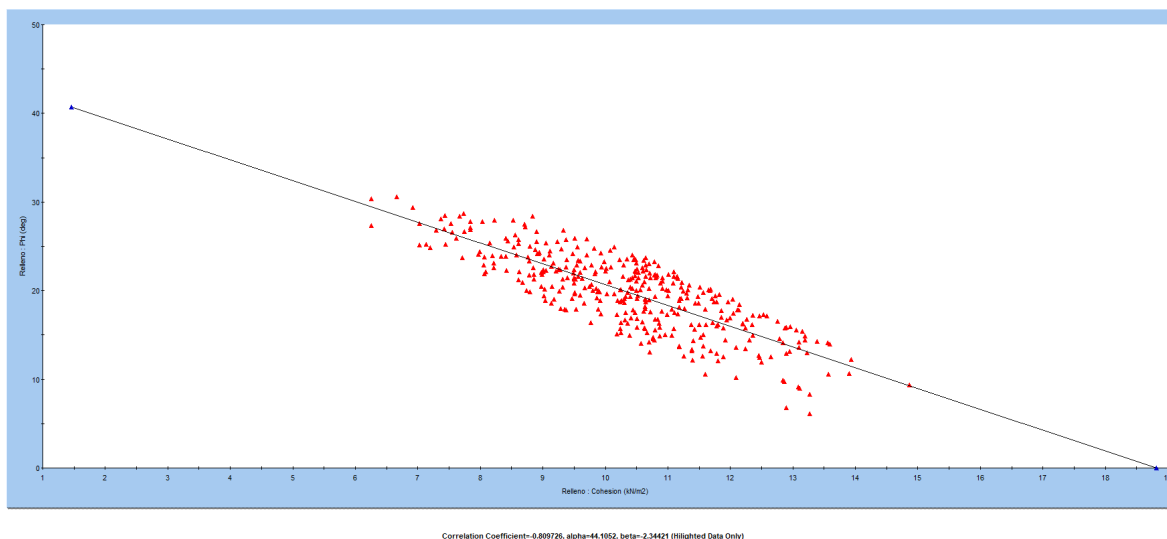
Figura 21. Parámetros utilizados en el modelo

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Relleno	Cohesion	Normal	10	3	9	9
2	Relleno	Phi	Normal	20	5	15	15

Mediante el análisis de sensibilidad de parámetros, se generó una gráfica que muestra la combinación de parámetros necesaria para lograr un factor de seguridad de 1.0, es decir, alcanzar el equilibrio límite. A continuación, se presenta la gráfica obtenida para la condición

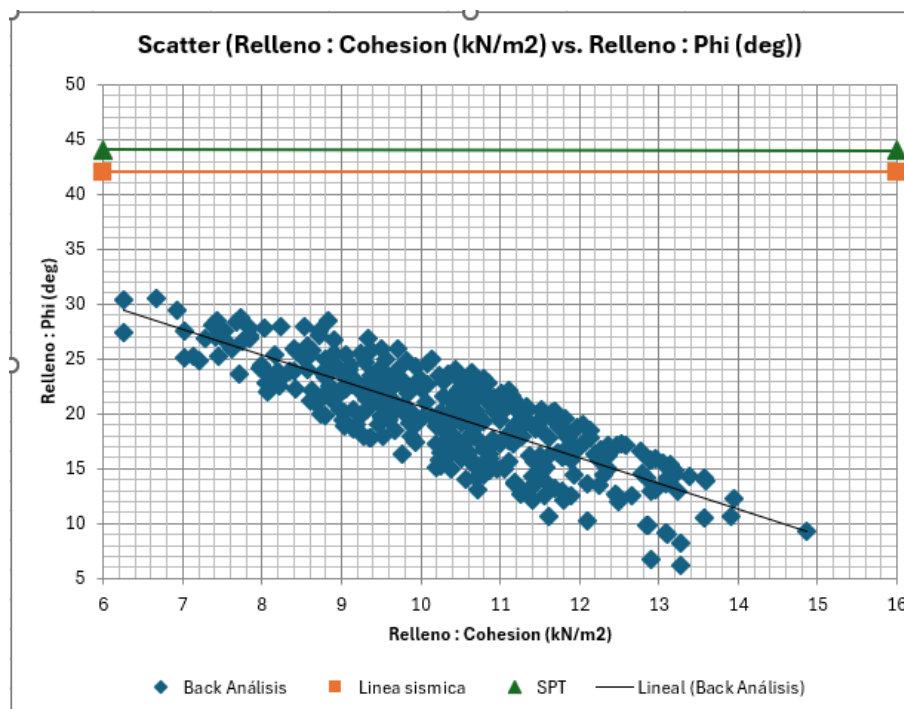
1, que corresponde al nivel freático identificado en la exploración geotécnica (ver Figura 89).

Figura 22. Análisis paramétrico



A partir del análisis paramétrico, se seleccionaron los parámetros obtenidos mediante el SPT como los atributos representativos del material Qan, los cuales equivalen a los parámetros residuales del material Qan. Es importante destacar que estos parámetros definidos se basan en una condición de saturación analizada $R_u=0.2$ y se corresponden con aquellos que llevaron al fallo.

Figura 23. Variación de parámetros mecánicos



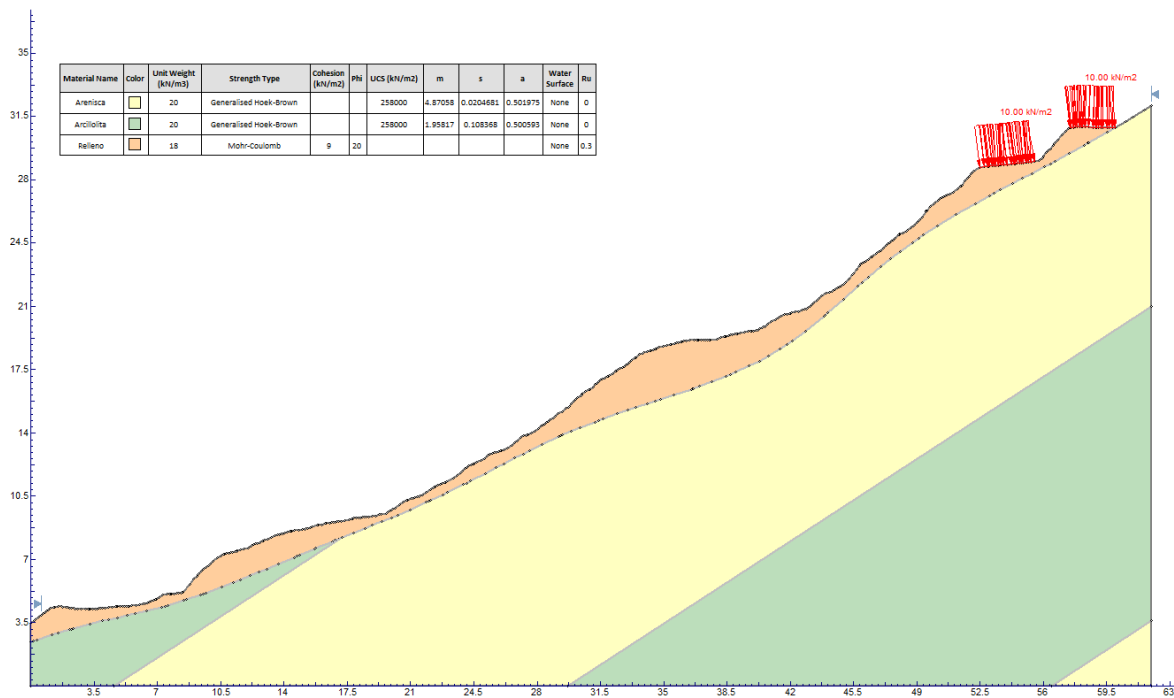
De acuerdo con los resultados del Back análisis se toman los siguientes valores para realizar el análisis de estabilidad actual del talud.

- Angulo de fricción: 20°
- Cohesión: 0.9 t/m²

6.2.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ACTUAL

En el presente capítulo se recopilan los análisis de estabilidad por equilibrio limite realizados para la sección crítica del sitio. En la Ilustración 3-1 Modelo geotécnico y parámetros sitio crítico se presenta el modelo geotécnico con los parámetros ingresados en el software Slide V6.0.

Ilustración 3-1 Modelo geotécnico y parámetros sitio crítico



Fuente: Elaboración propia

Se analizaron cuatro escenarios:

Escenario 1: Condición estática en condición seca.

Escenario 2: Condición estática en condición saturada.

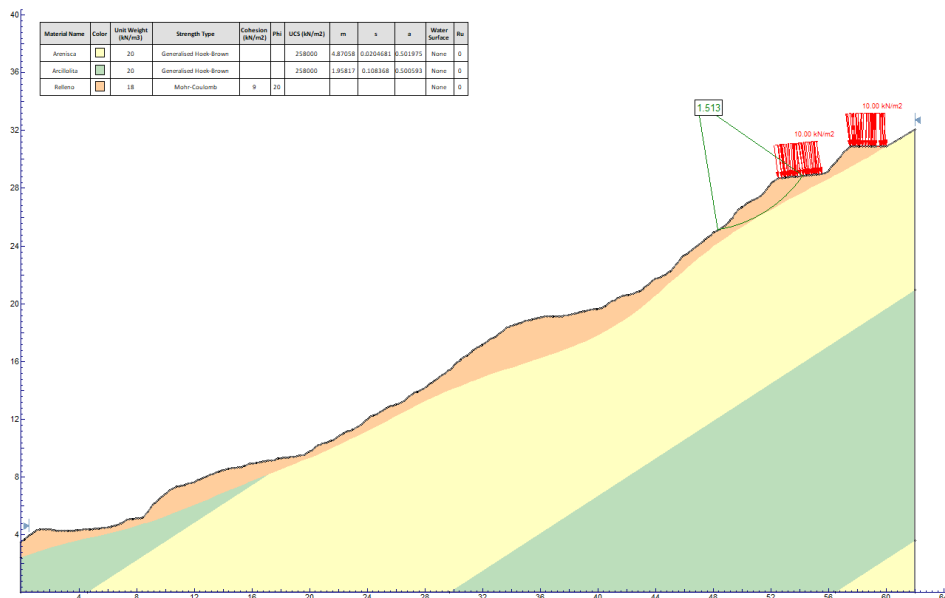
Escenario 3: Condición pseudoestática en condición seca.

Escenario 4: Condición pseudoestática en condición saturada.

En cuanto a los criterios para evaluar la estabilidad, se tomó como referencia los enunciados en el título H de la NSR-10, teniendo que para condiciones estáticas el talud es estable si presenta factor de seguridad >1.5 y para condiciones pseudoestáticas >1.05 .

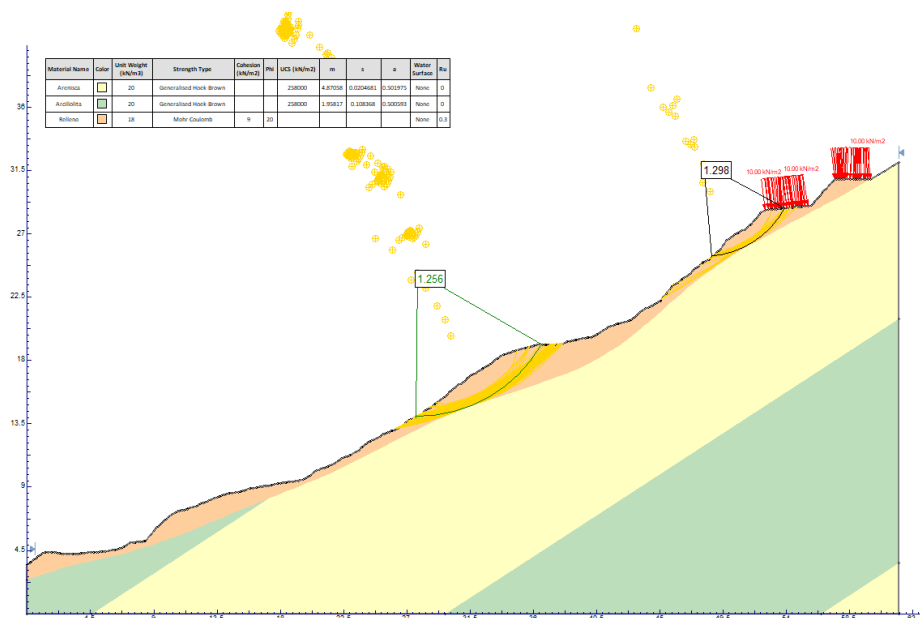
Desde la Ilustración 3-2 hasta la Ilustración 3-5 se presentan los análisis de estabilidad para la condición actual considerando los cuatro escenarios de análisis.

Ilustración 3-2 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + seco



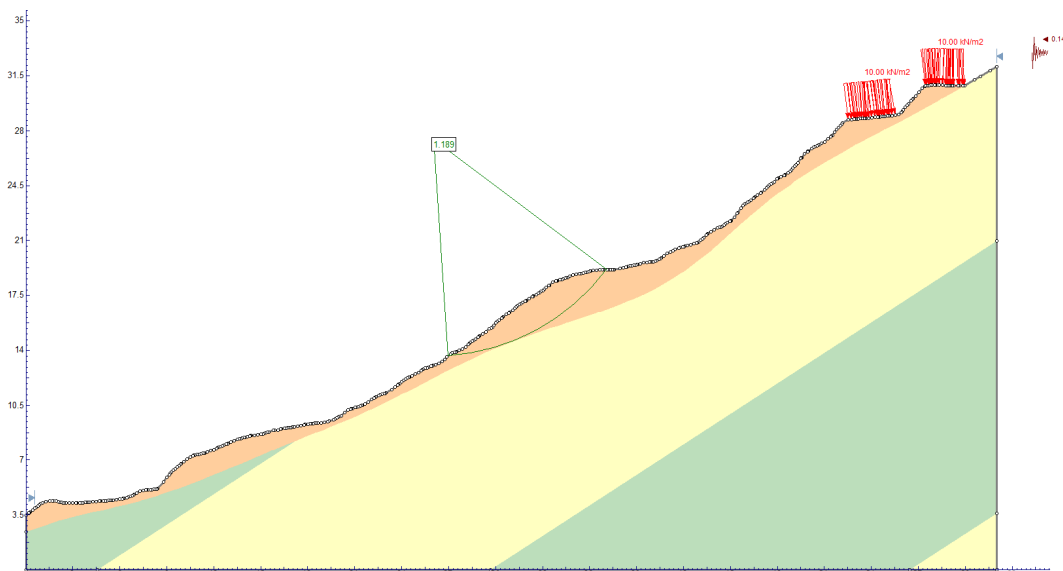
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-3 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + saturado



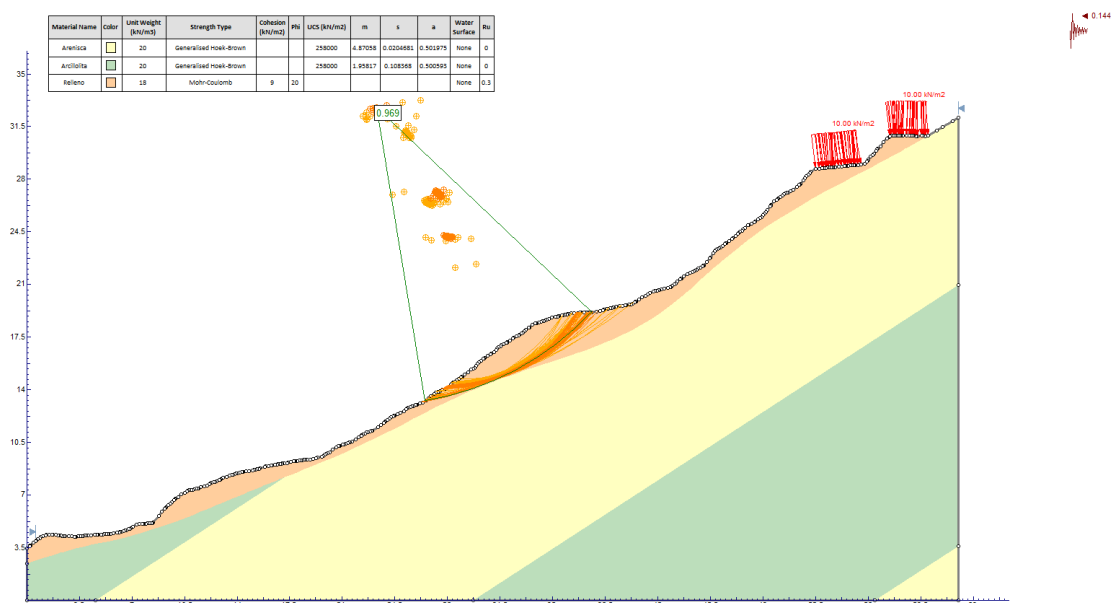
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-4 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudostático + seco



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-5 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudoestático + saturado



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados del factor de seguridad (FS) obtenidos para la sección analizada, considerando las condiciones estática y pseudoestática. Los resultados incluyen la evaluación del FS actual y del FS actual con relación de ($RU = 0.3$), junto con la correspondiente clasificación de la condición de amenaza.

Tabla 3-1 Resumen condición de inestabilidad

Escenario	Agua	Sismo	Factor de seguridad
1	Seco	Estático	1.5
2	Saturado	Estático	1.298
3	Seco	Pseudoestático	1.189
4	Saturado	Pseudoestático	0.969

Fuente: Elaboración propia

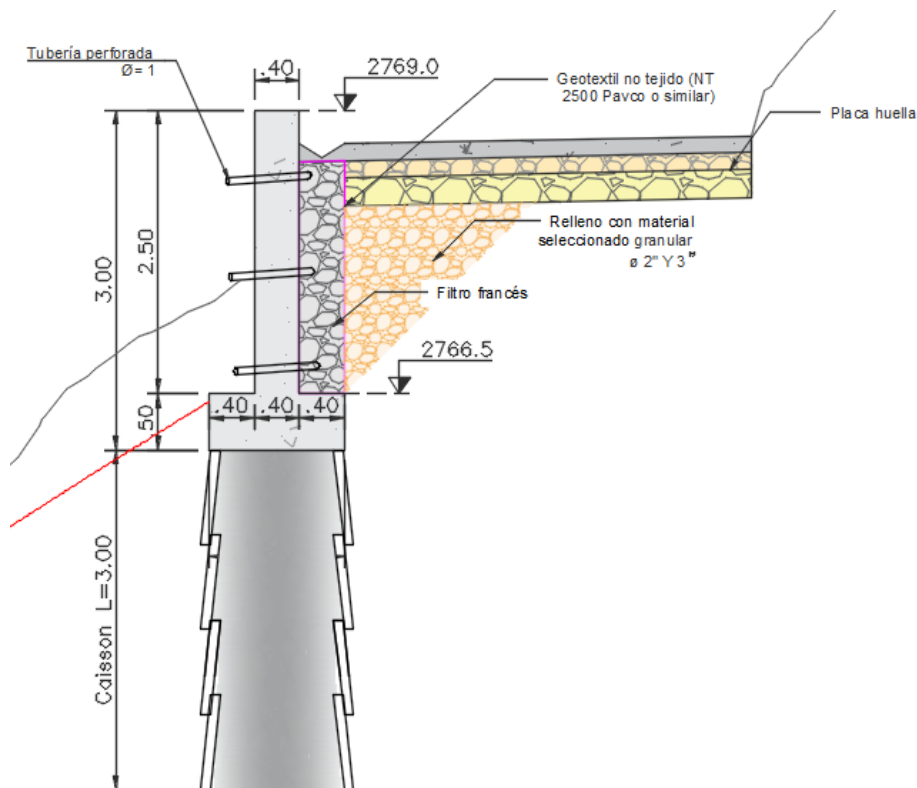
De los análisis de estabilidad del talud se concluye que se generan fallas con espesor de aproximadamente 2.0 metros y en ningún escenario se cumple con los factores de seguridad mínimos establecidos por la norma.

6.2.3 DISEÑO OBRAS DE CONTENCIÓN

6.2.3.1 Muro de contención apoyado en caisson

El muro de contención cimentado sobre caisson corresponde a la estructura principal de contención, localizada en el talud exterior. Esta alternativa se encuentra implantada geométricamente sobre la topografía real del sitio crítico, garantizando la estabilidad de la vía. Está conformada por un muro en voladizo de 3.0m de altura y caissons de 1.0 m de diámetro y 3 m de longitud, con una separación entre ejes equivalente a 3 veces el diámetro (3.0 m) conectados mediante la zarpa del muro de contención.

Ilustración 3-6 Esquema sistema de contención



Fuente: Elaboración propia

6.2.3.2 Determinación de empujes

Los empujes actuantes sobre el sistema de contención se calcularon empleando la teoría de Coulomb modificada, asumiendo una condición de desconfinamiento posterior y un comportamiento tipo voladizo para el estado estático. Para el caso pseudoestático, se utilizó la formulación de Mononobe–Okabe, considerando las condiciones sísmicas definidas para el sitio.

Tabla 3-2 Parámetros de entrada del suelo SC

Material	γ_t t/m ³	Phi [°]	[C] t/m ²
Relleno	1.8	20	0.9
Prga	1.98	39.6	1881.9

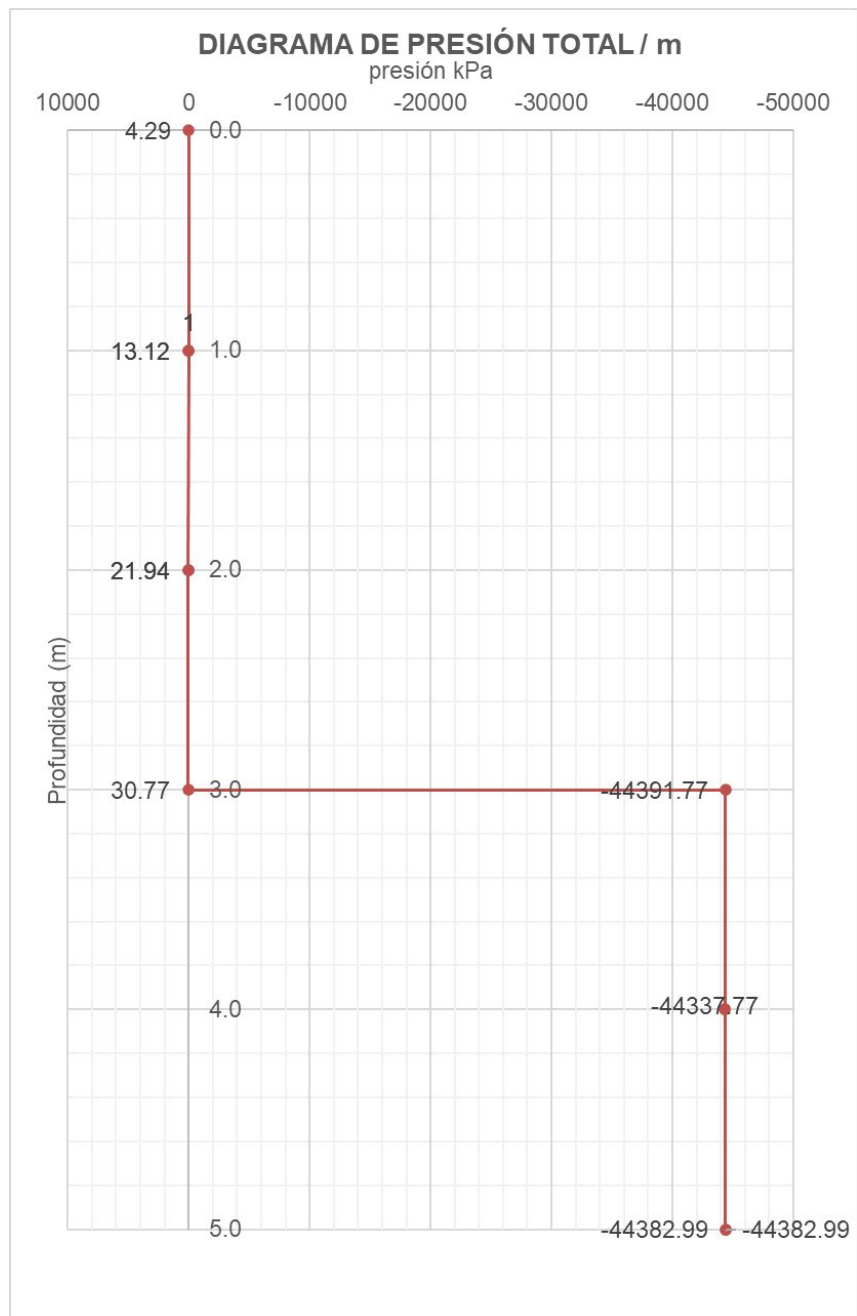
La distribución de esfuerzos obtenida se presenta en la Ilustración 8 -13. Para su determinación se adoptaron los siguientes criterios específicos del proyecto:

- La sobrecarga de la vía corresponde a 10 kN/m²
- Altura libre del sistema: 3.0 m (correspondiente a la altura del muro de contención).
- Longitud total del caisson: 3.0 m.
- Profundidad de empotramiento: 3.0 m (porción del caisson por debajo del nivel de la superficie de falla).
- De acuerdo con el modelo geotécnico caracterizado en campo, al material de relleno corresponde al encontrado in situ, mientras que el suelo portante corresponde al estrato de suelo arenisca (Prga).
- El factor de seguridad se tuvo en cuenta la reducción del esfuerzo pasivo del material utilizando un coeficiente de 1.8, siguiendo criterios de diseño conservadores.

Para verificar la estabilidad del sistema, se estableció el equilibrio mediante la sumatoria de momentos. En esta verificación, se exigió que el momento resistente (pasivo) fuera mayor al momento generado por los empujes activos.

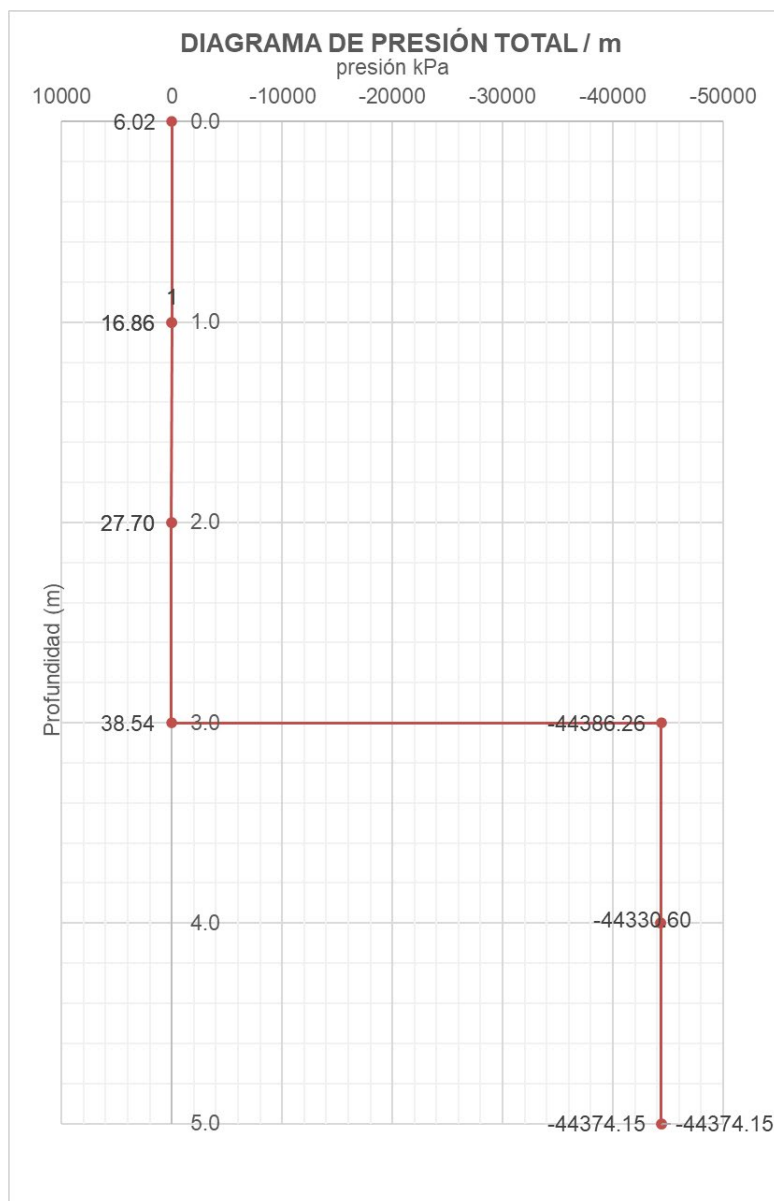
A continuación, se presentan los resultados del análisis con los factores de seguridad de los momentos y las fuerzas.

Ilustración 3-7 Diagrama de presiones totales Muro cimentado en cortina de caisson estático



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-8 Diagrama de presiones totales Muro cimentado en cortina de caisson pseudoestático



Fuente: Elaboración propia

6.2.3.3 Módulo de reacción horizontal

El módulo de reacción horizontal se determinó a partir de correlaciones empíricas, para este

material se seleccionó el método de Terzaghi, 1955, en la siguiente ecuación se presenta la expresión matemática.

$$k_s = n_h \frac{z}{b}$$

Tabla 3-3 Módulos de reacción horizontal caisson

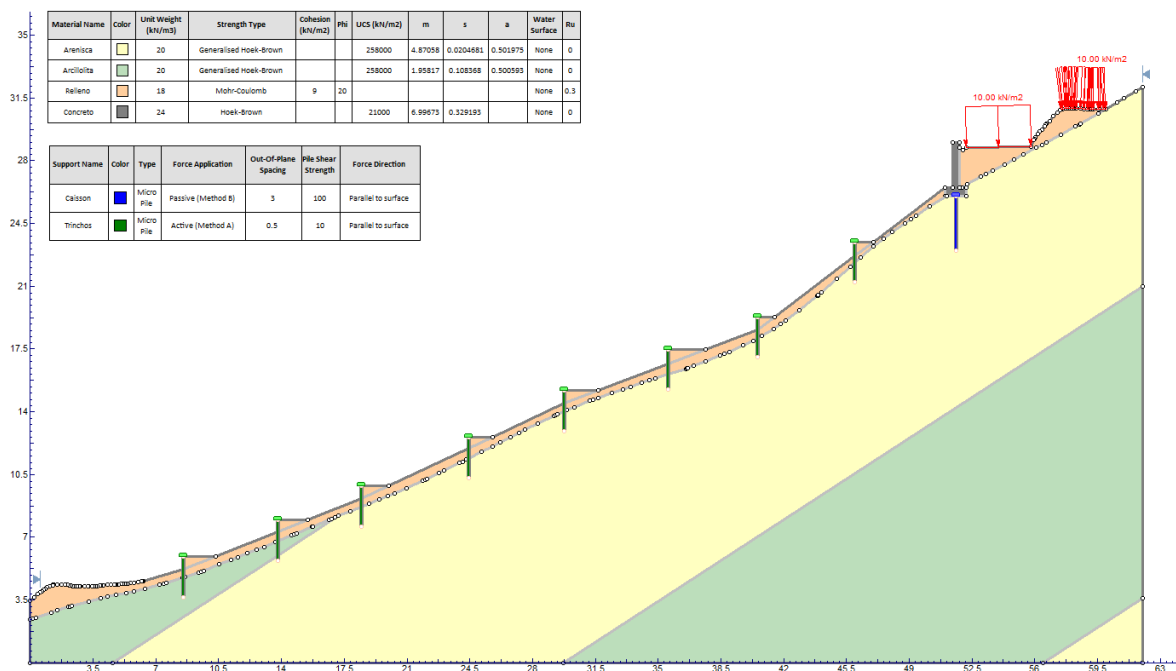
Módulo de reacción horizontal		
Longitud(m)	nh (kN/m3)	kh (kN/m3)
1	18000	18000
2	18000	36000
3	18000	54000

6.2.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRA

6.2.4.1 Alternativa 1

En el presente capítulo se recopilan los análisis de estabilidad por equilibrio limite realizados para la sección crítica del sitio con obra. En la Ilustración 3-1 Modelo geotécnico y parámetros sitio crítico se presenta el modelo geotécnico con los parámetros ingresados en el software Slide V6.0.

Ilustración 3-9 Modelo geotécnico y parámetros sitio crítico



Fuente: Elaboración propia

Se analizaron cuatro escenarios:

Escenario 1: Condición estática en condición seca.

Escenario 2: Condición estática en condición saturada.

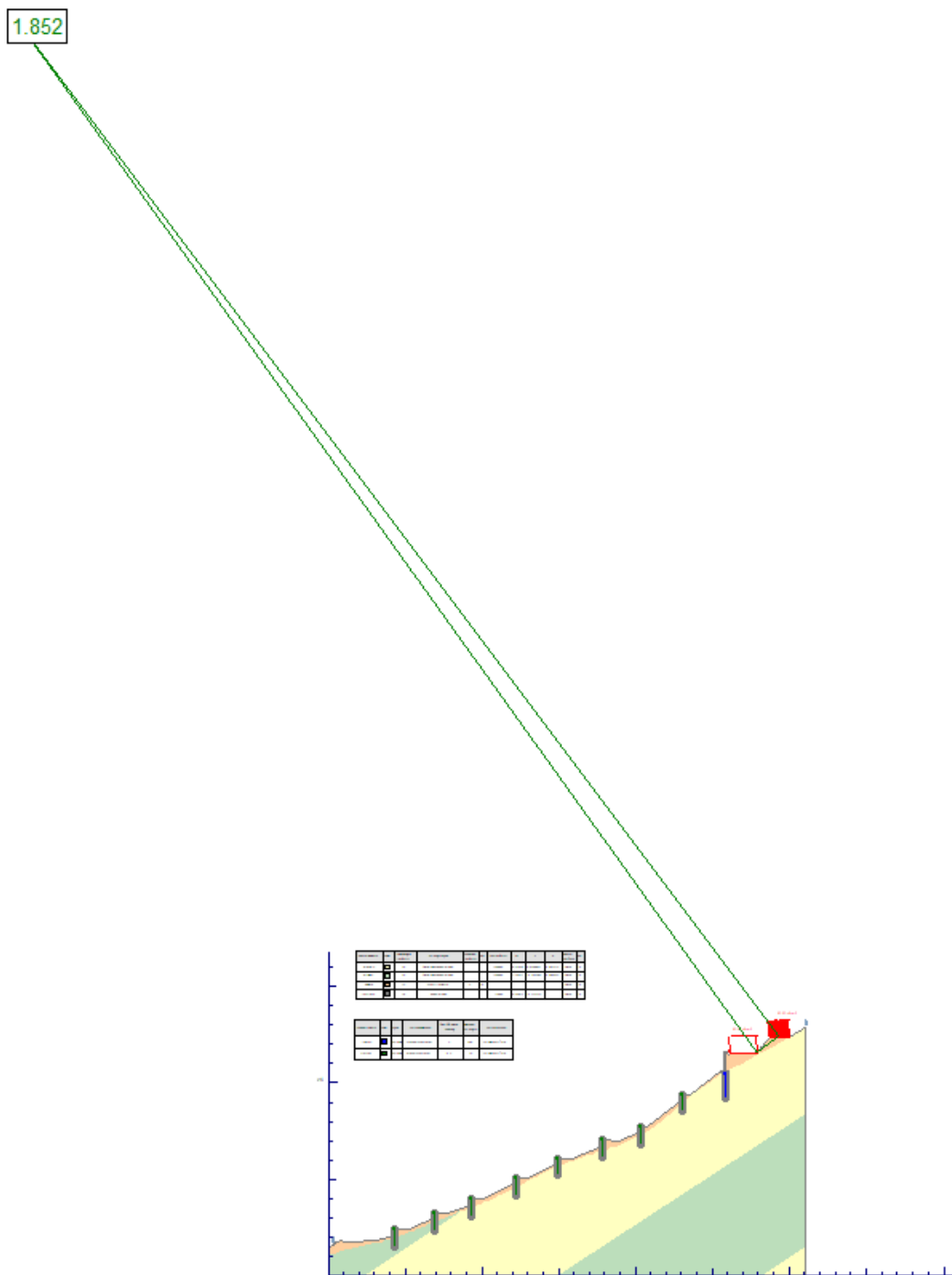
Escenario 3: Condición pseudoestática en condición seca.

Escenario 4: Condición pseudoestática en condición saturada.

En cuanto a los criterios para evaluar la estabilidad, se tomó como referencia los enunciados en el título H de la NSR-10, teniendo que para condiciones estáticas el talud es estable si presenta factor de seguridad >1.5 y para condiciones pseudoestáticas >1.05 .

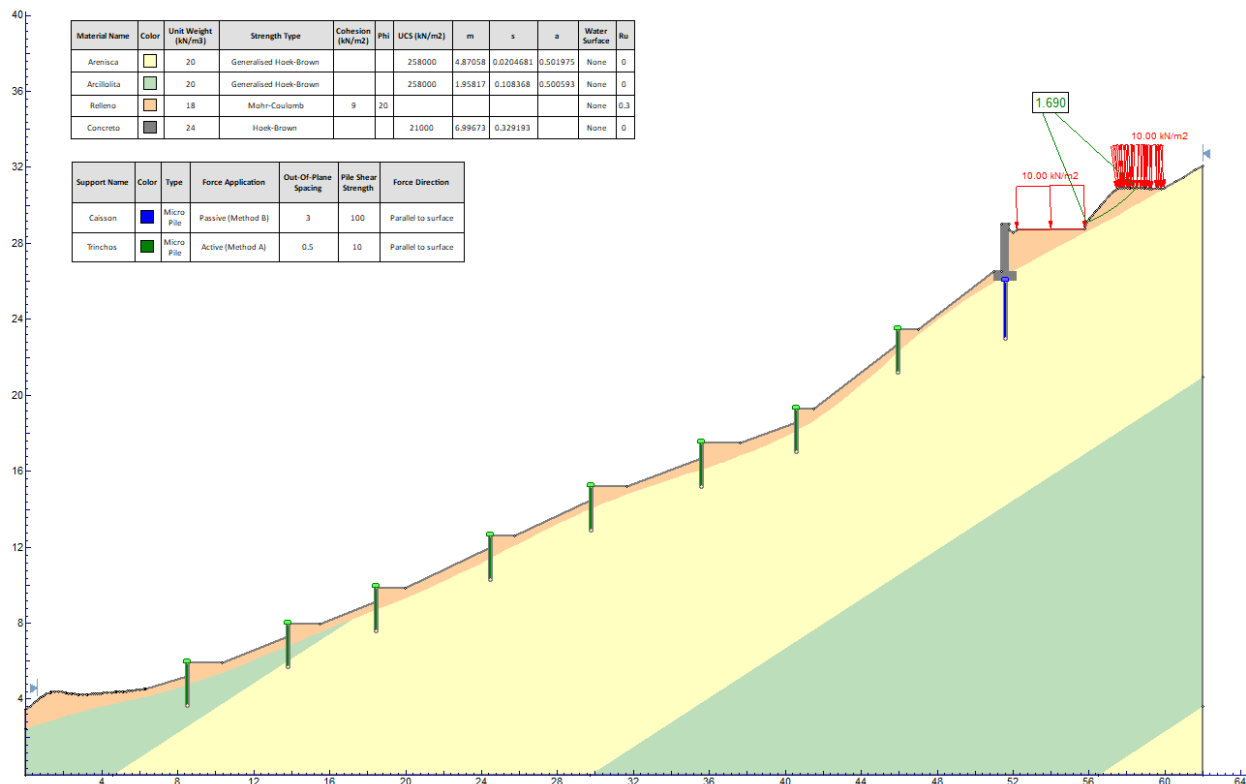
Desde la Ilustración 3-10 hasta la Ilustración 3-13 se presentan los análisis de estabilidad para la condición actual considerando los cuatro escenarios de análisis.

Ilustración 3-10 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + seco



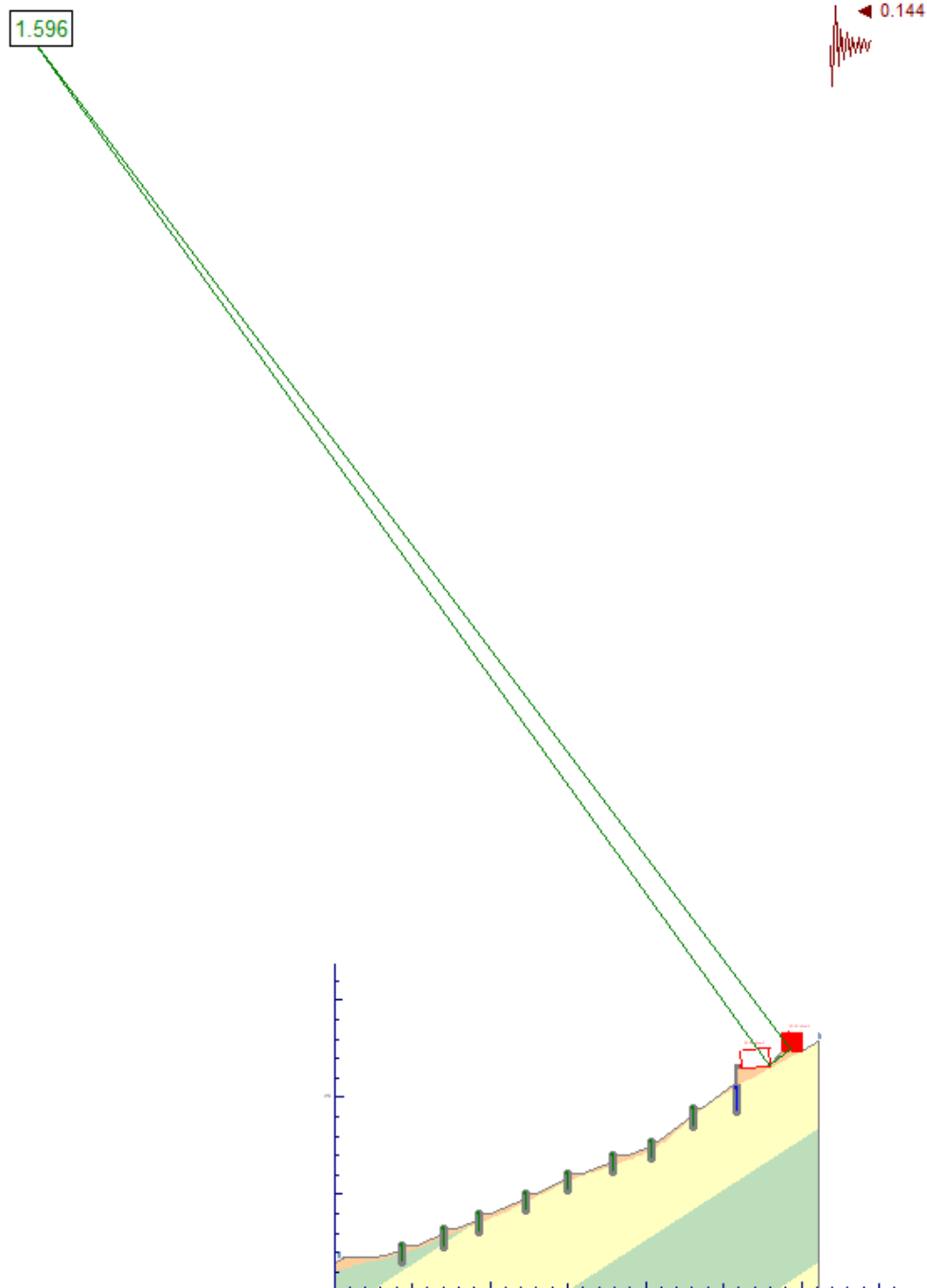
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-11 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + saturado



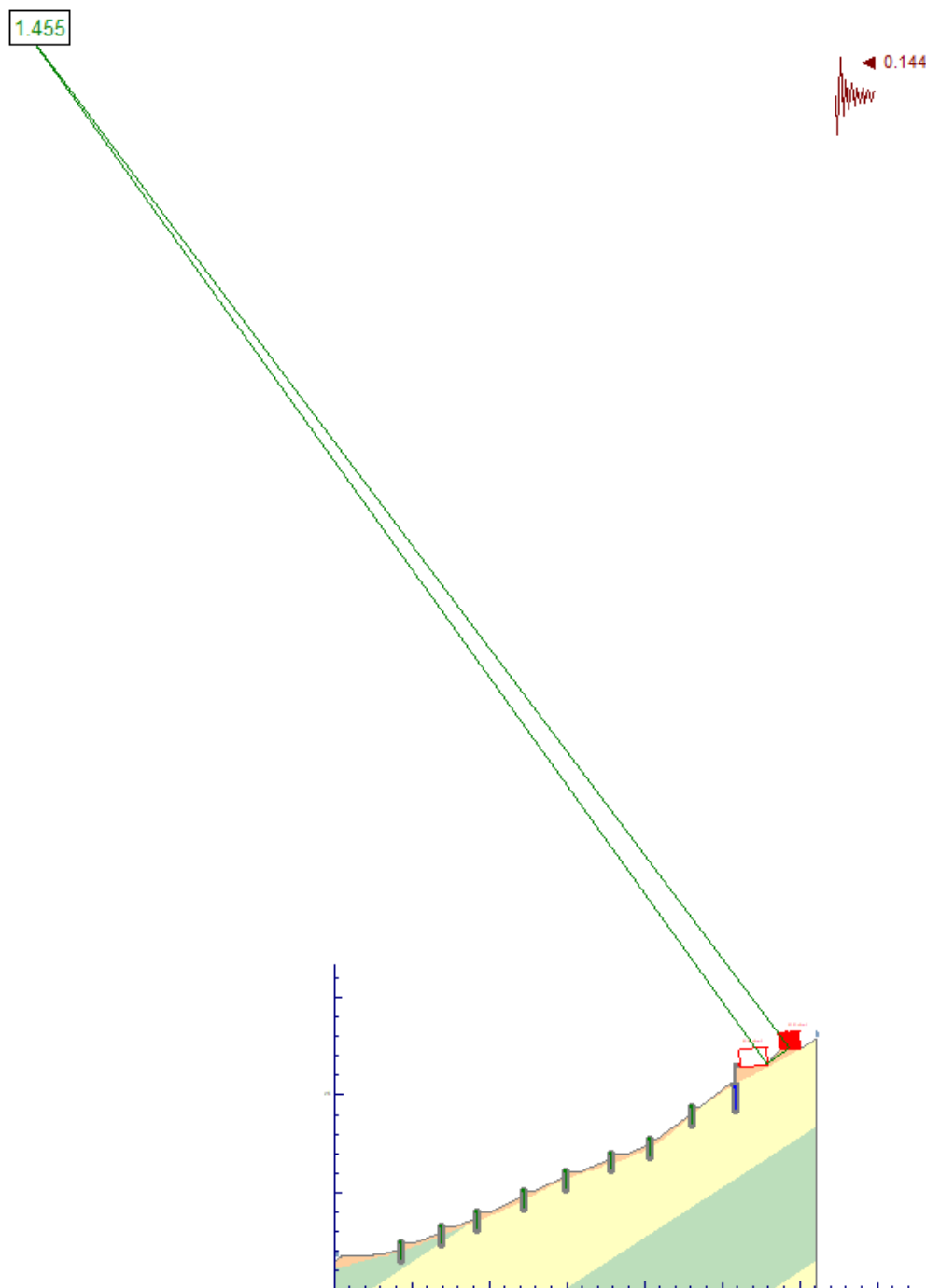
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-12 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudostático + seco



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-13 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudoestático + saturado



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados del factor de seguridad (FS) obtenidos para la sección analizada, considerando las condiciones estática y pseudoestática. Los resultados incluyen la evaluación del FS actual y del FS actual con relación de ($RU = 0.3$), junto con la correspondiente clasificación de la condición de amenaza.

Tabla 3-4 Resumen factores de seguridad

Escenario	Agua	Sismo	Factor de seguridad
1	Seco	Estático	1.852
2	Saturado	Estático	1.69
3	Seco	Pseudoestático	1.596
4	Saturado	Pseudoestático	1.455

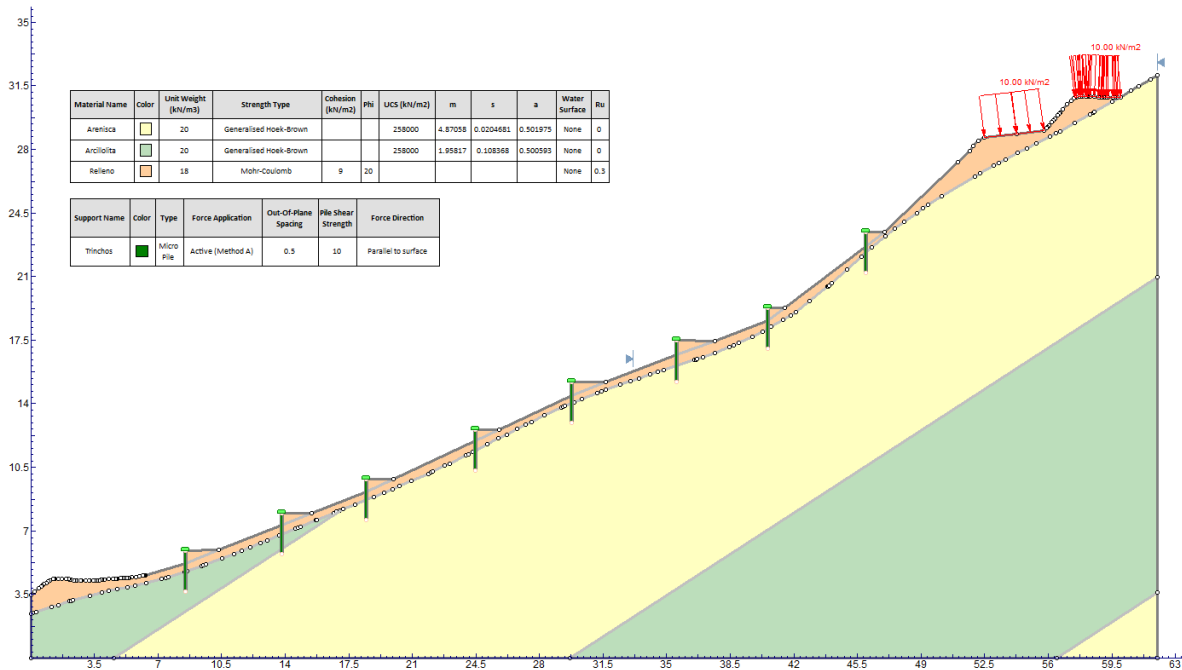
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos indican que el talud presenta condiciones de estabilidad adecuadas, alcanzando factores de seguridad superiores a los mínimos requeridos para los estados analizados.

6.2.4.2 Alternativa 2

En el presente capítulo se recopilan los análisis de estabilidad por equilibrio limite realizados para la sección crítica del sitio con obra. En la Ilustración 3-14 se presenta el modelo geotécnico con los parámetros ingresados en el software Slide V6.0.

Ilustración 3-14 Modelo geotécnico y parámetros sitio crítico



Fuente: Elaboración propia

Se analizaron cuatro escenarios:

Escenario 1: Condición estática en condición seca.

Escenario 2: Condición estática en condición saturada.

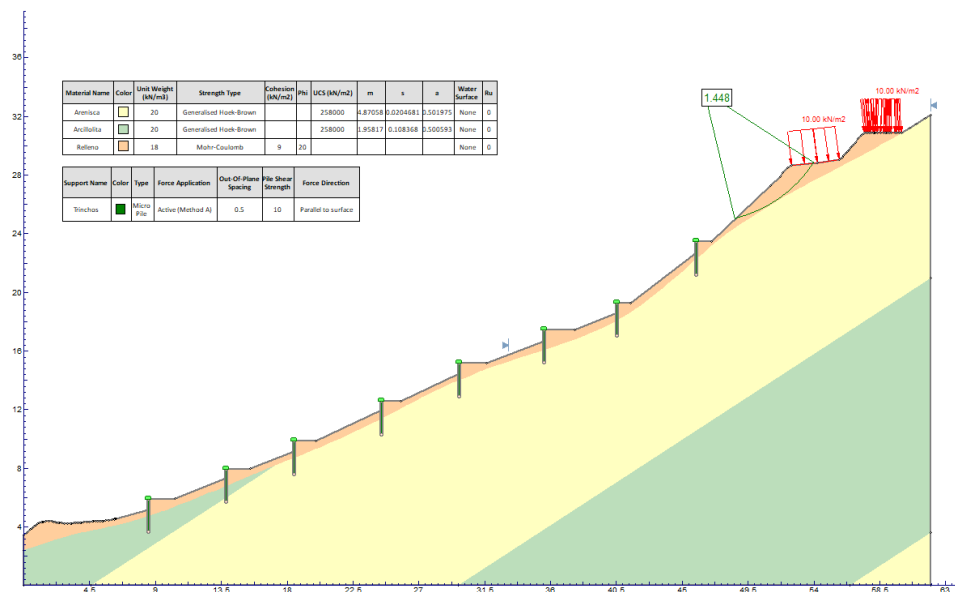
Escenario 3: Condición pseudoestática en condición seca.

Escenario 4: Condición pseudoestática en condición saturada.

En cuanto a los criterios para evaluar la estabilidad, se tomó como referencia los enunciados en el título H de la NSR-10, teniendo que para condiciones estáticas el talud es estable si presenta factor de seguridad >1.5 y para condiciones pseudoestáticas >1.05 .

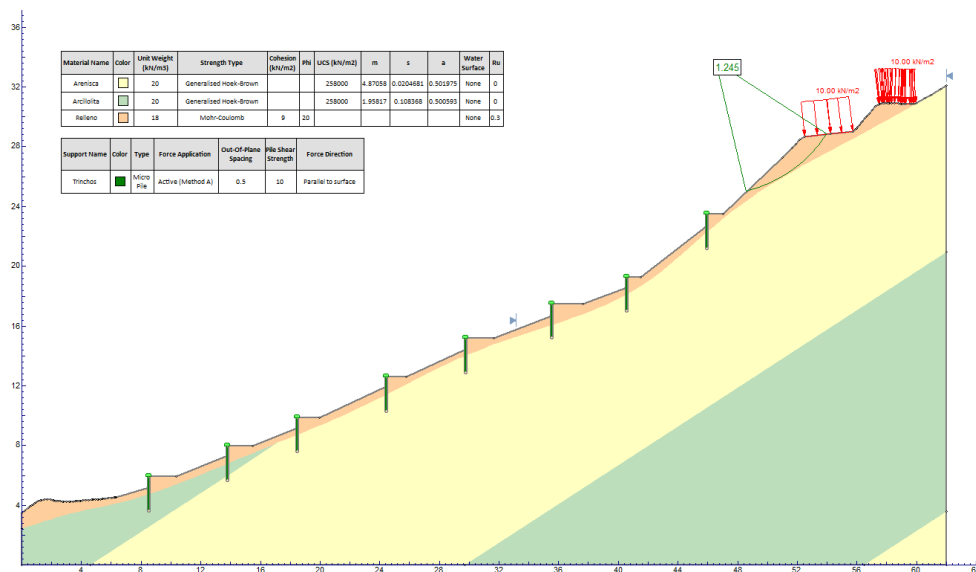
Desde la Ilustración 3-15 hasta la Ilustración 3-18 se presentan los análisis de estabilidad para la condición actual considerando los cuatro escenarios de análisis.

Ilustración 3-15 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + seco



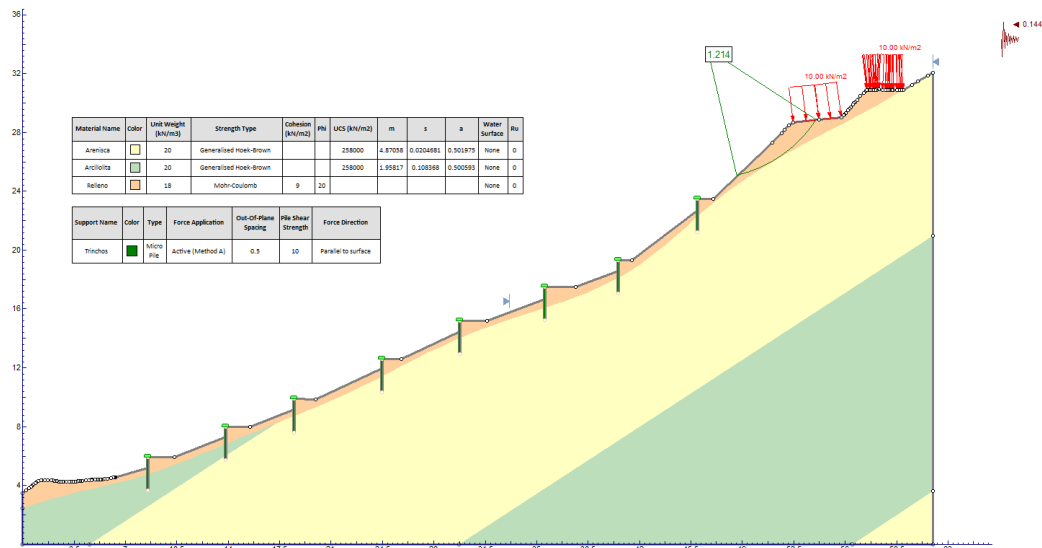
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-16 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Estático + saturado



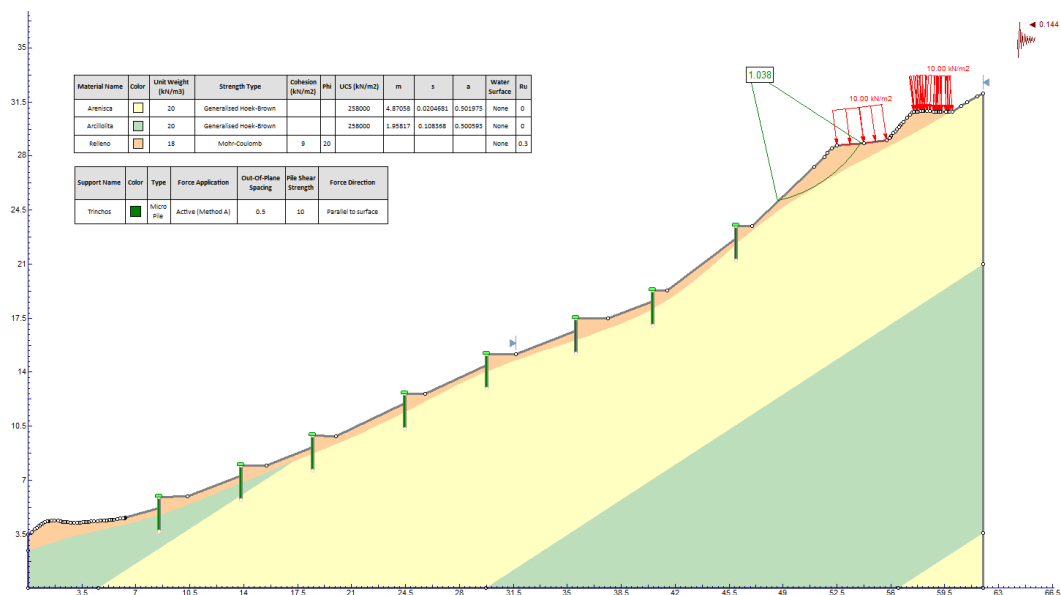
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-17 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudostático + seco



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-18 Condición de inestabilidad- Escenario 1: Pseudoestático + saturado



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados del factor de seguridad (FS) obtenidos para la sección analizada, considerando las condiciones estática y pseudoestática. Los resultados incluyen la evaluación del FS actual y del FS actual con relación de ($RU = 0.3$), junto con la correspondiente clasificación de la condición de amenaza.

Tabla 3-5 Resumen factores de seguridad

Escenario	Agua	Sismo	Factor de seguridad
1	Seco	Estático	1.448
2	Saturado	Estático	1.245
3	Seco	Pseudoestático	1.214
4	Saturado	Pseudoestático	1.038

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos indican que el talud presenta condiciones de estabilidad adecuadas, alcanzando factores de seguridad superiores a los mínimos requeridos para los estados analizados.

La Tabla H.2.4-1 del Título H de la NSR-10 establece los factores de seguridad básicos mínimos directos (FS) aplicables a la estabilidad de taludes, fijando un valor de **1.50** para la condición estática con nivel freático normal, y de **1.05** para la condición pseudoestática con coeficiente sísmico de diseño. Estos umbrales constituyen el criterio de verificación para la evaluación de las alternativas planteadas.

La Alternativa 2 incumple el criterio normativo en tres de los cuatro escenarios analizados. De manera particular, resulta significativo que el incumplimiento se presente ya en la condición estática seca ($FS = 1.448 < 1.50$), es decir, en el escenario de menor exigencia hidráulica y sin solicitación sísmica. Esto indica que la capacidad de estabilización aportada exclusivamente por los trinchos es insuficiente para garantizar la estabilidad del talud superior donde se localiza la vía.

Con base en lo anterior, se selecciona la Alternativa 1 como la solución técnicamente viable, dado que el sistema conformado por el muro de contención sobre caisson con obras

complementarias de trinchos garantiza el cumplimiento de los factores de seguridad mínimos establecidos en la Tabla H.2.4-1 de la NSR-10 en la totalidad de los escenarios evaluados, incluyendo las combinaciones más desfavorables de saturación y sollicitación sísmica.

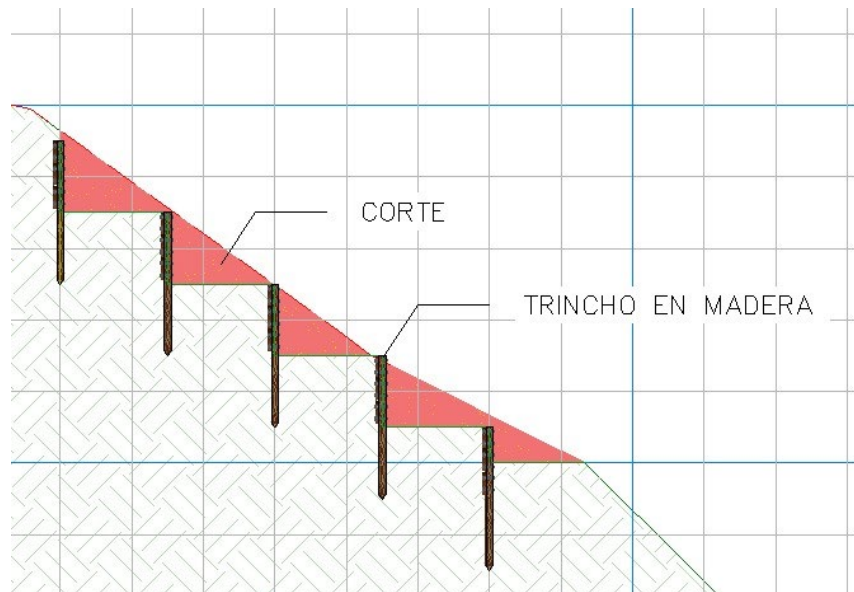
6.2.5 OBRAS COMPLEMENTARIAS

6.2.5.1 Reconformación morfométrica

La obra principal estará acompañada de la reconformación del terreno en los sectores donde se identificó la presencia de relleno antrópico. Estas zonas serán previamente perfiladas y adecuadas mediante cortes controlados, con el fin de definir una geometría estable y acorde con las condiciones del talud.

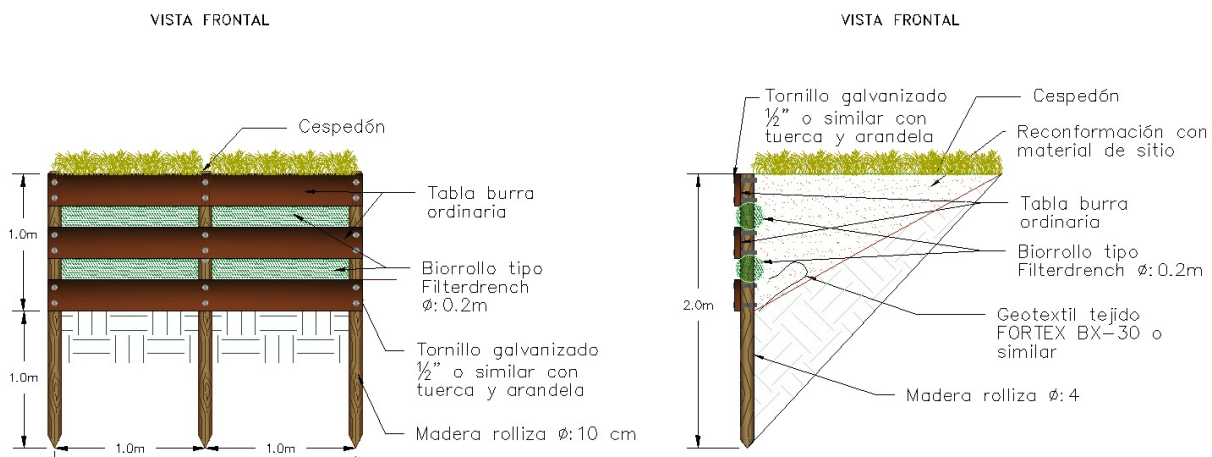
Sobre estas superficies se implementará un sistema de terrazas confinadas mediante trinchos de madera, los cuales permitirán estabilizar el material superficial, mejorar el control de la erosión y reducir la ocurrencia de movimientos superficiales. Este sistema estará conformado por elementos en madera, dispuestos de manera escalonada, con relleno de material del sitio y elementos drenantes tipo biorrollo, favoreciendo además el establecimiento de cobertura vegetal.

Figura 24. Esquema de cortes en obras complementarias



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Vista en perfil trincho en madera



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3-19 Imágenes de referencia obra complementaria trincho en madera



Fuente: Elaboración propia

6.2.5.2 Diseño de pavimentos

Se recomienda implementar una estructura de pavimento tipo placa huella sobre la calle 60 sur, de forma que se garantice el tránsito cómodo y seguro para los agentes viales, así como asegurar el correcto manejo de aguas en la zona aledaña al sitio crítico.

Con base en los lineamientos de la Cartilla de Colombia Rural del Instituto Nacional de vías (INVIAS) y en función de las características del tráfico esperado en el proyecto y las condiciones del suelo de subrasante, se presenta en este capítulo la estructura de placa huella propuesta.

Vehículo de diseño

Con base en las condiciones de operación del sector, el vehículo de diseño es el camión C3.

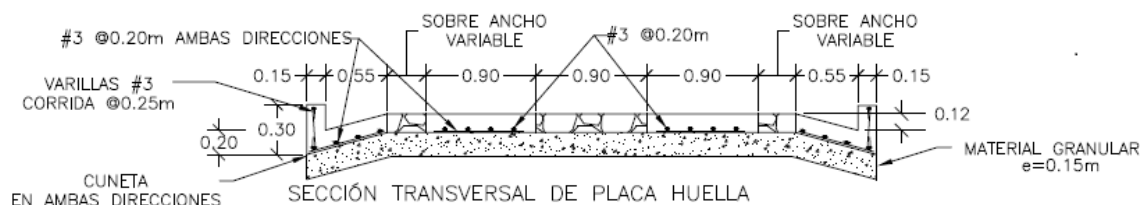
Características de la subrasante

El material de subrasante corresponde al relleno antrópico Qan conformado por materiales no consolidados, por tanto, no se recomienda implantar la estructura de pavimento sobre este material. Se propone incluir una capa de mejoramiento de mínimo 25 cm de espesor con material tipo recebo, debe cumplir con los lineamientos del Artículo 610 – 22.

Estructura de placa huella

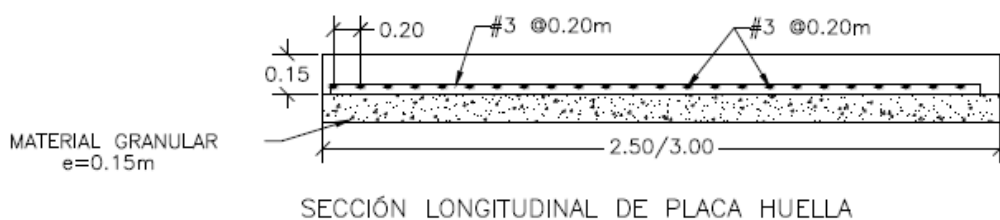
Se propone una estructura de placa huella conformada por placas de concreto de 15 cm reforzada con varilla No. 3 en ambas direcciones, apoyada sobre una capa de subbase granular de 15 cm, tal como se presenta en la siguiente figura.

Figura 26 Sección transversal placa huella



Fuente: Cartilla Colombia Rural

Figura 27 Sección longitudinal placa huella



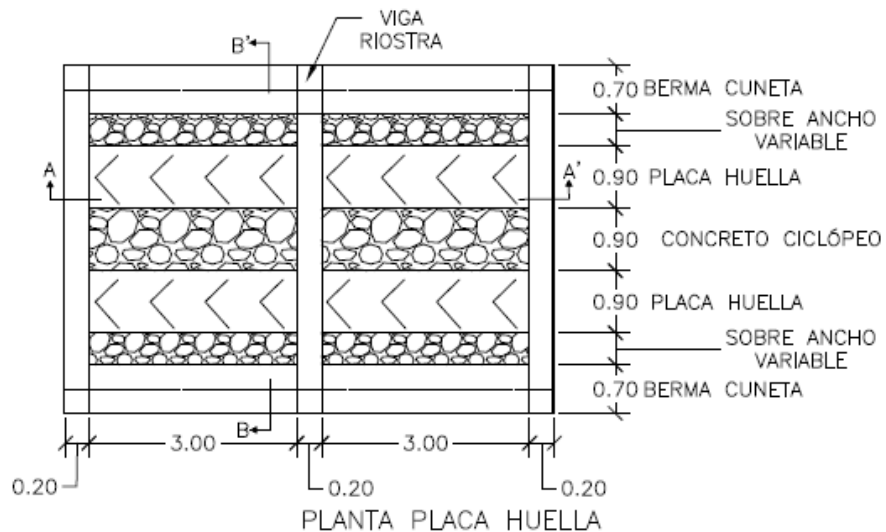
Fuente: Cartilla Colombia Rural

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se debe incluir una capa de mejoramiento de mínimo 25 cm de espesor con material tipo recebo, debe cumplir con los lineamientos del Artículo 610 – 22.

Modulación y detalles constructivos

La modulación se realiza mediante placas de 3.0 m de espesor, separadas con vigas riostras de 20 cm, tal como se muestra en la siguiente figura.

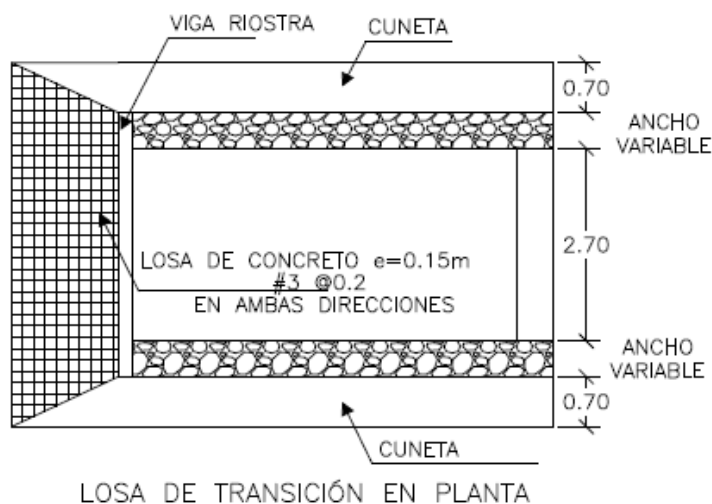
Figura 28 Modulación de placa huella



Fuente: Cartilla Colombia Rural

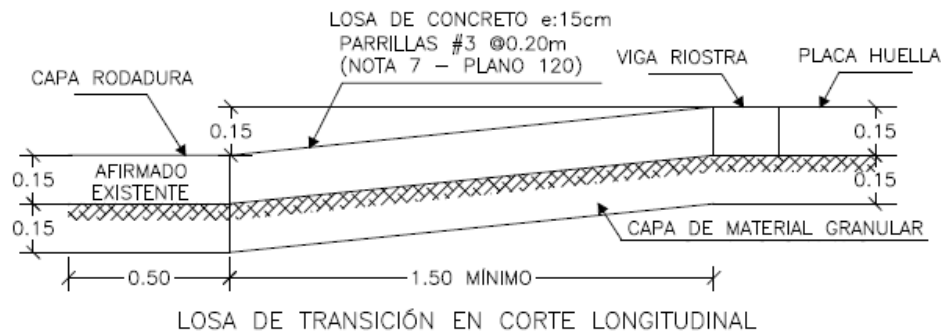
El empalme con las vías existentes se realizará con una placa de concreto de 15 cm de espesor y longitud de mínimo 1.50 m, reforzadas con parrilla No. 3 con separación de 20 cm.

Figura 29 Planta losa de transición



Fuente: Cartilla Colombia Rural

Figura 30 Sección viga de transición

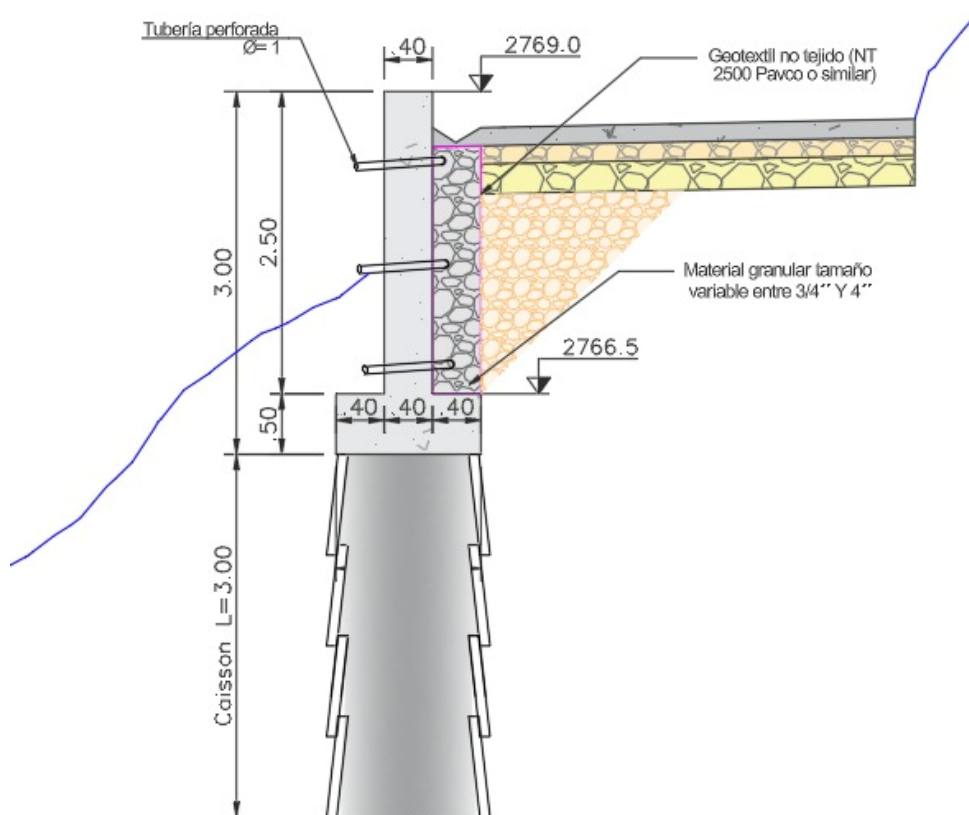


Fuente: Cartilla Colombia Rural

6.2.6 IMPLANTACIÓN FINAL DE OBRAS

En la siguiente figura se presenta la implantación de la obra de contención.

Figura 31 Implantación obra de contención

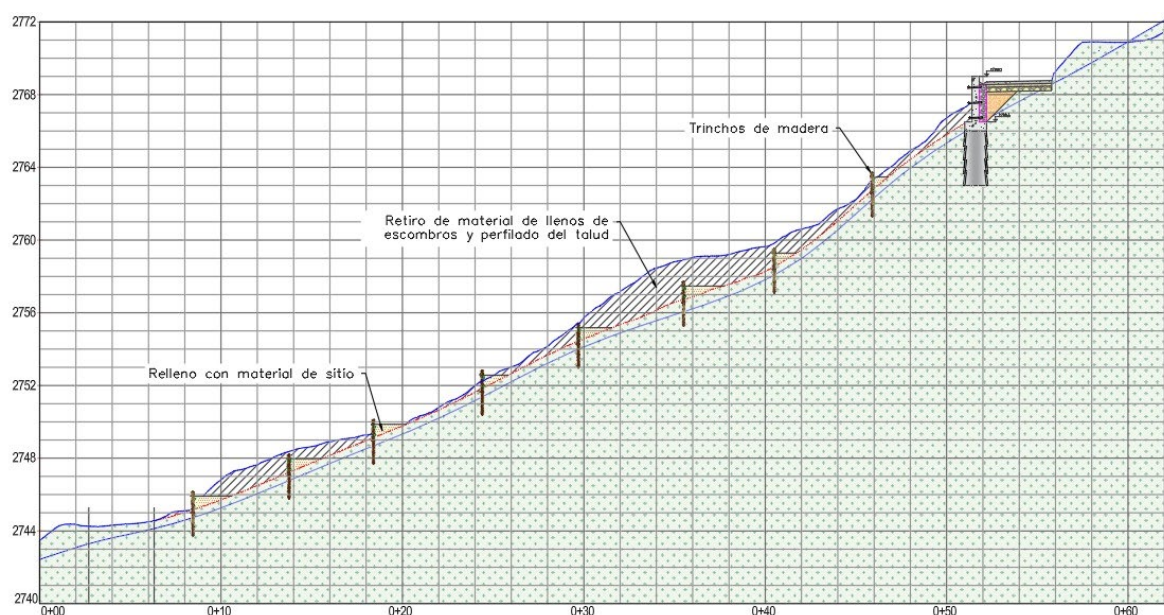


Fuente: Elaboración propia

Con base en las condiciones de pendiente del talud y con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de la obra, se propone que los caisson sean de 3.0 m de longitud.

En la siguiente figura se presenta la implantación general del proyecto, la misma que puede ser revisada en los planos anexos.

Figura 32 Implantación general del proyecto



Fuente: Elaboración propia

6.3 DISEÑO ESTRUCTURAL

6.3.1 OBRAS PROPUESTAS

Dado que la afectación en el área de estudio está relacionada con un factor de inestabilidad, se construirán cuatro módulos con muros de concreto reforzado. Estos muros tendrán zarpas de 1.20 metros y un espesor de entre 0.5 metros. El vástago de los módulos variará en altura, desde 2 metros hasta 3 metros, con un espesor de 0.40 metros en la parte superior y 0.50 metros en la base. La función principal de la estructura de contención será retener el material superficial, para lo cual se diseñarán los módulos cimentados sobre caissons de 1 metro de diámetro y una profundidad de 3 metros.

6.3.2 DIMENSIONAMIENTO

6.3.2.1 Materiales

En el diseño se utilizaron las siguientes resistencias para los materiales:

Muro de contención: $f'_c = 28.0 \text{ MPa}$

Pilotes y Caisson: $f'_c = 28.0 \text{ MPa}$

Zarpas: $f'_c = 28.0 \text{ MPa}$

Refuerzo:

Barras $\leq \Phi 3/8"$: $F_y = 420.0 \text{ MPa}$

Barras $\geq \Phi 1/2"$: $F_y = 420.0 \text{ MPa}$

6.3.2.2 Normas

El diseño de la estructura, y todos sus elementos constitutivos, fue realizada cumpliendo con los requerimientos establecidos por las NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTES, Correspondientes a:

- Código Colombiano de Puentes – 2014. (CCP-14). Adoptado mediante Resolución N° 0000108, del 26 de enero de 2015 por el Ministerio de Transporte.
- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications

6.3.2.3 Análisis de cargas

El análisis se efectuó a partir de las condiciones geológicas del sitio, considerando las

solicitaciones impuestas por las cargas permanentes y transitorias, conforme los requisitos establecidos en el CCP14.

Para el análisis estructural se consideraron las siguientes cargas:

6.3.2.3.1 Cargas permanentes

6.3.2.3.1.1 Peso propio (DC)

Corresponde al peso de la estructura.

6.3.2.3.1.2 Presión del terreno (EH y EV)

Corresponde a la presión horizontal y/o vertical inducida por el material de relleno.

6.3.2.3.2 Cargas transitorias

6.3.2.3.2.1 Carga viva (LL)

Corresponde a las Cargas generadas de acuerdo con el uso que tendrá la estructura.

6.3.2.3.2.2 Sobrecarga de carga viva (LS)

Debe aplicarse donde se espere carga vehicular sobre la superficie del relleno dentro de una distancia igual a la mitad de la altura del estribo o muro desde el respaldo de este.

6.3.2.3.2.3 Presión del agua (WA)

Corresponde a la presión vertical inducida por el nivel de agua máximo dentro de la estructura.

6.3.2.3.2.4 Efectos sísmicos (EQ)

De acuerdo con lo establecido en el código Colombiano de Puentes CCP-14 y a la información contenida en el informe geológico-geotécnico, se determinan los valores para los efectos sísmicos de la zona.

Para la evaluación de las cargas sísmicas se tuvo en cuenta el efecto inercial de la estructura, y se empleó la teoría de Mononobe-Okabe para determinar el empuje dinámico del terreno, el cual se relaciona en el capítulo diseño estructural.

6.3.2.4 Combinaciones de diseño

Para el análisis y diseño estructural se han tenido en cuenta las combinaciones y factores de mayoraciones presentadas en las tablas 3.4.1-1 y 3.4.1-2 del CCP-14.

Tabla 6 Combinaciones y factores de carga.

Estado Límite de la Combinación de carga	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Use uno de estos a la vez				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Resistencia I (a menos que se indique)	γ_p	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia II	γ_p	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia III	γ_p	-	1.00	1.40 0	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia IV	γ_p	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia V	γ_p	1.35	1.00	0.40 0	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Evento Extremo I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-
Evento Extremo II	γ_p	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Servicio I	1.00	1.00	1.00	0.30 0	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Servicio III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio IV	1.00	-	1.00	0.70 0	-	1.00	1.00/1.20	-	1.0	-	-	-	-	-
Fatiga I- Sólo LL, IM & CE	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fatiga I II- Sólo LL, IM & CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Tabla 3.4.1-1, CCP-14

Tabla 7 Factores para cargas permanentes.

Tipo de Carga, tipo de Cimentación, y Método para Calcular la fricción negativa		Factor de Carga	
		Máximo	Mínimo
<i>DC</i> : Componentes y Accesorios		1.25	0.90
<i>DC</i> : Sólo Resistencia IV		1.50	0.90
<i>DD</i> : Fricción negativa	Pilas, Método α Tomlinson	1.4	0.25
	Pilas, Método λ	1.05	0.30
	Pozos perforados, Método O'Neill and Reese (1999)	1.25	0.35
<i>DIV</i> : Superficie de rodadura e instalaciones		1.50	0.65
<i>EH</i> : Presión horizontal de suelo			
• Activa		1.50	0.90
• En reposo		1.35	0.90
• <i>AEP</i> para muros anclados		1.35	N/A
<i>EL</i> : Tensiones residuales de Construcción		1.00	1.00
<i>EV</i> : Presión vertical de suelo			
• Estabilidad general		1.00	N/A
• Muros de Contención y Estribos		1.35	1.00
• Estructuras Rígidas Enterradas		1.30	0.90
• Marcos Rígidos		1.35	0.90
• Estructuras Flexibles Enterradas			
o Alcantarillas Metálicas y Alcantarillas Armadas Estructurales Corrugas Profundas		1.5	0.9
o Alcantarillas Termoplásticas		1.3	0.9
o Todas las demás		1.95	0.9
<i>ES</i> : Sobrecarga de suelo		1.50	0.75

Fuente: Tabla 3.4.1-2, CCP-14

6.3.2.5 Planos estructuras propuestas

Los planos de las estructuras propuestas se encuentran en el Anexo.

6.3.2.6 Procesos constructivos y/o de montaje

Previamente al inicio de las actividades de construcción, se deberá realizar una visita de reconocimiento y diagnóstico de las zonas de trabajado, con lo cual se podrá identificar y plantear de forma preliminar, las rutas de acceso, sitios de acopio de materiales, sitios de parqueo y maniobra de maquinaria, así como la necesidad de realizar intervenciones para el acceso (ampliar caminos y bermas, conformar rampas, etc.).

Posteriormente una cuadrilla topográfica deberá realizar el replanteo y la demarcación de los ejes de los muros, así como los centros de los pilotes y de los demás elementos constructivos. Las labores de excavación y construcción se realizarán por etapas, comenzando por la franja baja y avanzando por, con trincheras intercaladas, con longitudes iguales a las de los módulos de los muros, excavando y construyendo cada tramo de muro de forma continua, evitando desconfinar grandes tramos del talud por largos periodos de

tiempo.

Una vez se finalice la construcción de los muros de contención se podrá continuar con la conformación de las terrazas con los trinchos y la instalación de los cespedones, con los cuales se recuperará la cobertura vegetal

6.3.2.6.1 Recomendaciones constructivas

Los rellenos constructivos se realizarán con una mezcla de material de sitio y material seleccionado, en proporción 50/50, garantizando siempre que se encuentre de materia orgánica y de residuos y basuras.

Los materiales de corte deberán disponerse temporalmente en un sitio de acopio, localizado lejos de la corona de los taludes y protegerse de cualquier fuente de saturación.

Los procesos de disposición y compactación de rellenos deberán controlarse en campo verificando continuamente la humedad óptima y la densidad máxima. Los rellenos se dispondrán y compactarán en capas no mayores de 0.25 metros, al 95% del Proctor modificado.

Se recomienda que los procesos de disposición y compactación de materiales se realicen en temporada seca para facilitar la manejabilidad de los materiales y garantizar su humedad óptima. Así mismo, se recomienda que la ejecución de cortes se realice en temporada seca, con el fin de evitar que la estabilidad de los taludes pueda afectarse debido a las lluvias, al efecto del flujo de agua y al aumento de presiones de poros.

Se deberá contar con equipos de bombeo para extraer las aguas lluvias y evitar empozamientos durante los procesos de excavación.

En la medida de lo posible los taludes se excavarán de manera continua, avanzando por trincheras intercaladas (una si, dos no), conformando las pendientes recomendadas y construyendo las estructuras de contención que garantizaran la estabilidad a largo plazo de la zona de intervención.

Al llegar a los niveles de trabajo se recomienda cubrir la base, con una capa de concreto pobre no mayor a 5.0 cm, con el fin de evitar una alteración mayor de las zonas de trabajo.

Se debe evitar la acumulación de materiales de obra en la periferia de la corona de los taludes de corte, con el fin de no generar sobrecargas que afecten su estabilidad.

El material proveniente de los procesos de excavación, que no sea aprovechado para la construcción de los rellenos, se deberá retirar del sitio por vías existentes y disponerse de forma adecuada en un sitio destinado para tal fin.

Los pilotes llevarán acero de refuerzo en toda su longitud el cual deberá corresponder con el diseño de estructural, realizado para tipo de pilote en función de su diámetro y longitud.

Los elementos individuales de cimentación deberán enlazarse por medio de vigas de dados o vigas de amarre, para garantizar su funcionamiento como sistema.

El geotecnista deberá aprobar el suelo de fundación de los pilotes y no se descarta que durante los procesos de construcción se requiera aumentar o disminuir la cota de excavación para encontrar el estrato portante. Por lo anterior, la longitud definitiva de los pilotes se establecerá en el terreno a partir de la estratigrafía detectada.

Con el fin de impedir la sobreposición de bulbos de esfuerzos, y evitar la eficiencia de los elementos de cimentación, se diseñarán y construirán respetando un distanciamiento mínimo entre pilotes de 2.5 diámetros.

6.3.2.6.2 *Plan de instrumentación*

Teniendo en cuenta que no se prevén excavaciones profundas, se considera suficiente el realizar un monitoreo con equipos topográficos, para lo cual se demarcaran puntos de control en la parte alta del talud, donde se localiza un parque de bolsillo. Se realizarán lecturas quincenalmente y se remitirán a esta consultoría para verificar que no se presenten comportamientos anómalos.

Simultáneamente, durante las labores de construcción, los trabajadores deberán prestar especial atención a la aparición de fisuras, grietas o deformaciones en la periferia de las zonas de trabajo, las cuales podrían indicar evidencias de inestabilidad de los taludes de excavación, o en general de la zona de trabajo. En caso de identificar situaciones de este tipo, deberán informar inmediatamente al residente de obra para que el analice la situación y defina si se deben suspender las actividades de obra, e informar a esta consultoría, para realizar una visita al sitio, en la que se pueda identificar las acciones pertinentes, para controlar la problemática detectada.

6.3.2.7 Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas se presentan en el capítulo de Presupuesto.

6.3.2.8 Cantidades

Las cantidades se presentan en el capítulo de Presupuesto.

6.3.2.9 CONCLUSIONES

Como medida de estabilización, se ha propuesto la construcción de un muro de concreto reforzado con una altura 3 metros. La cimentación será de tipo profundo, utilizando caisson de 1.0 metro de diámetro, con el objetivo de reducir los cortes en el material de relleno y asegurar la estabilidad del talud durante la obra. Además, el muro estará acompañado por la reconfiguración del Terreno mediante la creación de terrazas confinadas con trinchos de madera, lo que permitirá controlar los movimientos superficiales del material de relleno. Adicionalmente se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Verificar y asegurar la longitud, separación y diámetro de los caissons según lo estipulado.
- Garantizar que las dimensiones propuestas para los muros cumplan con el confinamiento de los volúmenes de material calculados.
- Monitorear continuamente los taludes intervenidos y la vía afectada por la construcción, para identificar posibles deformaciones no previstas.
- Durante el proceso constructivo, es esencial controlar y verificar el estado del agua superficial y subsuperficial para mantener la estabilidad tanto de los taludes como de la zona de estudio en general.
- Llevar un registro continuo de la perforación de cada caisson, documentando tanto la profundidad como la calidad del terreno.
- La profundidad final del caisson indicada en los planos estructurales podrá ajustarse si, durante la construcción, se determina que el material de fundación no corresponde al suelo residual.
- Inspeccionar el fondo de cada pozo para asegurar que el material excavado no exceda los 4cm de sobreexcavación.

6.4 PRESUPUESTO

6.4.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto está compuesto por tres infraestructuras principales:

6.4.1.1 Obras de contencion

El componente estructural principal para la estabilización y protección de la banca de la vía en el Polígono 1 consiste en un sistema de contención lateral continuo, diseñado para contrarrestar los empujes de tierra y garantizar la seguridad del sector. Esta infraestructura comprende una cimentación profunda compuesta por una cortina de pilotes tipo caisson de 1 metro de diámetro interno, excavados manualmente hasta los estratos competentes del terreno. Sobre estos se desplantará una viga cabezal de amarre en concreto reforzado de 21 MPa que servirá de soporte directo para un muro de contención en pantalla. Con el fin de mitigar las presiones hidrostáticas del agua infiltrada, la estructura incorpora de manera integral un filtro drenante posterior en material pétreo seleccionado protegido con geotextil, el cual evacuará los excesos de agua a través de tuberías de drenaje de 1" dispuestas transversalmente como lloraderos en el cuerpo del muro.

6.4.1.2 Obras de placa huella

Con el propósito de restituir la superficie de rodadura afectada por los procesos de inestabilidad, se proyecta la construcción de una superestructura vial en pavimento rígido tipo placahuella, la cual se extenderá de forma paralela y con la misma longitud lineal del muro de contención. Esta obra civil se ejecutará sobre una estructura de soporte conformada por material granular de adición y una subbase debidamente nivelada y compactada. La rodadura estará constituida por módulos intermitentes de placas de concreto reforzado con una resistencia a la compresión de 210kg/cm^2 (3000psi) y tramos intermedios de piedra pegada en concreto ciclópeo de 0.15 m de espesor. Todo el conjunto estará confinado longitudinal y transversalmente por vigas de riostra y dentellones de acero reforzado de 4200kg/cm^2 para asegurar la durabilidad de la vía frente al tránsito local y la escorrentía superficial.

6.4.1.3 Obras de bioingeniería

Como medida de control de la degradación superficial del terreno en la zona de pendiente,

se contempla la implementación de obras de bioingeniería basadas en soluciones de bajo impacto. Esta intervención consiste en la construcción escalonada de terrazas drenantes soportadas por trinchos en guadua de 4" inmunizada, con una altura de diseño de 1.6 m. El proceso técnico abarca el perfilado fino del terreno y el hincado de los elementos de guadua, seguido por el relleno posterior de las terrazas con material seleccionado para su reconformación geométrica. Finalmente, se realizará una actividad de empedradización técnica en cespedón sobre la superficie de las terrazas, lo cual permitirá disipar la energía de las aguas lluvias, controlar la erosión laminar y favorecer la recuperación funcional y paisajística de la ladera intervenida.

6.4.2 PROCESO CONSTRUCTIVO

6.4.2.1 Actividades Preliminares

El proceso constructivo en el Polígono 1 iniciará con la fase de alistamiento técnico de la zona de intervención. En primer lugar, se ejecutará la localización y replanteo topográfico, empleando equipos de precisión para trasladar los ejes, niveles y alineaciones de los planos de diseño al terreno natural. Una vez demarcado el sector, se procederá al descapote mecánico en material común con un espesor controlado de 0.1 m para retirar la capa vegetal y el césped existente. Finalmente, se realizarán los trabajos de recomposición y perfilado de los taludes de la ladera, adecuando la geometría de la pendiente para garantizar condiciones de seguridad estables antes del ingreso de personal y el inicio de las excavaciones principales.

6.4.2.2 Movimiento de Tierras

Finalizado el alistamiento superficial, se dará inicio a la remoción controlada de suelo en la zona baja de la vía. Debido a las condiciones de pendiente y las restricciones de acceso, se ejecutarán excavaciones manuales para la zona de desplante de la estructura de contención. El volumen de material excavado será retirado para permitir la posterior instalación de los elementos estructurales. Una vez alcanzados los niveles de fundación indicados en los diseños, se procederá a la adecuación y nivelación del fondo de la excavación mediante el uso de un compactador manual vibratorio tipo "rana". Tras la construcción del muro (Obras de Contención), esta etapa concluye con la ejecución de la actividad consistente en el suministro, colocación y compactación por capas de relleno con

material seleccionado en la parte posterior de la estructura, restituyendo los niveles de soporte de la banca de la vía.

6.4.2.3 Obras de contencion

La ejecución de la estructura de estabilización se desarrollará de forma estrictamente secuencial para evitar desprendimientos en el talud. El proceso comenzará con la excavación manual y el vaciado por anillos concéntricos de 10 cm de concreto de 21 MPa para la conformación de la cortina de pilotes tipo *caisson* de 1.0 m de diámetro interno. Posteriormente, se instalará el acero de refuerzo estructural y se fundirá el núcleo de los pilotes. Una vez curados, se armará el refuerzo y el formaleteo metálico para el vaciado de la viga cabezal de amarre en concreto premezclado de 21 MPa. Sobre esta base rígida, se procederá al armado y fundición del cuerpo del muro de contención en pantalla. Previo al llenado de tierras, se instalará en la cara posterior el sistema de drenaje: la malla de geotextil, el material filtrante seleccionado y las tuberías de drenaje de PVC de 1" que atravesarán el muro como lloraderos para liberar la presión hidrostática.

6.4.2.4 Obras de placa huella

Una vez consolidado y compactado el relleno posterior del muro de contención, se iniciará la construcción de la superestructura vial sobre la corona de la banca, limitando su longitud a la extensión exacta del tramo estabilizado. El proceso iniciará con el extendido de una capa de material granular de adición o mejoramiento, seguido por el suministro, nivelación, humedecido y compactación mecánica de la subbase granular. Sobre esta superficie preparada, se dispondrá el acero de refuerzo de 4200 kg/cm² y el encofrado para proceder al vaciado intermitente de los módulos de concreto rígido con resistencia a la compresión de 210 kg/cm² (3000 psi). Paralelamente, se ejecutarán las vigas de confinamiento (riostros y dentellones) y las franjas intermedias de piedra pegada en concreto ciclópeo con un espesor de 0.15 m, conformando una superficie de rodadura de alta durabilidad frente al tránsito local.

6.4.2.5 Obras de bioingeniería

Como actividad de cierre constructivo y estabilización ambiental de la ladera, se procederá

a la intervención de la zona de pendiente mediante técnicas de bioingeniería. El proceso comenzará con la excavación menor y reconfiguración del terreno para definir los niveles de las terrazas. Posteriormente, se realizará el hincado manual de los postes verticales y la fijación de las piezas horizontales de guadua inmunizada de 4", configurando la estructura de retención de los trinchos con una altura expuesta de diseño de hasta 1.6 m. Logrado el confinamiento, el espacio posterior de las terrazas se rellenará con material granular seleccionado para nivelar la superficie y disipar la escorrentía superficial. El proceso constructivo culminará con la colocación de tapetes de césped (empradización en cespedón) sobre el suelo conformado, asegurando el control definitivo de la erosión laminar y la integración paisajística del entorno.

6.4.3 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

6.4.3.1 Actividades Preliminares

- **APU_01 - Localización y replanteo m²:** Localización y replanteo topográfico del área de intervención empleando equipos de precisión para definir los ejes y niveles del proyecto.
- **APU_02 - Descapote a máquina en material común (m²):** Remoción mecánica de la capa vegetal y material orgánico superficial en un espesor de 0.1 m, incluyendo las actividades de descargue y retiro.
- **APU_03 - Recomposición y perfilado de taludes (m²):** Trabajos de adecuación geométrica y perfilado de la zona de pendiente para estabilizar el terreno antes de los trabajos estructurales.

6.4.3.2 Movimientos de tierra

- **APU_04 - Excavaciones para estructura (m³):** Excavación realizada en la parte baja de la vía para el alojamiento de la pantalla del muro y su viga cabezal, incluyendo la nivelación del fondo con compactador manual tipo "rana".
- **APU_05 - Suministro e instalación de relleno con material seleccionado (m³):** Colocación y compactación por capas de suelo seleccionado en la parte posterior del muro para recuperar la banca de la vía.

6.4.3.3 Obras de contención

- **APU_06 - Caisson dnt 1,0m con anillos e=10cm en concreto de f'c 21 MPa (m):** Excavación manual, retiro de material y vaciado de anillos para la conformación de los pilotes de cimentación profunda en suelos arcillo-limosos.
- **APU_07 - Viga cabezal sobre pilotes en concreto premezclado f'c 21 MPa (m^3):** Suministro, colocación, formaleteo metálico, bombeo y curado del elemento de amarre rígido sobre la cabeza de los caissons.
- **APU_08 - Muro sobre viga cabezal en concreto premezclado f'c 21 Mpa (m^3):** Suministro, colocación, formaleteo metálico, bombeo y curado de la pantalla vertical de contención estructural.
- **APU_09 - Suministro e instalación de filtro drenante (m^3):** Conformación del sistema de drenaje posterior mediante el suministro de material pétreo seleccionado envuelto en malla de geotextil.
- **APU_10 - Suministro e instalación de tubería drenaje PVC 1" (m):** Perforación e instalación de tuberías horizontales a través del cuerpo del muro para actuar como lloraderos de alivio de presión hidrostática.
- **APU_11 - Acero de refuerzo estructural (kg):** Suministro, corte, figurado e instalación del acero de refuerzo para los pilotes caisson, viga cabezal y muro de contención.

6.4.3.4 Obras de placa huella

- **APU_12 - Material granular de adición o mejoramiento (m^3):** Suministro e instalación de material pétreo para mejorar la capacidad de soporte de la subrasante de la vía.
- **APU_13 - Subbase granular (m^3):** Suministro, extendido, nivelación, humedecido y compactación mecánica de la capa de soporte base para el pavimento rígido.
- **APU_14 - Concreto Resistencia a la Compresión f'c 210 kg/cm² (m^3):** Suministro y fundición de los módulos de concreto reforzado (3000 psi) para la superficie de rodadura de la placahuella.
- **APU_15 - Concreto ciclópeo espesor 0,15 m (m^3):** Suministro y fundición de las

franjas intermedias de piedra pegada para el cuerpo del pavimento.

- **APU_16 - Acero de refuerzo 4.200 kg/cm² (kg):** Suministro, figurado e instalación de las barras de refuerzo (60000 psi) para las placas, vigas de riostra y dentellones de confinamiento.

6.4.3.5 Obras de bioingeniería

- **APU_19 - Construcción de terrazas en guadua inmunizada 4" (\$m²):** Excavación menor, hincado de postes de guadua (h = 1.6 m), reconfiguración del terreno con material granular y empedrado final en césped.

6.4.3.6 Transporte

- **APU_20 - Disposición final de escombros (m³/km):** Cargue, acarreo y transporte de material sobrante y escombros desde el sitio de la obra hasta el botadero autorizado.

6.4.4 METODOLOGIA

La metodología utilizada para la elaboración del presupuesto del proyecto (presentado en el **Anexo 01 – Presupuesto del proyecto**), refleja la experticia y recorrido del consultor, al igual que los procedimientos generalizados y comúnmente adoptados por el medio ingenieril. En este sentido, el proceso se inició con la recopilación y el análisis detallado de los diseños propuestos; posteriormente, se procedió a la identificación y listado de las actividades, organizándolas por capítulos mediante su clasificación en grupos de labores homogéneas, con el fin de garantizar coherencia técnica, trazabilidad presupuestal y facilidad en su verificación y control.

Una vez consolidado el listado anteriormente mencionado, se procedió a la cuantificación de las cantidades de obra con base en los resultados obtenidos y en los elementos definidos en los diseños del componente estructural del proyecto. Dichas cantidades fueron consignadas en la matriz de cantidades de obra (Ver **Anexo 02– Memoria de cantidades**), realizando el cálculo de acuerdo con las actividades identificadas para cada uno de las edificaciones que se describen en el capítulo de descripción del proyecto.

Posteriormente, se procedió a calcular los valores unitarios de las actividades de obra con base a los formatos propios que maneja la consultoría, conformando los Análisis de Precios Unitarios, necesarios para realizar el correcto cálculo del presupuesto, información que se presenta en el **Anexo 03 – Análisis de Precios Unitarios**.

6.4.5 CLASIFICACIÓN Y PRECISIÓN DEL PRESUPUESTO

De acuerdo con el sistema de clasificación de costos estimados de la AACE International, el cálculo económico estructurado para este proyecto de mitigación del riesgo en el Polígono 1, desarrollado en el marco del Contrato de Consultoría IDIGER-294-2025, alcanza la Clase 2. Esta caracterización se fundamenta en el alto nivel de madurez y detalle de los estudios y diseños de ingeniería (fase de proyecto detallado o licitación), lo que permite estructurar un presupuesto con un bajo margen de incertidumbre, basado en cantidades definitivas de obra y cotizaciones específicas para los componentes de contención, placa huella y bioingeniería.

Tabla 8 Clasificación de los presupuestos de construcción

TIPO	NOMBRE DEL PRESUPUESTO	NIVEL DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO –ESTADO DE AVANCE DE ESTUDIOS Y DISEÑOS	PROPÓSITO DE UTILIZACIÓN	METODOLOGÍA PARA PRESUPUESTAR	GRADO DE PRECISIÓN ESPERADO
5	ORDEN DE MAGNITUD	0%-2%	<ul style="list-style-type: none"> REVISIÓN CONCEPTUAL ORDEN DE MAGNITUD PRE INVERSION 	<ul style="list-style-type: none"> CAPACIDAD FACTORIZADA MODELOS PARAMETRICOS ANALOGIAS CRITERIO DE ESPECIALISTAS EXPERIENCIA 	-20%-50% 30% A 100%
4	ESTIMADO	1%-15%	<ul style="list-style-type: none"> EVALUACIÓN CONCEPTUAL ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD APROBACIÓN PRELIMINAR 	<ul style="list-style-type: none"> EQUIPOS FACTORIZADOS MODELOS PARAMETRICOS 	-15% A -30% 20% A 50%
3	PRELIMINAR	10%-40%	<ul style="list-style-type: none"> ESTIMATIVO PARA LICITAR INICIO DE INGENIERÍA BÁSICO ANTEPROYECTOS 	<ul style="list-style-type: none"> COSTOS UNITARIOS MAYORES ESTUDIO CAPITULOS E ITEMS REPRESENTATIVOS 	-10% A -20% 10% A 30%
2	DEFINITIVO	30%-70%	<ul style="list-style-type: none"> COTIZACIÓN Y LICITACIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIO DETALLADO DE PRECIOS 	-5% A -15%

			<ul style="list-style-type: none"> PRESUPUESTO BASICO PARA PROCESO DE CONTRATACION 	<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIO POR ACTIVIDADES 	5% A 20%
1	EJECUCION	50%-100%	<ul style="list-style-type: none"> DETALLADO PARA COMPRAS Y EJECUCION DEFINITIVA 	<ul style="list-style-type: none"> DISEÑOS FINALES DESPUÉS DE RECONSTRUCCIÓN COTIZACIONES DEFINITIVAS LISTADO DE INSUMOS PARA COMPRAS 	-3% A -10% +3% A 15%

Fuente: DEFINICION DE AACE –ASOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING, DOCUMENTO I8R-9

6.4.6 COSTOS DIRECTOS DE OBRA

A partir de la concepción técnica y el rigor del diseño estructural e hidráulico del proyecto de mitigación del riesgo en el Polígono 1, la estructura de los costos directos de obra se consolidó definiendo capítulos presupuestales lógicos. Esta estructuración se realizó mediante la agrupación coherente de actividades que, por su naturaleza constructiva y exigencias técnicas (tales como actividades preliminares, movimientos de tierra, obras de contención, superestructura en placa huella y bioingeniería), permiten identificar con total claridad los componentes principales de la intervención física.

Esta metodología de organización no solo garantiza la precisión exigida para un presupuesto de Clase 2, sino que facilita integralmente el control técnico, logístico y financiero durante la etapa de obra. Al agrupar los ítems de pago en secuencias lógicas de intervención, se optimiza el seguimiento riguroso a la ejecución del cronograma y a la calidad de los trabajos. Esto se logra en la medida en que cada capítulo presupuestal —y sus respectivos Análisis de Precios Unitarios (APUs)— se encuentra directa e intrínsecamente articulado con las Especificaciones Técnicas de Construcción, las cuales están respaldadas por normativas oficiales y estrictamente adaptadas a las condiciones geológicas, geotécnicas y climáticas del sector. Asimismo, dicha organización contribuye a una gestión gerencial mucho más eficiente del presupuesto.

Al permitir analizar de forma ordenada y minuciosa los costos directos asociados a cada fase o frente de intervención (desde la cimentación profunda con caissons hasta la estabilización superficial mediante terrazas drenantes), se mitigan los riesgos de subvaloración. Esto facilita a la supervisión y a la interventoría la evaluación objetiva de los

hitos críticos y la correcta administración de los recursos a lo largo de la ejecución del Contrato de Consultoría IDIGER-294-2025.

6.4.7 ITEMS DE PAGO

Los costos de obra presentados en el **Anexo 01 – Presupuesto del proyecto** contienen el listado detallado de las actividades consideradas como ítems de pago, cada una con su respectivo precio unitario, unidad de medida conforme al Sistema Internacional de Unidades, cantidades de obra calculadas y valor total por actividad, obtenido a partir del producto entre la cantidad y el precio unitario correspondiente. Asimismo, el anexo integra las especificaciones técnicas aplicables a cada ítem, las cuales establecen los criterios constructivos, alcances y condiciones requeridas para la correcta ejecución de las obras contempladas en el proyecto.

6.4.8 CANTIDADES DE OBRA

En el **Anexo 02 – Memoria de cantidades** se presentan los resultados detallados de los cálculos de cuantificación, en los cuales se adoptó como criterio técnico la aproximación de los valores mediante redondeo superior y, en determinados casos, al múltiplo de cinco inmediato superior, con el propósito de disponer de márgenes de holgura que garanticen suficiencia en la estimación y minimicen el riesgo de subvaloración durante la ejecución.

La determinación de dichas cantidades se efectuó a partir del dimensionamiento obtenido en los diseños de detalle, consignados en los planos constructivos que hacen parte de los volúmenes entregables del proyecto, asegurando coherencia entre la información gráfica, técnica y presupuestal. Esta metodología permite mantener trazabilidad entre los cálculos, los diseños y los ítems presupuestales, fortaleciendo la confiabilidad del proceso de cuantificación.

6.4.9 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU'S)

En el **Anexo 03 – Análisis de Precios Unitarios (APU)** se presentan los estudios detallados que sustentan el valor unitario de cada actividad contemplada en el presupuesto. La descripción técnica de cada ítem se encuentra armonizada con su respectiva especificación técnica, garantizando correspondencia entre el alcance constructivo, los recursos requeridos y el costo estimado.

Los APU del proyecto incluyen los criterios técnicos, supuestos y parámetros utilizados para la construcción del presupuesto final de obra. Para la estructuración de estos análisis, los precios adoptados se determinaron a partir de la evaluación individual de los insumos que componen cada actividad, considerando las directrices e indicaciones suministradas por la entidad para la elaboración del presente volumen.

Para efectos de organización, control y trazabilidad de la información, las actividades fueron agrupadas según sus características técnicas y constructivas, permitiendo una estructuración clara y sistemática de los análisis. Los códigos asignados a cada actividad corresponden a la nomenclatura “APU_”, definida como identificador interno conforme se consolidó cada análisis; dicha codificación tiene fines exclusivamente organizativos y no implica jerarquía, prioridad ni secuencia de ejecución.

6.4.9.1 Estudio de Mercado

Con base en los requerimientos técnicos contenidos en los documentos precontractuales, para la estructuración del presente presupuesto se adoptó como fuente principal de información el análisis de precios de referencia provenientes de las bases oficiales de IDU, las cuales constituyen referentes técnicos reconocidos para la determinación de costos de insumos asociados a proyectos de infraestructura.

En este contexto, los Análisis de Precios Unitarios (APU) se estructuraron a partir de cuatro componentes principales: equipos, materiales, transporte y mano de obra, garantizando que cada uno de ellos represente de manera desagregada los recursos requeridos para la ejecución de las actividades.

6.4.10 RESULTADOS OBTENIDOS

El costo de las obras proyectadas, asciende a un valor total de obra de \$509.591.185,61, valor del cual corresponde a costos directos un total de \$389.714.886,61, y a costos indirectos (Administración, Imprevistos y Utilidad), un total de \$116.914.466,00 más IVA de utilidad con un valor de \$2.961.833,00.

El valor obtenido en el AIU, corresponde a 25% de administración, 4% de Utilidad y 1% de Imprevistos.

Los valores obtenidos se ajustan adecuadamente a los rangos propios de este tipo de

proyectos (Obras de mitigación del riesgo urbano y adaptación al cambio climático) en el Distrito Capital.

Tabla 9 Resultados obtenidos

<div>CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025</div>		ESTUDIO Y DISEÑO DE ACCIONES Y MEDIDAS ADAPTATIVAS A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDUCCIÓN DEL RIESGO EN ZONAS PRIORIZADAS DEL DISTRITO CAPITAL				<div><div>INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO</div></div>		
Contrato Consultoría: IDIGER-294 - 2025						CONSORCIO ADAPTACION 2025		
I. COSTOS DIRECTOS DE OBRA								
ÍTEM	COD APU	ESPECIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
		INVS	PARTICULAR					
OBRAS POLIGONO 1 - SC OBRA DE ESTABILIZACION								\$ 389.714.886,61
1 - ACTIVIDADES PRELIMINARES								\$ 17.217.292,00
1.1	APU_1			Localización y replanteo	dia	\$ 517.238,10	3,00	\$ 1.551.714,00
1.2	APU_2			Descapote a maquina en material comun (E=0,1m). Incluye descargue.	m²	\$ 3.169,64	2010,00	\$ 6.370.976,00
1.3	APU_3			Recomposicion y perfilado de taludes.	m²	\$ 4.624,18	2010,00	\$ 9.294.602,00
2 - MOVIMIENTOS DE TIERRA								\$ 13.411.577,00
2.1	APU_4			Excavaciones para estructura	m³	\$ 15.682,13	93,50	\$ 1.466.279,00
2.2	APU_5			Suministro e instalacion de relleno con material seleccionado	m³	\$ 193.039,73	61,88	\$ 11.945.298,00
3 - OBRAS DE CONTENCIÓN								\$ 103.275.692,00
3.1	APU_6			Caisson ø1m=1,0m con anillos ø=10cm en concreto de f'c=21 MPa. Incluye excavación y retiro. No incluye acero de refuerzo. (En suelo constituido principalmente por arcillas limosas y arenosas con recencia de gravas y fragmentos de roca).	m	\$ 1.465.723,88	24,00	\$ 35.177.373,00
3.2	APU_7			Viga cabezal sobre pilotes en concreto premezclado f'c = 21 MPa. Incluye suministro, formateo metalico, bombeo, colocacion y curado. no incluye refuerzo.	m³	\$ 687.503,01	13,20	\$ 9.075.040,00
3.3	APU_8			Muro sobre viga cabezal en concreto premezclado f'c = 21 Mpa. Incluye suministro, formateo metalico, bombeo, colocacion y curado, no incluye refuerzo	m³	\$ 687.503,01	24,75	\$ 17.015.699,00
3.4	APU_9			Suministro e instalacion de filtro drenante conformado por material petreo seleccionado de granulometria especificada. Incluye material filtrante e instalacion de geotextil.	m³	\$ 273.546,24	27,50	\$ 7.522.522,00
3.5	APU_10			Suministro e instalacion de tuberia drenaje PVC ø1" para dren horizontal del muros.	m	\$ 20.973,07	16,50	\$ 346.056,00
3.6	APU_11			Acero de refuerzo estructural.	kg	\$ 6.010,43	5679,96	\$ 34.139.002,00
4 - OBRAS DE PLACA HUELLA								\$ 21.655.612,74
4.1	APU_12			Material granular de adición o mejoramiento	m³	\$ 89.895,04	28,60	\$ 2.570.998,00
4.2	APU_13			Subbase granular (incluye suministro, extendido, nivelación, humedecido y compactación).	m³	\$ 136.281,46	17,16	\$ 2.338.590,00
4.3	APU_14			Concreto Resistencia a la Compresion a los 28 dias f'c= 210 kg/cm2 (3.000 p.s.i)	m³	\$ 1.044.189,26	7,26	\$ 7.580.814,00
4.4	APU_15			Concreto cidópeo espesor 0,15 m	m³	\$ 955.278,31	5,94	\$ 5.674.353,00
4.5	APU_16			Acero de refuerzo 4 200 kg/cm² (60.000 psi) para placas, riostras y dentellones	kg	\$ 6.010,43	580,80	\$ 3.490.857,74
5 - OBRAS DE BIOINGENIERIA								\$ 232.695.190,30
5.1	APU_19			Construccion de terrazas en guadua inmunizada Ø4", h=1,6m. Incluye excavación y reconfomación del terreno, lleno con material granular para reconfomación de terrazas y empedradizacion en cespedón.	ml	\$ 522.910,54	445,00	\$ 232.695.190,30
6 - TRANSPORTE								\$ 1.459.522,57
6.1	APU_20			Disposición final de escombros	m3/km	\$ 12.007,59	121,55	\$ 1.459.522,57
TOTAL I. COSTOS DIRECTOS DE OBRA								\$ 389.714.886,61
II. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS (ADMINISTRACIÓN, IMPREVISTOS Y UTILIDAD) DE OBRA								
				DESCRIPCIÓN	SIGLA	PORCENTAJE COSTO DIRECTO	TOTAL	
				COSTO DIRECTO	CD (%)	100,00%	\$ 389.714.886,61	
				DESCRIPCIÓN	SIGLA	PORCENTAJE COSTO DIRECTO	TOTAL	
				ADMINISTRACIÓN	A (%)	25,00%	\$ 97.428.722,00	
				IMPREVISTOS	I (%)	1,00%	\$ 3.897.149,00	
				UTILIDAD	U (%)	4,00%	\$ 15.588.595,00	
				TOTAL COSTOS INDIRECTOS (AIU)		30,00%	\$ 116.914.466,00	
				IVA SOBRE UTILIDAD	19,00%		\$ 2.961.833,00	
TOTAL COSTOS DE OBRA								\$ 509.591.185,61

6.4.11 SECUENCIA LOGICA DE EJECUCION

La programación técnica plantea una secuencia constructiva ordenada para mitigar riesgos en el Polígono 1. El proceso inicia con las actividades preliminares, que contemplan la gestión de permisos, localización topográfica, descapote y perfilado de taludes. Posteriormente, se ejecutan los movimientos de tierra mediante la excavación manual del área de desplante y de la cortina de pilotes tipo caisson. Una vez cimentada la base, se procede con las obras de contención, que incluyen la fundición de la viga cabezal, el levantamiento del muro de pantalla y la instalación de su sistema de filtro drenante con lloraderos de PVC. Concluido el soporte, se realiza el relleno con material seleccionado para recuperar la banca de la vía, sobre la cual se construyen las obras de placa huella (subbase, concreto y piedra pegada) en una longitud equivalente a la del muro. Finalmente, el proyecto cierra con las obras de bioingeniería, implementando terrazas drenantes soportadas por trinchos en guadua inmunizada y empradización en cespedón para el control definitivo de la erosión en el marco del Contrato de Consultoría IDIGER-294-2025.

Tabla 10 Secuencia lógica de ejecución

<div>  <div> <p>ESTUDIO Y DISEÑO DE ACCIONES Y MEDIDAS ADAPTATIVAS A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y REDUCCIÓN DEL RIESGO EN ZONAS PRIORIZADAS DEL DISTRITO CAPITAL</p> <p>Contrato Consultoría: IDIGER-294 - 2025</p> <p>CONSORCIO ADAPTACION 2025</p> </div> </div>		
ESTRUCTURA DESGLOSADA DE TRABAJO		
CODIGO EDT	APU	ACTIVIDAD
1		OBRAS POLIGONO 1 - SC OBRA DE ESTABILIZACION
1.1		1- ACTIVIDADES PRELIMINARES
1.1.1	APU_1	Localización y replanteo
1.1.2	APU_2	Descapote a maquina en material comun (E=0,1m). Incluye descargue.
1.1.3	APU_3	Recomposicion y perfilado de taludes.
1.2		2- MOVIMIENTOS DE TIERRA
1.2.1	APU_4	Excavaciones para estructura
1.2.2	APU_5	Suministro e instalacion de relleno con material seleccionado
1.3		3- OBRAS DE CONTENCIÓN
1.3.1	APU_6	Caisson øint= 1,0m con anillos e=10cm en concreto de f'c=21 MPa. Incluye excavación y retiro. No incluye acero de refuerzo. (En suelo constituido principalmente por arcillas limosas y arenosas con recencia de gravas y fragmentos de roca).
1.3.2	APU_7	Viga cabezal sobre pilotes en concreto premezclado f'c = 21 MPa. Incluye suministro, formateo metalico, bombeo, colocacion y curado. no incluye refuerzo.
1.3.3	APU_8	Muro sobre viga cabezal en concreto premezclado f'c = 21 Mpa. Incluye suministro, formateo metalico, bombeo, colocacion y curado, no incluye refuerzo
1.3.4	APU_9	Suministro e instalacion de filtro drenante conformado por material petreo seleccionado de granulometria especificada. Incluye material filtrante e instalacion de geotextil.
1.3.5	APU_10	Suministro e instalacion de tuberia drenaje PVC ø1" para dren horizontal del muros.
1.3.6	APU_11	Acero de refuerzo estructural.
1.4		4- OBRAS DE PLACA HUELLA
1.4.1	APU_12	Material granular de adición o mejoramiento
1.4.2	APU_13	Subbase granular (incluye suministro, extendido, nivelación, humedecido y compactación).
1.4.3	APU_14	Concreto Resistencia a la Compresion a los 28 dias f'c= 210 kg/cm2 (3.000 p.s.i)
1.4.4	APU_15	Concreto ciclópeo espesor 0,15 m
1.4.5	APU_16	Acero de refuerzo 4.200 kg/cm² (60.000 psi) para placas, riostras y dentellones
1.5		5- OBRAS DE BIOINGENIERIA
1.5.1	APU_19	Construccion de terrazas en guadua inmunizada Ø4", h=1,6m. Incluye excavación y reconfomación del terreno, lleno con material granular para reconfomación de terrazas y empradizacion en cespedón.
1.6		6- TRANSPORTE
1.6.1	APU_20	Disposición final de escombros
1.6.2	APU_21	Transporte materiales petreos
1.6.3	APU_22	Transporte materiales aceros