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 4– POLÍGONO 3

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	FLAVIO SOLER SIERRA	

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

VERSIÓN	FECHA	OBSERVACIONES
1	Agosto de 2026	

TABLA DE CONTENIDO

1 GENERALIDADES 29
1.1 INTRODUCCIÓN 29
1.2 ANTECEDENTES 30
1.3 CONTEXTO TERRITORIAL DEL PROYECTO 32
1.4 OBJETIVO 33
1.5 LOCALIZACIÓN 33
2 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA 35
2.1 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 37
2.2 AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL 38
2.3 DIAGNÓSTICOS Y CONCEPTOS TÉCNICOS IDIGER 40
3 LÍNEA BASE FÍSICA 43
3.1 CARTOGRAFÍA BASE 43
3.1.1 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – IGAC 43
3.1.2 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – EAAB 44
3.2 TOPOGRAFÍA DETALLADA 47
3.2.1 RESUMEN EJECUTIVO 47
3.2.2 ALCANCE 47
3.2.3 GEORREFERENCIACIÓN 49
3.2.4 RED GEODÉSICA 50
3.2.5 MATERIALIZACIÓN 50
3.2.6 FECHA DE POSICIONAMIENTO 52
3.2.7 ESTACIÓN TOTAL Y RTK 53
3.2.8 CAPTURA DE INFORMACIÓN LIDAR 53

3.2.8.1 Equipos 53
3.2.8.2 Adquisición de los Datos en UAS 54
3.2.8.3 Procesamiento de Datos LiDAR 56
3.2.9 RESULTADOS 57
3.2.9.1 Nube de puntos densa 57
3.2.9.2 Ortofotografía (TDOM) 57
3.2.9.3 Modelo Digital del Terreno (MDT/DEM) y Modelo Digital de Superficie (MDS) 58
3.2.9.4 Planimetría 60
3.2.10 CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICACIÓN DE PRECISIÓN 62
3.2.11 CONCLUSIONES 63
3.2.12 REFERENCIAS NORMATIVAS 64
3.2.13 SIGLAS Y ACRÓNIMOS 65
3.2.14 ANEXOS 66
3.3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 67
3.3.1 RECOPILACIÓN INFORMACIÓN SECUNDARIA 67
3.3.1.1 Geología Regional 67
3.3.1.2 Geología estructural general 69
3.3.1.3 Geomorfología regional 72
3.3.1.4 Inventario histórico de movimientos en masa y otros eventos 74
3.3.1.5 Zonificación de Amenaza por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundación 76
3.3.1.6 Estudios previos 78
3.3.2 TRABAJOS DE CAMPO GEOLOGÍA 85
3.3.2.1 E1 87
3.3.2.2 E2 88
3.3.2.3 E3 89
3.3.2.4 E4 90
3.3.2.5 E5 93

3.3.2.6 E6 94
3.3.2.7 E7 95
3.3.2.8 E8 96
3.3.2.9 E9 97
3.3.2.10 E10 98
3.3.2.11 E11 99
3.3.2.12 E12 100
3.3.2.13 E13 102
3.3.2.14 E14 104
3.3.2.15 15 109
3.3.2.16 E16 113
3.3.2.17 E17 126
3.3.2.18 E18 127
3.3.2.19 E19 128
3.3.2.20 E20 129
3.3.2.21 E21 131
3.3.2.22 E22 137
3.3.2.23 E23 138
3.3.2.24 E24 139
3.3.3 GEOLOGÍA LOCAL 140
3.3.3.1 Formación Arenisca Dura (Ksgd) 141
3.3.3.2 Formación Plaeners (Ksgp) 142
3.3.3.3 Formación Arenisca de Labor (Ksgl) 142
3.3.3.4 Formación Arenisca Tierna (Ksgt) 144
3.3.3.5 Depósito Aluvial (Qal) 145
3.3.3.6 Depósito de Flujo de Tierras (Qdft) 145
3.3.3.7 Depósito de Flujo de Detritos (Qfd) 146
3.3.3.8 Depósito Coluvial (Qdlc) 147
3.3.3.9 Depósito de Talus (Qdlt) 148
3.3.4 DEFINICIÓN DE UGIS 149

3.3.4.1 Suelo transportado aluvial (Stal) 149
3.3.4.2 Suelo transportado coluvial (Stco) 150
3.3.4.3 Suelo transportado de flujo de detritos (Stfd) 150
3.3.4.4 Suelo transportado de flujo de tierras (Stft) 151
3.3.4.5 Suelo transportado de talus (Stt) 152
3.3.4.6 Suelo residual sobre roca blanda de Labor grado III (Sr/Rbl III) 152
3.3.4.7 Suelo residual sobre roca blanda Plaeners (Sr/Rbp) 153
3.3.4.8 Suelo residual sobre roca dura - Arenisca Dura (Sr/Rdd) 154
3.3.4.9 Roca blanda de Labor de grado IV (Rbl IV) 154
3.3.4.10 Roca blanda de Tierna de grado III (Rbt III) 155
3.3.4.11 Roca dura de Labor de grado III – II (Rdl III – II) 156
3.3.4.12 Roca dura de Labor de grado II (Rdl II) 156
3.3.5 GEOMORFOLOGÍA LOCAL 158
3.3.5.1 Análisis multitemporal 158
3.3.5.2 Análisis morfométrica 169
3.3.5.3 Cartografía geomorfológica 171
3.4 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO 176
3.4.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS 176
3.4.1.1 Flujo de tierras 176
3.4.1.2 Flujo de detritos 177
3.4.2 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA - INFORMACIÓN SECUNDARIA 181
3.4.2.1 Base de datos JAM Ingeniería y Medio Ambiente 182
3.4.2.2 Base de datos EAAB 188
3.4.3 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA INFORMACIÓN PRIMARIA 191
3.4.3.1 Exploración directa – sondeos 191
3.4.3.2 Nivel freático 193
3.4.3.3 Exploración indirecta 193
3.4.3.4 Ensayos de campo 227
3.4.4 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO GENERAL 235

3.5 CONCLUSIONES 240
3.6 EVALUACIÓN SISMOLÓGICA 242
3.6.1 AMENAZA Y RESPUESTA SÍSMICA 242
3.6.2 INFORME - ZONIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE BOGOTÁ PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICACIONES 243
3.6.2.1 Zonificación geotécnica 244
3.6.2.2 Zonificación de respuesta sísmica 247
3.7 COBERTURA Y USO DEL SUELO 251
3.7.1 PROCEDIMIENTO 251
3.7.1.1 Unidad mínima de mapeo (UMM) 252
3.7.1.2 Insumo de apoyo en la interpretación 252
3.7.2 COBERTURA DE LA TIERRA 252
3.7.2.1 Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – Quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara 253
3.7.3 USO ACTUAL DEL SUELO 259
3.7.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL PROCESOS DE MINERÍA 263
3.7.4.1 Insumos para la interpretación 263
3.7.4.2 Interpretación y comparación 1985 - 2004 - 2021 de la actividad minera - Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara 264
3.7.5 DESEMPEÑO DE LA VEGETACIÓN 271
3.7.6 CONCLUSIONES 272
3.8 EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL 278
3.8.1 Drenaje Natural 278
3.8.2 Drenaje Artificial 279
3.9 COMPONENTE HIDROLOGÍA 283
3.9.1 Localización de las cuencas 283
3.9.2 Tiempo de concentración 284

3.9.2.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE DISEÑO 287
3.9.3 Clasificación hidrológica de los suelos 290
3.9.4 Cobertura vegetal 292
3.9.5 Curva IDF 297
3.9.6 Caudal estimado 299
3.9.6.1 Quebrada Santa Ana 300
3.9.6.2 Quebrada Santa Bárbara 301
4 LÍNEA BASE PARA SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA 304
4.1 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATRICES 306
4.1.1 NIVEL DE NATURALIDAD 308
4.1.2 DEFINICIÓN DE MATRICES 312
4.1.3 ANEXOS 317
4.2 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PARCHES 318
4.2.1 EVALUACIÓN DE PARCHES EN LA MATRIZ NATURAL 324
4.2.2 EVALUACIÓN DE PARCHES EN LA MATRIZ NATURAL INTERVENIDA 326
4.2.3 ANEXOS 328
4.3 IDENTIFICACIÓN DE OFERTA Y OPORTUNIDADES 329
4.3.1 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS 329
4.3.2 OPORTUNIDADES 334
4.3.3 ANEXOS 335
4.4 IDENTIFICACIÓN DE TENSORES Y NECESIDADES (PROBLEMAS Y NECESIDADES SOCIO ECOLÓGICAS) 337
4.4.1 USO DEL SUELO 337
4.4.1.1 Avance de la frontera urbana de Bogotá 339
4.4.1.2 Ocupación incompatible 339
4.4.2 OCUPACIÓN 343

4.4.2.1 Amenazas socionaturales 344
4.4.3 ESPECIES INVASORAS 348
4.4.3.1 Retamo espinoso 348
4.4.4 GESTIÓN SOCIAL 349
4.4.4.1 Objetivo General 349
4.4.4.2 Objetivos Específicos 350
4.4.4.3 Programa de planeación y definición de actores convocados 350
4.4.4.4 Programa de información y divulgación 351
4.4.4.5 Programa de atención a la comunidad 363
4.4.4.6 Resultados 364
4.4.4.7 Conclusiones 368
4.5 ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO 371
4.5.1 CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA REGIONAL 371
4.5.1.1 Precipitación total anual 371
4.5.1.2 Número de días con lluvia al año 372
4.5.1.3 Temperatura media anual 373
4.5.1.4 Clasificación climática 374
4.5.2 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA 375
4.5.2.1 Recopilación de información hidroclimatológica disponible 375
4.5.3 RESUMEN DEL CLIMA A PARTIR DE INFORMACIÓN OBTENIDA DE ESTACIONES 377
4.5.3.1 PRECIPITACIÓN 377
4.5.3.2 TEMPERATURA 381
4.6 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DE CAMBIO CLIMÁTICO 383
4.6.1 METODOLOGÍA 383
4.6.2 COMPARACIÓN NORMALIZADA DE MÓDULOS MENSUALES 385
4.6.3 DÉFICIT HIDROLÓGICO 386
4.6.4 VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y RELACIÓN CON ENSO 390

4.6.5 ESCENARIOS HIDROLÓGICOS ASOCIADOS A ENSO 392
4.6.6 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 393
4.6.6.1 Escenarios regionales de precipitación 393
4.6.6.2 Escenarios para Bogotá D.C. 394
4.6.6.3 Ajuste de curvas IDF bajo escenarios de cambio climático 396
4.6.7 ESCENARIOS DETONANTES ASOCIADOS A LA PRECIPITACIÓN 397
4.6.7.1 Escenario base o condición histórica de referencia 398
4.6.7.2 Escenario asociado a condiciones Niño 398
4.6.7.3 Escenario asociado a condiciones Niña 398
4.6.7.4 Escenario de cambio climático 398
4.6.7.5 ESCENARIO COMPUESTO DE SENSIBILIDAD HIDROLÓGICA 399
5 PLAN DE ACCIÓN 400
5.1 IDENTIFICACIÓN DEL ROL ESTRATÉGICO NATURALEZA (VISIÓN DE PAISAJE) 400
5.1.1 CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA 401
5.1.1.1 Funciones de la estructura ecológica 401
5.1.2 PROTECCIÓN DE LA FUNCIONALIDAD HIDROLÓGICA DEL PAISAJE 402
5.1.2.1 Funciones hidrológicas del paisaje 402
5.1.3 CONECTIVIDAD Y CONTINUIDAD DEL PAISAJE NATURAL 403
5.1.3.1 Funciones de la conectividad ecológica 403
5.2 PRIORIZACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA..... 404
5.2.1 ACCIONES Y SUBACCIONES CON ARTICULACIÓN A LAS SBN 405
5.2.2 FICHAS PARA LAS PROPUESTAS CONCEPTUALES DE LAS SBN 407
5.2.3 ZONAS PRIORIZADAS 410
5.2.3.1 Sitio critico 1 411
5.2.3.2 Sitio critico 2 411
5.2.3.3 Sitio critico 3 412
5.3 ANÁLISIS Y FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE FINANCIAMIENTO PARA

LAS SBN 413
6 DISEÑOS 415
6.1 DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA A RESOLVER 415
6.1.1 SITIO CRÍTICO 1 415
6.1.1.1 Metodología de diagnóstico y exploración 415
6.1.1.2 Caracterización del movimiento y factores detonantes 415
6.1.1.3 Características morfodinámicas del proceso identificado 416
6.1.1.4 Localización zona de estudio 417
6.1.2 SITIO CRÍTICO 2 418
6.1.2.1 Metodología de diagnóstico y exploración 418
6.1.2.2 Caracterización del movimiento y factores detonantes 419
6.1.2.3 Características morfodinámicas del proceso identificado 420
6.1.2.4 Localización zona de estudio 421
6.1.3 SITIO CRÍTICO 3 423
6.1.3.1 Metodología de diagnóstico y exploración 423
6.1.3.2 Caracterización del movimiento y factores detonantes 423
6.1.3.3 Características morfodinámicas del proceso identificado 424
6.1.3.4 Localización zona de estudio 425
6.2 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO LOCAL 426
6.3 ANÁLISIS TÉCNICOS 434
6.3.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES 434
6.3.1.1 Criterios de evaluación de la estabilidad 435
6.3.1.2 Metodología del análisis de sensibilidad 435
6.3.1.3 Parámetros geotécnicos del modelo 436
6.3.1.4 Análisis de sensibilidad talud superior 439
6.3.1.5 Análisis de sensibilidad talud intermedio superior 442
6.3.1.6 Análisis de sensibilidad talud intermedio inferior 446
6.3.1.7 Análisis de sensibilidad talud inferior 450
6.4 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN BAJO EL CONCEPTO DE SBN 455

6.4.1 OBRAS DE DRENAJE – SITIO CRÍTICO 1 455
6.4.1.1 Trincheras drenantes 455
6.4.1.2 Trincho disipador 458
6.4.1.3 Biorollos 461
6.4.1.4 Diques de sacos terreros 462
6.4.1.5 Estructuras transversales permeables 464
6.4.2 OBRAS DE DRENAJE – SITIO CRÍTICO 2 466
6.4.2.1 Sacos de retención con material vegetal 466
6.4.2.2 Estructuras de retención drenante ancladas 468
6.4.3 OBRAS DE DRENAJE – SITIO CRÍTICO 3 468
6.4.3.1 Sistema de retención drenante 468
6.5 ANÁLISIS PREDIAL 470
6.5.1 AFECTACIÓN PREDIAL 471
6.5.2 ANEXOS 473
6.6 CANTIDADES DE OBRA, ACTIVIDADES, ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS, PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN DE OBRA 474
7 GESTIONES COMPLEMENTARIAS 475
7.1 APROPIACIÓN SOCIAL Y GOBERNANZA 475
7.1.1 PROGRAMA DE SENSIBILIZACIÓN Y EDUCACIÓN COMUNITARIA 475
7.1.2 PROGRAMA DE FORMACIÓN TÉCNICA Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES 476
7.1.3 PROGRAMA DE MONITOREO PARTICIPATIVO DEL RIESGO Y DEL ECOSISTEMA 476
7.2 PLAN DE GESTIÓN SOCIAL 477
7.2.1 OBJETIVOS 477
7.2.1.1 Objetivos Específicos 477
7.2.2 TALENTO HUMANO 477

7.2.3 ACTIVIDADES PREVIAS 478
7.2.4 PROGRAMA DE ATENCIÓN A LA COMUNIDAD 479
7.2.4.1 Servicio a la ciudadanía 479
7.2.4.2 Dialogo y participación ciudadana 480
7.2.5 PROGRAMA DE DIVULGACIÓN 481
7.2.5.1 Reuniones de inicio 482
7.2.5.2 Reuniones de avance 483
7.2.5.3 Reunión de finalización 483
7.2.5.4 Reuniones informativas extraordinarias 484
7.2.6 COMITÉ PARTICIPATIVO 484
7.2.7 PUNTO DE ATENCIÓN A LA COMUNIDAD 485
7.2.8 RECORRIDOS URBANOS 486
7.2.9 ACTAS DE VECINDAD Y/O FACHADA 487
7.2.9.1 Actas de acceso a garajes y rampas 490
7.2.9.2 Información por suspensión de acceso a garajes 491
7.2.9.3 Actas de compromiso 491
7.2.9.4 Levantamiento de registro fílmico de andenes, fachadas y de las vías que serán empleadas como desvíos 492
7.2.9.5 Actas adecuación técnica de las bajantes de aguas lluvias 494
7.2.9.6 Programa de cultura ciudadana 495
7.2.10 SUGERENCIAS 497
8 REFERENCIAS 499

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1-1 Localización Polígonos de estudio 31
Figura 1-2 Localización del proyecto - Polígono 3 34
Figura 2-1 Registro fotográfico, Polígono 3 36

Figura 2-2 Amenaza por movimientos en masa, Polígono 3 38
Figura 2-3 Amenaza por Avenidas torrenciales, Polígono 3..... 39
Figura 2-4. Figura 2-5 Localización Diagnósticos y conceptos técnicos, Polígono 3 40
Figura 3-1 Polígono 3 , área del levantamiento..... 49
Figura 3-2 Materialización de puntos de control geodésico – Polígono 3..... 51
Figura 3-3 Vista planificación del vuelo LiDAR – captura de pantalla DJI Pilot 2..... 54
Figura 3-4 Preparación e inicio del vuelo LiDAR – Polígono 3 56
Figura 3-5 Ortofotografía (TDOM) – Polígono 3..... 58
Figura 3-6 Modelo Digital del Terreno (MDT/DEM) – Polígono 3 59
Figura 3-7 Modelo Digital de Superficie (MDS/DSM) – Polígono 3..... 60
Figura 3-8 Plano topográfico planimétrico y altimétrico del área de estudio – Polígono 3 61
Figura 3-9 Verificación de precisión – Puntos de control altimétrico – Polígono 3..... 62
Figura 3-10 Resumen de parámetros de calidad del levantamiento LiDAR – Polígono 3. 62
Figura 3-11 Geología regional Polígono 3..... 68
Figura 3-12 Mapa estructural de la Sabana de Bogotá 70
Figura 3-13 Geología estructural del área de estudio..... 71
Figura 3-14 Geomorfología regional Polígono 3..... 72
Figura 3-15 Sitios críticos por Movimientos en Masa 75
Figura 3-16 Reporte de eventos de mm y avenidas torrenciales SIMMA 75
Figura 3-17 Figura de amenaza por avenidas torrenciales Polígono 3..... 76
Figura 3-18 Figura de amenaza por movimientos en masa Polígono 3..... 77
Figura 3-19 Localización sitio de estudio 78
Figura 3-20 Sección geológica de detalle 0+060 80
Figura 3-21 Mapa de unidades geológicas para ingeniería (UGI) 82
Figura 3-22 Sección geológica de detalle 0+00 83
Figura 3-23 Mapa de exploración SC31..... 83

Figura 3-24 Perfil estratigráfico sondeo 2 85
Figura 3-25 Figura de estaciones de campo 86
Figura 3-26 Estación 1 88
Figura 3-27 Fotografía del flujo E2 89
Figura 3-28 Cuerpo del Flujo E3 90
Figura 3-29 Afloramiento Arenisca Labor IV 91
Figura 3-30 Red estereográfica familias de discontinuidades Estación 4 93
Figura 3-31 Afloramiento arenisca Labor IV 94
Figura 3-32 Corona del deslizamiento 95
Figura 3-33 Flujo de tierras parte inferior 96
Figura 3-34 Afloramiento Suelo residual V 97
Figura 3-35 Suelos residuales grado VI 98
Figura 3-36 Flujo de tierra E10 99
Figura 3-37 Contacto roca de la Formación Labor III y el flujo de tierras 100
Figura 3-38 Roca de la Formación Labor III-II 101
Figura 3-39 Roca Formación Labor-Tierna grado III-II 102
Figura 3-40 Red estereográfica familias de discontinuidades Estación 13 103
Figura 3-41 Afloramiento Roca blanda Grado III Fm Tierna 105
Figura 3-42 Toma de datos con el Martillo de Schmidt PC1 106
Figura 3-43 E14 PC2 107
Figura 3-44 Fm tierna estrato areno arcilloso 108
Figura 3-45 E14 PC 4 109
Figura 3-46 Areniscas ferruginosas E15 111
Figura 3-47 Roca arenisca ferruginosa en contrapendiente 112
Figura 3-48 Vista a vallecito E15 113
Figura 3-49 Afloramiento rocoso Estación 16 115

Figura 3-50 Afloramiento Punto de Control 1 116
Figura 3-51 Fracturas identificadas en las rocas 117
Figura 3-52 Fracturas y agrietamiento por factores físicos 118
Figura 3-53 Toma de datos del plano de falla 119
Figura 3-54 Vista hacia contacto de Labor y Tierna y hacia Bogotá 120
Figura 3-55 Afloramiento Roca Labor III 121
Figura 3-56 Toma de datos estratigráficos 122
Figura 3-57 Afloramiento macizo rocoso Fm Labor PC 9 123
Figura 3-58 Afloramiento macizo rocoso Fm Labor PC 10 124
Figura 3-59 Afloramiento PC 11 y 12 125
Figura 3-60 Afloramiento de rocas a favor de la pendiente Fm Labor E16 PC13 126
Figura 3-61 Afloramiento Estación 17 127
Figura 3-62 Zona de paso de falla Carretero 128
Figura 3-63 Suelos arcillosos de la Fm Plaeners 129
Figura 3-64 Afloramiento rocoso de la Fm Plaeners 130
Figura 3-65 Afloramientos encontrados entre E19 PC 1 y E21 131
Figura 3-66 Afloramiento Roca arenisca dura 132
Figura 3-67 Afloramiento Arenisca Dura PC 1 133
Figura 3-68 Afloramiento PC 2 134
Figura 3-69 Afloramiento del macizo rocoso Fm Arenisca Dura PC3 135
Figura 3-70 Afloramiento de roca grado III - IV 136
Figura 3-71 Afloramiento Arenisca Dura PC 5 136
Figura 3-72 Movimiento en masa sobre el sendero Santa Ana - La Aguadora 137
Figura 3-73 Depósitos coluviales 138
Figura 3-74 Figura 3 74 Depósitos coluviales E23 139
Figura 3-75 Suelos residuales desarrollados 140

Figura 3-76 Unidades geológicas superficiales 149
Figura 3-77 Figura de UGI 157
Figura 3-78 Figura de UGI flujo 158
Figura 3-79 Fotointerpretación 1985 161
Figura 3-80 Fotointerpretación 1992 162
Figura 3-81 Fotointerpretación 1998 164
Figura 3-82 Fotointerpretación 2002 165
Figura 3-83 Fotointerpretación 2016 166
Figura 3-84 Flujo de tierras principal 167
Figura 3-85 Ortofotografía 2024 168
Figura 3-86 Fotointerpretación 2024 169
Figura 3-87 Mapa de pendientes 171
Figura 3-88 Flujo de tierras presente al sur este del Polígono 3 Estación 3 177
Figura 3-89 Vista hacia el flujo Estación 14 178
Figura 3-90 Vista hacia la corona del flujo de detritos 179
Figura 3-91 Flujo de detritos Estación 22 180
Figura 3-92 Figura de procesos morfodinámicos recientes 181
Figura 3-93 Sondeos de la base de datos JAM. Polígono 3 185
Figura 3-94 Sondeos de base de datos del EAAB. Polígono 3 189
Figura 3-95 Localización sondeos 192
Figura 3-96 Columnas sondeos S1, S2 y S3 193
Figura 3-97 Figura de localización de tomografías de resistividad eléctrica Polígono 3 . 194
Figura 3-98 Figura de localización de ensayos de líneas sísmicas de refracción Polígono 3 195
Figura 3-99 Gráfica de relación de Rho aparente (resistividad aparente) Vs Distancia. Grafica de datos adquiridos posteriormente filtrados 196

Figura 3-100 Diagrama de dispersión de datos..... 197
Figura 3-101 Pseudosecciones teórica y Sección Calculada Tomografía 198
Figura 3-102 Sección calculada 200
Figura 3-103 Gráfica de relación de Rho aparente (resistividad aparente) Vs Distancia. Grafica de datos adquiridos posteriormente filtrados 201
Figura 3-104 Diagrama de dispersión de datos..... 202
Figura 3-105 Pseudosecciones teórica y Sección Calculada Tomografía 203
Figura 3-106 Sección calculada TMR 2 205
Figura 3-107 Gráfica de relación de Rho aparente (resistividad aparente) Vs Distancia. Grafica de datos adquiridos posteriormente filtrados 206
Figura 3-108 Diagrama de dispersión de datos..... 207
Figura 3-109 Pseudosecciones teórica y Sección Calculada Tomografía. 208
Figura 3-110 Sección calculada TMR 3 210
Figura 3-111 Tomografía Vp 212
Figura 3-112 Perfil del suelo interpretado resultados sísmica de refracción LSR1 213
Figura 3-113 Perfil Vs-1 LSR-1 215
Figura 3-114 Perfil Vs-2 LSR-1 215
Figura 3-115 Perfil Vs-3 LSR-1 215
Figura 3-116 Perfil Vs-4 LSR-1 216
Figura 3-117 Perfil Vs-5 LSR-1 216
Figura 3-118 Perfil Vs-6 LSR-1 216
Figura 3-119 Perfil Vs-7 LSR-1 217
Figura 3-120 Perfil Vs-8 LSR-1 217
Figura 3-121 Perfil Vs-9 LSR-1 217
Figura 3-122 Perfil 2D Velocidad de onda de corte (Unidades en m/s y m) – LSR-1 218
Figura 3-123 Tomografía Vp 220

Figura 3-124 Perfil del suelo interpretado resultados sísmica de refracción LSR2 221
Figura 3-125 Perfil Vs-1 LSR-2 223
Figura 3-126 Perfil Vs-2 LSR-2 223
Figura 3-127 Perfil Vs-3 LSR-2 223
Figura 3-128 Perfil Vs-4 LSR-2 224
Figura 3-129 Perfil Vs-5 LSR-2 224
Figura 3-130 Perfil Vs-6 LSR-2 224
Figura 3-131 Perfil Vs-7 LSR-2 225
Figura 3-132 Perfil Vs-8 LSR-2 225
Figura 3-133 Perfil Vs-9 LSR-2 225
Figura 3-134 Perfil 2D Velocidad de onda de corte (Unidades en m/s y m) – LSR-2 226
Figura 3-135 Variación SPT SC 227
Figura 3-136 Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal. Stflo 228
Figura 3-137 Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal. Stft 229
Figura 3-138 Carta de plasticidad 230
Figura 3-139 Variación de parámetros índice muestras de sondeos 231
Figura 3-140 Variación granulometría 232
Figura 3-141 Variación peso unitario 233
Figura 3-142 Planta - Modelo geológico geotécnico general 238
Figura 3-143 Perfil - Modelo geológico geotécnico general 239
Figura 3-144 Zonificación geotécnica de la ciudad de Bogotá - Decreto 523 de 2010. .. 244
Figura 3-145 Zonificación Geotécnica - Polígono 3 246
Figura 3-146 Zonificación de respuesta sísmica de la ciudad de Bogotá - Decreto 523 de 2010 248
Figura 3-147 Zonificación de Respuesta Sísmica - Polígono 3 249
Figura 3-148 Cobertura de la tierra Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque

– quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara 253

Figura 3-149 Distribución porcentual de la cobertura de la tierra Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara . 258

Figura 3-150 Uso actual del suelo Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara 260

Figura 3-151 Distribución porcentual del uso actual del suelo Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara . 262

Figura 3-152 Fotointerpretación 1985 Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara..... 266

Figura 3-153. Fotointerpretación 2002 Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara..... 267

Figura 3-154. Interpretación 2021 Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara 268

Figura 3-155. Comparación del uso del suelo relacionado con los procesos de minería o explotación de canteras (actuales o abandonadas) 269

Figura 3-156. Proceso de restauración minera multitemporal Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara . 270

Figura 3-157. El papel de la vegetación como estrategia para las SbN 272

Figura 3-158 Hidrografía – Polígono 3 278

Figura 3-159 Cuerpos de agua naturales – Polígono 3 279

Figura 3-160 Red matriz de acueducto – Polígono 3 280

Figura 3-161 Red menor de acueducto – Polígono 3 280

Figura 3-162 Red de alcantarillado – Polígono 3 281

Figura 3-163 Red de alcantarillado sanitario – Polígono 3 282

Figura 3-164 Red de alcantarillado pluvial – Polígono 3 282

Figura 3-165. Ubicación área de aporte Polígono 1 283

Figura 3-166. Tipo de suelos presentes en la zona de estudio 291

Figura 3-167. Convenciones de las características litológicas en el Polígono 3 292
Figura 3-168. Tipo de coberturas presentes en la zona de estudio 293
Figura 3-169. Convenciones de las coberturas en el Polígono 3 294
Figura 3-170 Curva IDF para la zona de estudio..... 299
Figura 3-171 Localización del polígono 3 y secciones hidráulicas del modelo Quebrada Santa Ana. 300
Figura 3-172 Localización del polígono 3 y secciones hidráulicas del modelo Quebrada Santa Bárbara..... 301
Figura 4-1 Articulación entre sistema hídrico, uso del suelo y matrices territoriales 307
Figura 4-2 Estrategias de intervención según matrices de ocupación y funcionalidad territorial..... 308
Figura 4-3 Niveles de naturalidad 311
Figura 4-4 Perfil de naturalidad 312
Figura 4-5 Matrices polígono 3 314
Figura 4-6 Oportunidades identificadas en el polígono de estudio 335
Figura 4-7 Ocupación incompatible..... 343
Figura 4-8, Amenaza por movimientos en masa, Polígono 3 345
Figura 4-9, Amenaza por Avenidas torrenciales, Polígono 3..... 346
Figura 4-10 Amenaza por incendios forestales 347
Figura 4-11 Retamo espinoso..... 349
Figura 4-12 Pieza Grafica Invitación Reunión de Inicio Polígono 3 353
Figura 4-13 Evidencia Convocatoria vía WhatsApp Reunión de inicio Polígono 3 354
Figura 4-14 Reunión de inicio Polígono 3 355
Figura 4-15 Pieza Grafica Invitación Taller Participativo Polígono 3 356
Figura 4-16 Evidencia Convocatoria vía WhatsApp Taller Participativo Polígono 3 357
Figura 4-17. Cartografía Social Polígono 3 358

Figura 4-18 Taller Participativo Polígono 3 360

Figura 4-19 Mapa elaborado por la comunidad Polígono 3 360

Figura 4-20 Valores de precipitación total anual para el departamento de Cundinamarca y Bogotá D.C. 372

Figura 4-21 Valores de No. de días de lluvia al año para el departamento de Cundinamarca y Bogotá D.C. 373

Figura 4-22 Valores de temperatura media anual para el departamento de Cundinamarca y Bogotá D.C. 374

Figura 4-23 Clasificación climática del departamento de Cundinamarca y Bogotá D.C.. 375

Figura 4-24 Ubicación de estaciones IDIGER asociadas a polígono 3..... 376

Figura 4-25 Regimén de precipitaciones – Estación Escuela pedagogica experimental 377

Figura 4-26 Regimén de precipitaciones – Estación Fundación Ana Restrepo del Corral 378

Figura 4-27 Regimén de precipitaciones – Estación Cerro Cazadores 378

Figura 4-28 P max 24 horas mensual multianual – Estación Escuela pedagogica experimental 379

Figura 4-29 P max 24 horas mensual multianual – Estación Fundación Ana Restrepo del Corral..... 380

Figura 4-30 P max 24 horas mensual multianual – Estación Cerro Cazadores 380

Figura 4-31 P Temperatura mensual multianual – Estación La Fiscala (2120000107) ... 382

Figura 4-32 Continuidad temporal y distribución de datos faltantes – Estación Escuela Pedagógica Experimental 385

Figura 4-33 Comparación normalizada de los módulos climatológicos de precipitación acumulada mensual (Pm) y precipitación máxima mensual (Pmáx) – Estación Escuela Pedagógica Experimental 386

Figura 4-34 Déficit local normalizado para precipitación acumulada mensual (Pm) y precipitación máxima mensual (Pmáx) – Estación Escuela Pedagógica Experimental .. 388

Figura 4-35 Déficit acumulado de precipitación acumulada mensual (Pm) y precipitación

máxima mensual (Pmáx) – Estación Escuela Pedagógica Experimental. 389

Figura 4-36 Déficit local normalizado y condiciones ENSO - Estación Escuela Pedagógica Experimental..... 391

Figura 4-37 Factores de ajuste de precipitación asociados a las fases ENSO para la Estación Escuela Pedagógica Experimental. 392

Figura 4-38 Proyección de variación porcentual de la precipitación (-20% a +20%) en periodos húmedos y secos de Bogotá 394

Figura 4-39 Curvas IDF ajustadas mediante un factor climático de 1.20 – Polígono 3.. 397

Figura 6-1 Sitio crítico Polígono 3 417

Figura 6-2 Localización sitio critico Polígono 3..... 418

Figura 6-3 Sitio crítico 2 Polígono 3 421

Figura 6-4 Localización sitio critico 2 Polígono 3..... 422

Figura 6-5 Sitio crítico 3 Polígono 3 425

Figura 6-6 Localización sitio critico 3 Polígono 3..... 426

Figura 6-7 Planta - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 1)..... 427

Figura 6-8 Perfil - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 1)..... 428

Figura 6-9 Planta - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 2)..... 429

Figura 6-10 Perfil - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 2)..... 430

Figura 6-11 Planta - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 3)..... 431

Figura 6-12 Perfil - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 3)..... 432

Figura 6-13 Taludes sitio crítico 434

Figura 6-14 Modelo geotécnico nivel freático actual 437

Figura 6-15 Modelo geotécnico nivel freático +2m 438

Figura 6-16 Modelo geotécnico nivel freático +4m 438

Figura 6-17 Modelo geotécnico nivel freático saturado 439

Figura 6-18 Talud superior- Factor de seguridad VS cohesión estático 440

Figura 6-19 Talud superior- Factor de seguridad VS cohesión pseudoestático 441
Figura 6-20 Talud superior – Modelo de estabilidad, condición estática 442
Figura 6-21 Talud superior – Modelo de estabilidad, condición pseudoestática 442
Figura 6-22 Talud medio superior y flujo de agua 443
Figura 6-23 Talud intermedio superior- Factor de seguridad VS cohesión estático 444
Figura 6-24 Talud intermedio superior- Factor de seguridad VS cohesión pseudoestático 445
Figura 6-25 Talud intermedio superior – Modelo de estabilidad, condición estática 446
Figura 6-26 Talud intermedio superior – Modelo de estabilidad, condición pseudoestática 446
Figura 6-27 Talud medio superior y flujo de agua 447
Figura 6-28 Talud intermedio inferior- Factor de seguridad VS cohesión estático 448
Figura 6-29 Talud intermedio inferior- Factor de seguridad VS cohesión pseudoestático 449
Figura 6-30 Talud intermedio inferior – Modelo de estabilidad, condición estática 450
Figura 6-31 Talud intermedio inferior – Modelo de estabilidad, condición pseudoestática 450
Figura 6-32 Talud inferior- Factor de seguridad VS cohesión estático 451
Figura 6-33 Talud intermedio inferior- Factor de seguridad VS cohesión pseudoestático 452
Figura 6-34 Talud inferior – Modelo de estabilidad, condición estática 453
Figura 6-35 Talud inferior – Modelo de estabilidad, condición pseudoestática 453
Figura 6-36 Esquema general trinchera drenante 457
Figura 6-37 Esquema general trinchos disipadores (tipo 1) 459
Figura 6-38 Esquema general trinchos disipadores (tipo 2) 460
Figura 6-39 Esquema general biorrollos 461
Figura 6-40 Diques de sacos 463

Figura 6-41 Detalle estructura transversal permeable 464
Figura 6-42 Detalle sacos de retención 467
Figura 6-43 Análisis predial 471
Figura 6-44 Afectación predial 473
Figura 7-1 Localización sitio de reuniones 481
Figura 7-2 Ubicación sitio de reuniones 482

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2-1, Revisión de información de diagnósticos y conceptos técnicos del IDIGER para el Polígono 3 41
Tabla 3-1 Insumos IGAC utilizados en el estudio 44
Tabla 3-2 Coordenadas de los Puntos de Control Geodésico (MAGNA-SIRGAS / CTM-12, época 2018.0) 51
Tabla 3-3 Coordenadas Geocéntricas (Cartesianas) SIRGAS-CON – Bases de post-proceso 51
Tabla 3-4 Coordenadas estaciones de campo 87
Tabla 3-5 Datos del levantamiento estructural E4 91
Tabla 3-6 Resumen familias de discontinuidades Estación 4 93
Tabla 3-7 Resumen familias de discontinuidades Estación 13 104
Tabla 3-8 Resumen familias de discontinuidades Estación 15 110
Tabla 3-9 Resumen familias de discontinuidades Estación 16 114
Tabla 3-10 Relación de fotografías aéreas e imágenes satelitales 159
Tabla 3-11 Listado maestro de proyectos incorporados en la base de datos de caracterización geotécnica. Localidad Usaquen 184
Tabla 3-12. Listado de sondeos de base de datos JAM 185
Tabla 3-13 Listado maestro de proyectos incorporados en la base de datos de

caracterización geotécnica. SISGEO EAAB 189

Tabla 3-14 Relación de cantidad de perforación CTM12 192

Tabla 3-15 Profundidad nivel freático 193

Tabla 3-16 Ubicación y longitud Ensayos tomografía de resistividad Polígono 3 195

Tabla 3-17 Ubicación y longitud Ensayo de línea sísmica de refracción Polígono 3 196

Tabla 3-18 Perfil Vs30 LSR-1 214

Tabla 3-19 Perfil Vs30 LSR-2 222

Tabla 3-20 Resultados de carga puntual 234

Tabla 3-21 Resultados de compresión simple 234

Tabla 3-22 Modulo de Young sitio crítico 234

Tabla 3-23 Coeficiente de Poisson sitio crítico 235

Tabla 3-24 Características de las unidades Geotécnicas - Polígono 3 247

Tabla 3-25 Parámetros Sísmicos de Diseño - Polígono 3 250

Tabla 3-26 Relación de los insumos de los sensores remotos utilizados en la etapa de interpretación 251

Tabla 3-27 Leyenda cobertura de la tierra Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara 254

Tabla 3-28 Leyenda uso actual del suelo Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara 261

Tabla 3-29 Relación de aerofotografías y ortofotomosaicos 264

Tabla 3-30 Incidencia tanto de la cobertura de la tierra como del uso actual del suelo sobre la estabilidad del terreno 274

Tabla 3-31 Parámetros morfométricos de áreas de aporte. 284

Tabla 3-32 Tiempos de concentración para cada cuenca. 289

Tabla 3-33 Número de curva de escorrentía para áreas urbanas. 295

Tabla 3-34. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas. 296

Tabla 3-35. Coeficientes de CN para cada tipo de cobertura 297
Tabla 3-36. Numero de curva ponderado de la cuenca..... 297
Tabla 3-37 Coeficientes curvas IDF para los sitios de estudio. 298
Tabla 3-38 Valores de intensidad en mm/h para zona de estudio. 298
Tabla 3-39. Resumen de evaluación hidráulica en las quebradas del polígono 3 302
Tabla 4-1 Descripción general de los niveles de naturalidad..... 310
Tabla 4-2 Caracterización de matrices homogéneas 316
Tabla 4-3 Codificación criterios de análisis de parches..... 319
Tabla 4-4 Parches identificados..... 324
Tabla 4-5 Evaluación de parches en la matriz natural..... 325
Tabla 4-6 Evaluación de parches en la matriz natural intervenida..... 327
Tabla 4-7 Servicios ecosistémicos identificados 332
Tabla 4-8 Tensores identificados en el área de estudio 337
Tabla 4-9 Resultado Cartografía Social Polígono 3 361
Tabla 4-10. Consolidado Entrevistas Semi-Estructuradas Polígono 3..... 363
Tabla 4-11 Canales de atención 363
Tabla 4-12 Matriz de Necesidades, Conflictos y Potencialidades Polígono 3..... 366
Tabla 4-13 Estaciones con Influencia en la Zona de Estudio 376
Tabla 4-14 Resumen de resultados obtenidos de Precipitación total multianual 379
Tabla 4-15 Resumen de resultados obtenidos de Precipitación máxima en 24 horas 381
Tabla 4-16 Resumen de fases de déficit y exceso hidrológico para la estación Escuela Pedagógica Experimental 389
Tabla 4-17 Intensidades IDF ajustadas – Polígono 3..... 397
Tabla 4-18 Escenario compuesto Niña + Cambio Climático..... 399
Tabla 5-1 Acciones y Subacciones del PAC relacionadas con el polígono 405
Tabla 5-2 Posibles fuentes o mecanismos de articulación y financiamiento..... 414

Tabla 6-1 Parámetros geotécnicos de los modelos de equilibrio límite 436
Tabla 6-2. Convenciones estratos del modelo geotécnico 437
Tabla 6-3 Resumen condición de inestabilidad estática talud superior 440
Tabla 6-4 Resumen condición de inestabilidad pseudoestática talud superior 441
Tabla 6-5 Resumen condición de inestabilidad estática talud medio superior 444
Tabla 6-6 Resumen condición de inestabilidad pseudoestática talud medio superior 445
Tabla 6-7 Resumen condición de inestabilidad estática talud medio inferior 448
Tabla 6-8 Resumen condición de inestabilidad pseudoestática talud medio inferior 449
Tabla 6-9 Resumen condición de inestabilidad estática talud inferior 451
Tabla 6-10 Resumen condición de inestabilidad pseudoestática talud medio inferior 452
Tabla 6-11 Caracterización predial 470
Tabla 6-12 Presupuesto tres sitios críticos 474
Tabla 7-1 Talento humano requerido fase de ejecución de obra 477
Tabla 7-2 Contacto de actores principales 481

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente informe se desarrolla en el marco del Contrato de Consultoría No. IDIGER-294-2025, cuyo objeto corresponde al estudio y diseño de acciones y medidas adaptativas a los efectos del cambio climático y reducción del riesgo en zonas priorizadas del Distrito Capital. En particular, este documento presenta los resultados técnicos correspondientes al *Polígono 3 – Conector ecosistémico Cerro Virrey Neuque, quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara*, localizado en la localidad de Usme, dentro del Conector Ecosistémico Media Luna del Sur.

El informe integra los componentes requeridos para la caracterización y análisis del polígono, incluyendo cobertura y uso del suelo, geología y geomorfología regional y local, identificación de procesos morfodinámicos, evaluación del drenaje superficial, caracterización geotécnica, exploración directa e indirecta, análisis sismológico y demás insumos técnicos necesarios para la formulación de medidas de reducción del riesgo y adaptación al cambio climático.

Adicionalmente, el documento incorpora el enfoque de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) e intervenciones híbridas, entendidas como alternativas orientadas no solo a la mitigación de procesos de inestabilidad y erosión, sino también a la recuperación funcional del territorio, el manejo de la escorrentía, la restauración de coberturas vegetales, la protección del suelo y el fortalecimiento de los servicios ecosistémicos asociados al Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque y su entorno.

En este sentido, el análisis del Polígono 3 busca consolidar una lectura integral del territorio, articulando criterios geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, hidrológicos, ambientales y sociales, con el fin de establecer las condiciones actuales del sector, identificar los principales factores condicionantes y detonantes de los procesos de inestabilidad, y definir los lineamientos técnicos para la formulación de alternativas de intervención viables, sostenibles y acordes con las condiciones reales del área de estudio.

Los resultados presentados constituyen un insumo fundamental para la estructuración de las medidas de intervención requeridas en el sitio crítico identificado, así como para la

definición de acciones complementarias orientadas a la reducción del riesgo, la adaptación al cambio climático y la recuperación ambiental del borde urbano-ecológico asociado al área de estudio.

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.

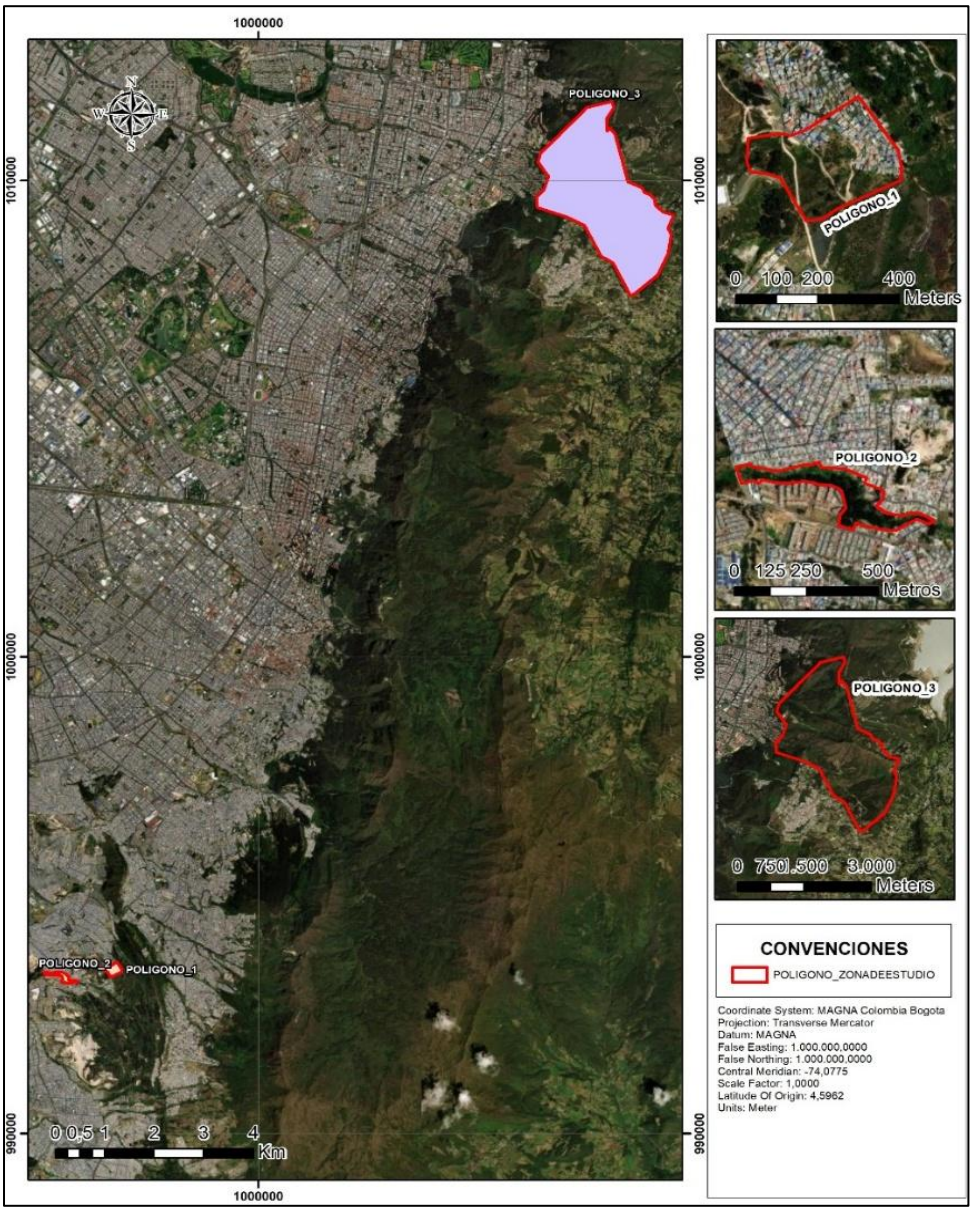
En este contexto, el Plan de Ordenamiento Territorial – POT (Decreto 555 de 2021) establece lineamientos para la gestión integral del riesgo y la adaptación al cambio climático, incluyendo la priorización de laderas estratégicas del Distrito que requieren estudios detallados para la formulación de medidas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

Figura 1-1 Localización Polígonos de estudio



Fuente: Elaboración propia

El desarrollo de estos estudios permitirá complementar y actualizar la información existente sobre las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, geotécnicas y ambientales de los sectores priorizados, 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

El Polígono 3 corresponde a las subcuencas de las Quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara, ubicadas en el Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque en la localidad de Usaquén. Esta zona constituye una de las unidades hídricas más estratégicas de la ciudad, lo cual le otorga una gran importancia ecosistémica; no obstante, debido a las propias características territoriales, existe el riesgo por avenidas torrenciales, diversos procesos de remoción en masa, procesos erosivos severos y una degradación ambiental acelerada.

Eventos recientes han generado afectaciones sobre infraestructura vial, hidráulica y urbana, incluyendo procesos de socavación, colmatación de cauces, obstrucción de drenajes, inestabilidad de taludes y acumulación de sedimentos y material vegetal. Estas condiciones se han agravado por intervenciones antrópicas, como la modificación de cauces, ocupación de zonas de protección, disposición inadecuada de residuos y falta de mantenimiento preventivo.

Asimismo, se evidencia que una de las problemáticas principales está asociada a la dinámica hidrológica de las cuencas altas, donde las pendientes pronunciadas, la baja infiltración del suelo y la concentración rápida del escurrimiento superficial favorecen la ocurrencia de avenidas torrenciales con alta carga de sedimentos durante lluvias intensas.

Las condiciones descritas evidencian la necesidad de abordar el análisis del Polígono 3 desde una perspectiva integral, que articule los componentes geológico, geomorfológico, geotécnico, hidrológico, ambiental y social. Este enfoque permite identificar los factores

condicionantes y detonantes de los procesos de inestabilidad, así como establecer criterios técnicos para la formulación de medidas de intervención que respondan a las condiciones reales del territorio.

En este contexto, el desarrollo del presente estudio busca consolidar los insumos necesarios para la formulación de alternativas de reducción del riesgo y adaptación al cambio climático, incorporando soluciones de ingeniería, medidas de manejo de aguas y Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), orientadas a mejorar la estabilidad de la ladera, recuperar funciones ecosistémicas y fortalecer la resiliencia del sector frente a eventos hidroclimáticos extremos.

1.4 OBJETIVO

Caracterizar integralmente las condiciones físicas, ambientales y territoriales del *Polígono 3 – Conector ecosistémico Cerro Virrey Neuque, quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara*, mediante el análisis geológico, geomorfológico, geotécnico, hidrológico, de cobertura y uso del suelo, con el fin de identificar los factores condicionantes y detonantes de los procesos de inestabilidad y establecer criterios técnicos para la formulación de medidas de reducción del riesgo y adaptación al cambio climático, incorporando soluciones de ingeniería, manejo hidráulico y Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).

1.5 LOCALIZACIÓN

El Polígono 3, correspondiente al Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque – Quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara, está ubicado en la localidad de Usaquén (UPL 06 – Cerros Orientales y UPL 25 – Usaquén) y cubre un área aproximada de 552 hectáreas, distribuidas en los sectores catastrales Escuela de Caballería, Santa Ana, Usaquén y Páramo, con coordenadas 4°41'.05"W, 74°01'.19"N.

Figura 1-2 Localización del proyecto - Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

2 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

El Polígono 3, correspondiente al conector ecosistémico Cerro Virrey Neuque – Quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara, se localiza en la localidad de Usaquén y cubre un área aproximada de 552 ha, distribuidas en los sectores catastrales Escuela de Caballería, Santa Ana, Usaquén y Páramo, dentro de las UPL 06 – Cerros Orientales y UPL 25 – Usaquén. Las subcuencas de estas quebradas, junto con el Canal Molinos, forman parte de la Estructura Ecológica Principal, constituyendo una unidad hídrica estratégica del norte de Bogotá con alta exposición a avenidas torrenciales, procesos de remoción en masa y erosión severa.

En las últimas décadas, el territorio ha experimentado transformaciones importantes en la cobertura y el uso del suelo, asociadas a la introducción de plantaciones de coníferas (Pinus patula), la modificación de drenajes naturales y la expansión urbana en sectores cercanos a las quebradas. Estas dinámicas han generado mayor exposición de viviendas, infraestructura crítica —como la línea matriz del acueducto— y equipamientos urbanos a procesos de inundación súbita, movimientos en masa y degradación ambiental.

Los diagnósticos técnicos 18929 y 19186 de 2023 evidencian condiciones geomorfológicas de alta susceptibilidad, con una dinámica hídrica caracterizada por flujos hiperconcentrados, socavación lateral activa y transporte significativo de sedimentos. De acuerdo con el POT de Bogotá (Decreto 555 de 2021), gran parte de la cuenca presenta amenaza alta y media por movimientos en masa, así como niveles variables de amenaza por avenidas torrenciales, afectando sectores del Canal Molinos, el Tanque Usaquén, el sendero La Aguadora y áreas cercanas a las quebradas.

Eventos recientes, como el ocurrido el 18 de marzo de 2023, registraron deslizamientos y flujos de lodo originados en laderas con materiales sedimentarios y arcillosos, generando colmatación de cauces, socavación en obras hidráulicas y afectaciones en vías, redes de servicios públicos y cerramientos. En conjunto, la problemática responde a la interacción de factores geotécnicos, hidrológicos y antrópicos, lo que requiere acciones integrales orientadas a la estabilización de laderas, manejo hidráulico de cauces, recuperación ecológica y control del uso del suelo en el corredor hídrico.

Figura 2-1 Registro fotográfico, Polígono 3



Fotografía 9. Sector antenas



Fotografía 10. Drenaje a Q Chorrera

Costado oriental Quebrada la Chorrera, sector Conjunto Amaretto



Fotografía 11. Cuerpo de la Remoción en masa.



Fotografía 12. Escarpe principal



Fotografía 17. Vía Bogotá Patios



18. Cuerpo del deslizamiento





Fotografía 19 y 20. Q. Santa Barbara sector Tanque Usaquén marzo 2023 fuente DI 19186

Fuente: Anexo técnico, IDIGER

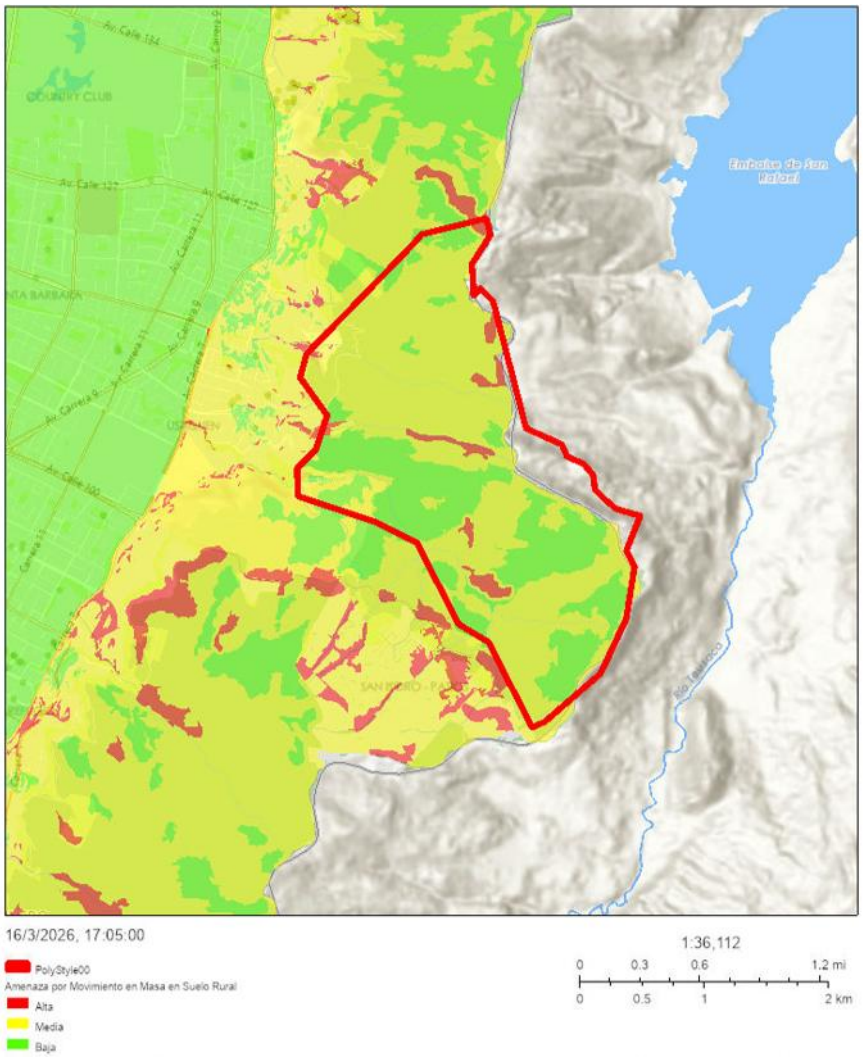
A continuación, se presenta la información recopilada para este polígono.

2.1 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

De acuerdo con la cartografía de amenaza por movimientos en masa en suelo rural y urbano, el Polígono 3 presenta una predominancia de zonas con amenaza media, distribuidas ampliamente en las laderas asociadas a los Cerros Orientales y en las subcuencas de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara. Estas condiciones están relacionadas con la presencia de pendientes pronunciadas, suelos residuales derivados de rocas sedimentarias y materiales coluviales susceptibles a procesos de erosión y saturación.

De manera localizada se identifican sectores con amenaza alta, principalmente en franjas de ladera y zonas cercanas a los cauces, donde la combinación de fuertes pendientes, procesos de socavación y escorrentía concentrada favorece la ocurrencia de deslizamientos. En menor proporción se presentan áreas clasificadas con amenaza baja, localizadas en sectores de menor pendiente o en zonas de transición hacia el piedemonte. En conjunto, la distribución de estas categorías refleja una susceptibilidad moderada a alta a procesos de remoción en masa, especialmente en áreas intervenidas o cercanas a drenajes naturales.

Figura 2-2 Amenaza por movimientos en masa, Polígono 3



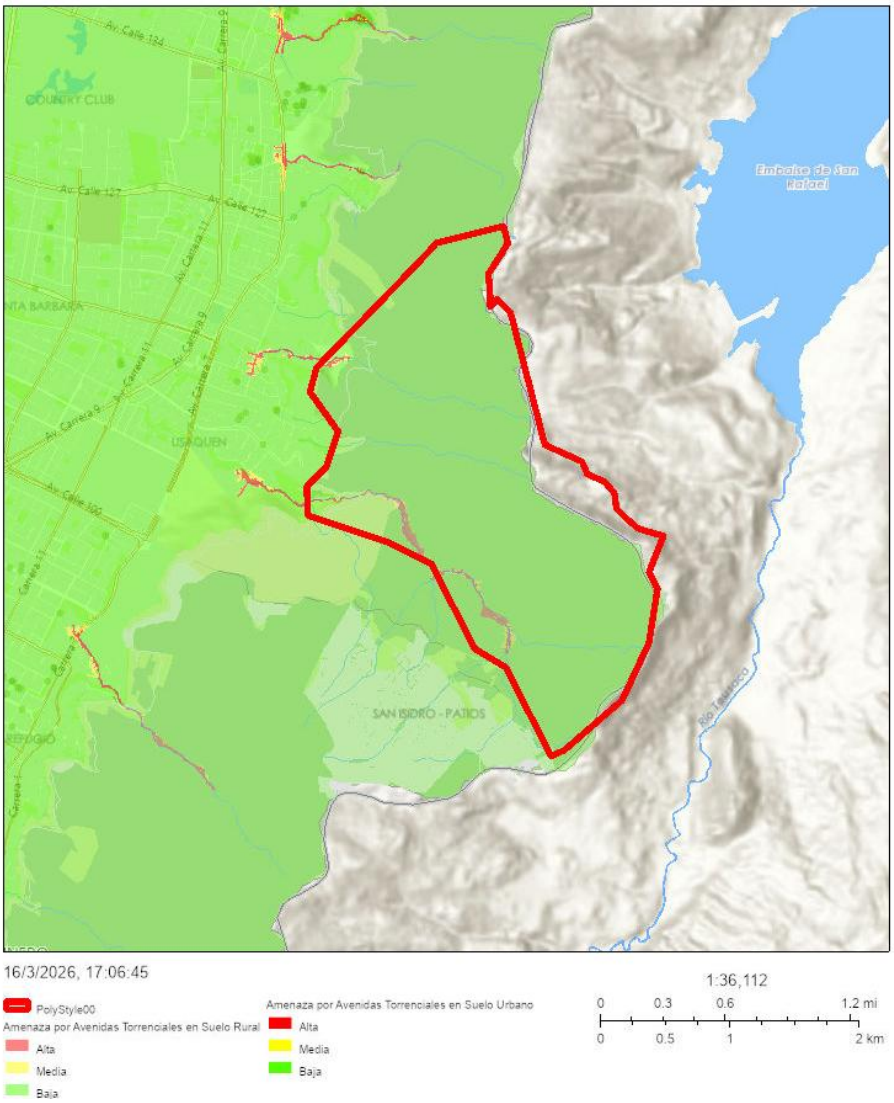
Fuente: SIRE

2.2 AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL

De acuerdo con la cartografía de amenaza por avenidas torrenciales en suelo rural y urbano, el Polígono 3 se localiza mayoritariamente en áreas clasificadas con amenaza baja, especialmente en las zonas de ladera y en sectores intermedios de las subcuencas de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara. Sin embargo, se identifican franjas localizadas de amenaza media y alta asociadas principalmente a los cauces y a sectores donde se concentra la escorrentía superficial, en particular en tramos cercanos a las quebradas y al sistema del Canal Molinos.

Estas zonas corresponden a áreas donde la topografía de alta pendiente, la dinámica torrencial de las cuencas y la acumulación de sedimentos pueden generar crecientes súbitas con capacidad de transporte de material. En conjunto, la distribución espacial de la amenaza evidencia que, aunque gran parte del polígono presenta condiciones de menor exposición, los corredores hídricos y sus áreas adyacentes constituyen los sectores más susceptibles a procesos torrenciales, especialmente durante eventos de precipitación intensa.

Figura 2-3 Amenaza por Avenidas torrenciales, Polígono 3



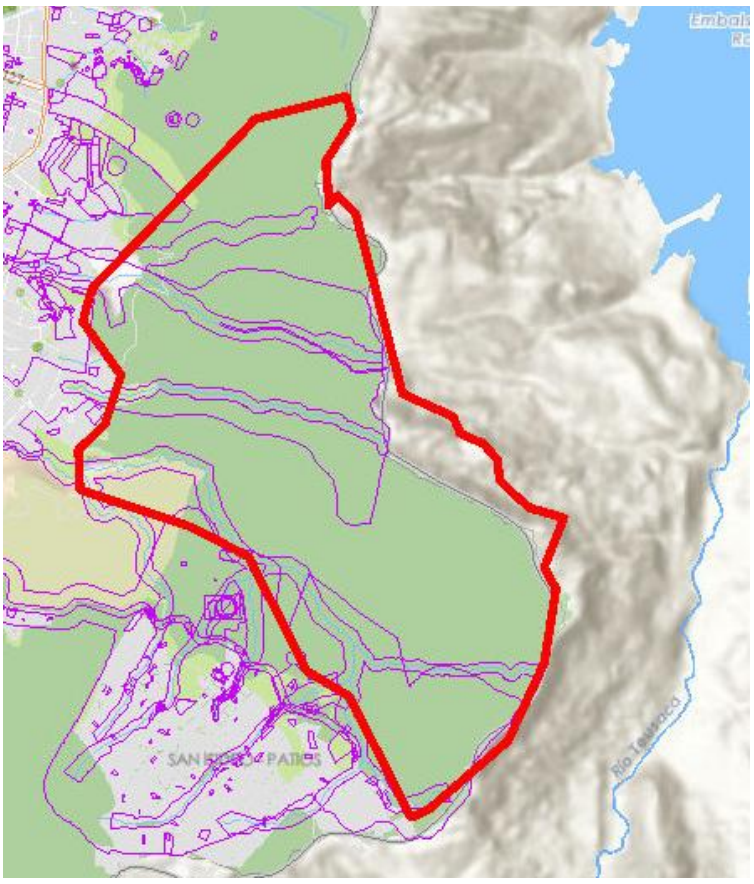
Fuente: SIRE

2.3 DIAGNÓSTICOS Y CONCEPTOS TÉCNICOS IDIGER

Diagnóstico técnico (DI): Es un documento que parte de una inspección visual realizada por el área de asistencia técnica de la Subdirección de Análisis de Riesgo del IDIGER (antes Fopae) mediante la visita del predio, y de un estudio de los antecedentes (visitas y análisis anteriores). Su ámbito está enfocado a casos individuales (predios) y responde a casos de eventos o emergencias.

Concepto Técnico (CT): Es un documento emitido por el área de estudios y conceptos técnicos del IDIGER que parte de una inspección visual realizada en la visita a campo y de un estudio de los antecedentes (por ejemplo, visitas y análisis anteriores, normas, correspondencias oficiales). Su ámbito está enfocado a zonas (polígonos) y sirve como una herramienta de planificación y de ordenamiento territorial.

Figura 2-4. Figura 2-5 Localización Diagnósticos y conceptos técnicos, Polígono 3



Fuente: Geoportal SIRE

Tabla 2-1, Revisión de información de diagnósticos y conceptos técnicos del IDIGER para el Polígono 3

No.	Nombre	Fecha	Localización	Descripción
1	DI-18208	12–19/11/2022	Sectores Camino al Meta, vía Bogotá – La Calera y San Luis (localidades de Chapinero y Usaquén)	Diagnóstico técnico realizado por el IDIGER mediante inspección visual para evaluar condiciones de riesgo por movimientos en masa, caída de material, deslizamientos y afectaciones asociadas a procesos de inestabilidad en laderas cercanas a la vía Bogotá–La Calera y sectores residenciales.
2	DI-18929	Marzo 2023	Sectores asociados a la quebrada Santa Bárbara, Quebrada Santa Ana y Canal Molinos	Diagnóstico técnico relacionado con un evento de avenida torrencial o creciente súbita, en el cual se identificaron movimientos en masa en las cuencas altas, colmatación de infraestructura hidráulica y afectaciones en vías, edificaciones y obras hidráulicas aguas abajo.
3	DI-19186	Mayo–Junio 2023	Quebradas Santa Ana, Santa Bárbara, La Chorrera y Canal Molinos (Usaquén y Chapinero)	Diagnóstico técnico consolidado que evalúa condiciones de riesgo asociadas a crecientes súbitas y procesos de inestabilidad en laderas, mediante inspección visual en sectores de las quebradas y su área de influencia urbana y rural.

Fuente: Elaboración propia

En conjunto, los diagnósticos técnicos emitidos por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) evidencian que el sector correspondiente al Polígono 3 presenta condiciones recurrentes de susceptibilidad frente a fenómenos asociados principalmente a avenidas torrenciales, crecientes súbitas y procesos de remoción en masa en laderas. Estos eventos se encuentran relacionados con la dinámica de las cuencas de las quebradas Santa Ana, Santa Bárbara, La Chorrera y el Canal Molinos, donde se han identificado procesos de erosión, socavación, colmatación de infraestructura hidráulica, desprendimientos de material y afectaciones puntuales en vías y edificaciones cercanas a los cauces. En términos generales, los diagnósticos coinciden en señalar la influencia de factores geomorfológicos y de drenaje propios del piedemonte oriental, que favorecen la concentración de escorrentía y el transporte de sedimentos durante eventos de precipitación intensa, lo que incrementa la exposición de la infraestructura y de los asentamientos ubicados en el área de influencia de estas quebradas.

3 LÍNEA BASE FÍSICA

3.1 CARTOGRAFÍA BASE

3.1.1 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – IGAC

Para el desarrollo del presente estudio se recopiló y analizó información cartográfica y aerofotográfica proveniente del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, como insumo base para la caracterización territorial, geomorfológica, ambiental y de ocupación del área de estudio. Esta información permite reconocer la evolución histórica del territorio, identificar cambios en las coberturas y usos del suelo, analizar transformaciones antrópicas, interpretar modificaciones en el patrón de drenaje superficial y apoyar la delimitación de unidades geomorfológicas y zonas con evidencia de procesos morfodinámicos.

El uso de información multitemporal resulta fundamental para comprender la dinámica del Polígono 3, dado que permite comparar diferentes momentos de ocupación y transformación del terreno, particularmente en un sector de borde urbano-ambiental asociado al Conector ecosistémico Cerro Virrey Neuque y a las subcuencas de las Quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara. A partir de esta revisión es posible identificar variaciones en la cobertura vegetal, expansión urbana, intervención de laderas, cambios en cauces o drenajes menores, aparición o evolución de zonas erosionadas y posibles evidencias de movimientos en masa.

La información IGAC fue utilizada como soporte para los análisis de contexto territorial, cobertura y uso del suelo, fotointerpretación geomorfológica, evaluación de procesos superficiales, análisis multitemporal y construcción de cartografía temática del proyecto. En este sentido, constituye a una base transversal para la lectura integral del territorio y para la formulación de alternativas de reducción del riesgo y adaptación al cambio climático.

Dentro de la información recopilada se incluyeron ortofotografías, fotografías aéreas, imágenes georreferenciadas y planchas cartográficas IGAC a escala 1:2.000, las cuales fueron empleadas para apoyar la interpretación espacial del área de estudio. Las planchas e imágenes revisadas se relacionan a continuación:

Tabla 3-1 Insumos IGAC utilizados en el estudio

Fuente / insumo	Identificación	Año	Escala / resolución aproximada
Fotografía aérea IGAC	C-2161 / Fotografía 117	11/02/1984	1:20.000
Fotografía aérea IGAC	R-1183 / Fotografía 110	02/10/1992	1:20.000
Fotografía aérea IGAC	C-2656 / Fotografía 177	1999	1:20.000
Fotografía aérea IGAC	C-2717 / Fotografía 99	2004	1:20.000
Ortofotografía IGAC	No aplica	2015	Resolución 7 m
Ortofotografía IGAC	No aplica	2020	Resolución 7 m
Imagen satelital / ESRI	-	2026	-

Fuente: Elaboración propia

A partir de esta información se desarrolló el análisis multitemporal del área de estudio, orientado a reconocer la evolución física y territorial del polígono, apoyar la identificación de procesos de inestabilidad y erosión, y generar insumos para la caracterización geomorfológica, ambiental y territorial. Estos elementos son fundamentales para sustentar la formulación de medidas de intervención, particularmente aquellas asociadas al manejo de escorrentía, estabilización de laderas, recuperación de cobertura vegetal y aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).

3.1.2 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – EAAB

Para el desarrollo del presente estudio se empleó información geográfica suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB, correspondiente a productos derivados de levantamientos fotogramétricos y LiDAR realizados en el marco del Contrato No. 1-2-26600-0540-2021, cuyo objeto fue la adquisición de información geográfica de ortofoto y LiDAR para un área aproximada de 60.000 hectáreas ubicadas en Bogotá D.C., el municipio de Soacha y áreas aledañas de interés para los proyectos de la EAAB-ESP.

Dentro de los insumos utilizados se encuentran la ortofoto, el Modelo Digital del Terreno (DTM), el Modelo Digital de Superficie (DSM), la nube de puntos LiDAR y las curvas de nivel derivadas. Esta información constituye una base cartográfica y topográfica de alta relevancia para la caracterización del polígono, debido a que permite analizar con mayor detalle las condiciones morfológicas del terreno, la configuración de laderas, la red de drenaje superficial, las coberturas existentes y los elementos antrópicos presentes en el área de estudio.

La ortofoto EAAB corresponde a un ortofotomosaico digital para Bogotá urbano y Soacha,

generado a partir de fotografías aéreas tomadas con cámara DMCIII, con resolución espacial de 8 cm. Este insumo fue utilizado como apoyo para la interpretación visual del territorio, la identificación de coberturas, la delimitación de elementos urbanos y naturales, el reconocimiento de patrones de ocupación y la validación espacial de rasgos asociados a procesos de intervención antrópica, erosión y modificación del drenaje superficial.

Por su parte, la información LiDAR corresponde a una nube de puntos con resolución de 12 puntos/m², a partir de la cual se generaron productos derivados como el DTM, el DSM y las curvas de nivel. El DTM fue empleado como insumo principal para la lectura topográfica del terreno natural, permitiendo analizar pendientes, formas del relieve, cambios morfológicos, zonas de concentración de escorrentía y sectores potencialmente asociados a procesos de inestabilidad. El DSM, en complemento, permitió reconocer la expresión superficial de elementos como vegetación, edificaciones e infraestructura, apoyando la interpretación territorial del polígono.

De acuerdo con los documentos técnicos de control de calidad, la clasificación inicial de la nube de puntos LiDAR consideró las clases “sin clasificar”, “terreno”, “ruido” y “agua”, a partir de las cuales se generaron los productos derivados. Para el Modelo Digital del Terreno se definió una grilla de 1 m, formato ráster GeoTIFF de 32 bits tipo float sin compresión, y curvas de nivel con intervalo de 1 m. Estos productos fueron sometidos a procesos de aseguramiento de calidad mediante puntos de control terrestre y verificación de precisión posicional.

El control de calidad reportado para el DTM indica que el producto presenta un RMSE vertical de 0,085 m y una precisión vertical al 95 % de confianza de 0,167 m. Adicionalmente, se reporta que el 86,3 % de los datos se encuentra dentro del rango de ±10 cm y el 96,2 % dentro del rango de ±20 cm, concluyendo que el producto cumple con las exactitudes posicionales esperadas para escala 1:1.000.

Desde el punto de vista geodésico y cartográfico, los productos fueron desarrollados bajo sistemas de referencia oficiales. La información LiDAR se encuentra asociada al sistema MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone, EPSG:3116, mientras que el metadato de la ortofoto reporta el sistema MAGNA Ciudad Bogotá, WKID:7458. Para efectos del presente estudio, esta información fue revisada y articulada dentro del sistema de trabajo cartográfico

definido para el proyecto, garantizando la consistencia espacial de los análisis desarrollados.

En el marco del análisis del polígono, estos insumos fueron utilizados de manera transversal en diferentes componentes del estudio, incluyendo la delimitación y revisión del área de trabajo, la interpretación geomorfológica, la evaluación de pendientes, la identificación de drenajes superficiales, el reconocimiento de zonas intervenidas, la validación de coberturas y usos del suelo, y la generación de cartografía temática de apoyo.

En particular, el DTM permitió mejorar la comprensión de la configuración topográfica del sector La Fiscala – Barrio San Martín – Parque Entrenubes, donde la presencia de laderas intervenidas, escorrentía superficial concentrada y procesos de inestabilidad requiere un análisis detallado del relieve. La ortofoto, por su parte, permitió complementar dicha lectura mediante la identificación de elementos visibles en superficie, tales como vías, senderos, ocupaciones, coberturas vegetales, zonas erosionadas y sectores de borde urbano-ambiental.

En consecuencia, la información DTM y ortofoto de la EAAB constituye un insumo fundamental para la caracterización física y territorial del polígono, así como para la formulación de medidas de reducción del riesgo y adaptación al cambio climático. Su uso permite fortalecer la confiabilidad de los análisis espaciales y sustentar técnicamente la definición de alternativas de intervención, especialmente aquellas relacionadas con estabilización de laderas, manejo de escorrentía, recuperación de cobertura vegetal y aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).

3.2 TOPOGRAFÍA DETALLADA

3.2.1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe documenta el levantamiento topográfico realizado en el Polígono 3 , correspondiente al Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque (CECVN), sector Quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara, en las localidades de Usaquén (UPL 06 Cerros Orientales y UPL 25 Usaquén), en el marco del contrato de consultoría entre el Consorcio Adaptación 2025 e IDIGER para la caracterización y diseño de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para la reducción de riesgos y la adaptación al cambio climático en Bogotá D.C.

La metodología integró tecnología LiDAR aerotransportada mediante dron DJI Matrice 350 RTK con sensor Zenmuse L2, ejecutada en seis (6) trayectorias de vuelo el 24 de junio de 2026, con procesamiento PPK local en DJI Terra v5.1.1, y levantamiento GNSS estático con equipos Hi-Target V200 para la materialización de tres (3) puntos de control geodésico (GPS-1, GPS-2, GPS-3), todos georreferenciados al sistema MAGNA-SIRGAS Origen Bogotá / CTM-12, época 2018.0.

El Polígono 3 es el de mayor extensión y complejidad topográfica del proyecto, con cobertura efectiva del vuelo LiDAR de 1,813 km², densidad de nube de 159 pts/m², densidad de suelo de 71 pts/m², y GSD TDOM de 3,06 cm/píxel. El estado POS fue FIXED en el 100 % de las observaciones. Estos productos constituyen el insumo técnico fundamental para el diseño de intervenciones SbN, análisis de estabilidad de ladera y modelación hidrológica en el polígono priorizado en los Cerros Orientales de Bogotá.

3.2.2 ALCANCE

El levantamiento abarcó el área del Polígono 3 correspondiente al Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque, priorizando la subcuenca de la Quebrada Chorrera y sus afluentes en el sector de los Cerros Orientales de Usaquén. La cobertura efectiva del vuelo LiDAR alcanzó 1,813 km² (181,3 ha), con densidad media de 159 pts/m² en la nube total y 71 pts/m² en la clasificación de suelo a escala 1:500, siendo este el polígono de mayor extensión y mayor densidad de puntos del proyecto.

Se generaron los siguientes productos:

- Red geodésica local con tres (3) puntos de control (GPS-1, GPS-2, GPS-3) vinculados a MAGNA-SIRGAS / CTM-12 época 2018.0, obtenidos mediante posicionamiento GNSS estático diferencial con bases BOGA y AEDO de la red SIRGAS-CON.
- Nube de puntos LiDAR clasificada (suelo, vegetación baja/media/alta, estructuras) en formato LAS, con procesamiento PPK local en DJI Terra v5.1.1.
- MDT y MDS/DSM a escala 1:500 generados en DJI Terra v5.1.1.
- Curvas de nivel con equidistancia de 0,50 m derivadas del MDT.
- Ortofotomosaico verdadero (TDOM) con GSD de 3,06 cm/píxel, cobertura 1,813 km², exportado en GeoTIFF.
- Plano topográfico planimétrico y altimétrico a escala de detalle en formatos DWG y SIG.

La revisión se realizó conforme a los criterios normativos NS-030, NS-046, NS-065, NS-012, NS-118 y NS-119 de la EAAB-ESP y el Decreto 555 de 2021 (POT Bogotá D.C.). La precisión altimétrica fue verificada mediante tres (3) puntos de control con diferencia de altitud media de -0,007 m.

Figura 3-1 Polígono 3 , área del levantamiento



Fuente: Elaboración propia

3.2.3 GEORREFERENCIACIÓN

El sistema de referencia empleado para la totalidad del levantamiento del Polígono 3 es MAGNA-SIRGAS Origen Bogotá / CTM-12, época 2018.0, conforme a la normativa vigente del IGAC. Todos los productos topográficos, cartográficos y geodésicos se expresan en dicho sistema, en coherencia con los Polígonos 1 y 2.

Los parámetros son los siguientes:

- Proyección: MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone (Gauss-Krüger, Origen Central Bogotá)
- Geoide: Geocol2004
- Datum vertical: Nivel medio del mar, referenciado al modelo geoidal oficial IGAC
- Época de referencia: 2018.0
- Sistema de coordenadas de salida DJI Terra: MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone | Default

3.2.4 RED GEODÉSICA

La red de control geodésico del Polígono 3 se diseñó con tres (3) puntos materializados (GPS-1, GPS-2 y GPS-3). La gran extensión del Polígono 3 requirieron un punto adicional (GPS-3) para garantizar redundancia geométrica y cobertura adecuada del área.

El posicionamiento de los puntos GPS-1 y GPS-2 se realizó el 25 de mayo de 2026, con observaciones simultáneas con las bases BOGA y AEDO de la red SIRGAS-CON. GPS-1 se posicionó con duración de 2 horas 16 minutos y GPS-2 con 3 horas 26 minutos, ambos con solución Fixed. El punto GPS-3 fue posicionado el 2 de junio de 2026 con duración de 2 horas con solución Fixed desde AEDO y BOGA. Las coordenadas finales fueron convertidas a época 2018.0 mediante el software magna_sirgas_pro 5.1.

3.2.5 MATERIALIZACIÓN

Los tres (3) puntos de control geodésico fueron establecidos con visibilidad satelital, estabilidad física y distribución espacial adecuada para cubrir el polígono. Fueron observados con receptores GNSS Hi-Target V200 de doble frecuencia en modo estático, alcanzando precisiones de orden geodésico conforme a los estándares del IGAC.

Durante las sesiones de observación se garantizó:

- Observación simultánea con las bases permanentes BOGA y AEDO de la red SIRGAS-CON.
- Duración de rastreo según la fórmula IGAC: T = 65 min + (3 min × (D-10)), superada en todos los casos.
- Solución Fixed en todos los vectores de ajuste (GPS-1↔BOGA, GPS-1↔AEDO, GPS-2↔BOGA, GPS-2↔AEDO, GPS-1↔GPS-2, GPS-3↔AEDO, GPS-3↔BOGA).
- Ajuste de red por plano + altura con nivel de confianza del 95 %, tipo Constraint.
- Conversión de coordenadas a época 2018.0 mediante magna_sirgas_pro 5.1.

Tabla 3-2 Coordenadas de los Puntos de Control Geodésico (MAGNA-SIRGAS / CTM-12, época 2018.0)

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA (msnm)
GPS-1	1007465.266	1008254.581	2975.154
GPS-2	1007519.317	1008264.322	2977.489
GPS-3	1007856.323	1009378.465	3111.260

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-3 Coordenadas Geocéntricas (Cartesianas) SIRGAS-CON – Bases de post-proceso

PUNTO	X	Y	Z
BOGA	1744517.109	-6116050.905	512581.221
AEDO	1738102.278	-6117369.804	518063.180

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2 Materialización de puntos de control geodésico – Polígono 3





Fuente: Elaboración propia

3.2.6 FECHA DE POSICIONAMIENTO

El posicionamiento GNSS de los puntos de control del Polígono 3 se realizó en dos jornadas de campo:

- 25 de mayo de 2026: posicionamiento de GPS-1 (2h 16min 35s, solución Float con AEDO, Fixed con BOGA) y GPS-2 (3h 26min 46s, solución Fixed con AEDO y BOGA). La sesión simultánea GPS-1↔GPS-2 tuvo duración de 2h 2min 22s con solución Fixed.
- 2 de junio de 2026: posicionamiento de GPS-3 (2h 0min 23s, solución Fixed con AEDO y BOGA).

Las sesiones se realizaron con un promedio superior a 12 satélites en observación simultánea y PDOP inferior a 2. Las coordenadas finales fueron post-procesadas con las bases BOGA y AEDO de la red SIRGAS-CON, mediante el software HiSurvey y convertidas a coordenadas Geocéntricas Cartesianas, con conversión posterior a Coordenadas Planas Cartesianas en CTM-12 y ajuste de época a 2018.0 mediante magna_sirgas_pro 5.1.

El cálculo POS del vuelo LiDAR se realizó en modo PPK local en DJI Terra v5.1.1, con estado FIXED en el 100 % de las observaciones, utilizando como base terrestre el punto GPS-1 durante la misión de vuelo del 24 de junio de 2026.

3.2.7 ESTACIÓN TOTAL Y RTK

La captura de información topográfica de detalle se realizó mediante tecnología GNSS en modo RTK (Real Time Kinematic) con equipos Hi-Target V200, apoyada en la red de control geodésico materializada (GPS-1, GPS-2 y GPS-3), garantizando la coherencia espacial de los datos con el sistema MAGNA-SIRGAS / CTM-12.

El levantamiento con estación total y RTK se orientó a la captura de elementos que, por su naturaleza, requieren verificación directa en campo o no son completamente capturables mediante el sensor LiDAR desde el aire, incluyendo:

- Infraestructura de drenaje superficial y subsuperficial (cunetas, cajas, alcantarillas, canales, obras de cruce sobre los cauces).
- Bordes de senderos, vías de acceso y caminos rurales presentes en el polígono.
- Geometría de taludes intervenidos y zonas de erosión activa en las márgenes de las quebradas.
- Obras civiles existentes: muros, estructuras de contención, captaciones, estructuras hidráulicas.

El levantamiento RTK se ejecutó con precisiones del orden centimétrico (±8 mm + 1 ppm en horizontal; ±15 mm + 1 ppm en vertical). La información fue verificada en campo e integrada con los datos LiDAR en el sistema de referencia geodésico unificado.

3.2.8 CAPTURA DE INFORMACIÓN LIDAR

3.2.8.1 Equipos

Para la adquisición de información LiDAR aerotransportada en el Polígono 3 se empleó:

- UAV DJI Matrice 350 RTK
- Sensor LiDAR DJI Zenmuse L2 (S/N: 6U3DN3100569K5)
- Receptores GNSS RTK multifrecuencia Hi-Target V200 (base terrestre)
- Controladora de vuelo DJI con software de planificación DJI Pilot 2

- Sistema IMU integrado al sensor LiDAR Zenmuse L2

El sensor Zenmuse L2 opera con frecuencia de pulso de 240 kHz, velocidad de escaneo de 1200 kHz y modo de escaneo lineal, con campo de visión de 70° × 3°. Su capacidad de penetración de cobertura vegetal es fundamental en el Polígono 3 , donde la densidad vegetal de los Cerros Orientales es significativamente mayor que en los polígonos del corredor CEMLS, requiriendo múltiples pasadas a distintas alturas para asegurar la llegada de pulsos al terreno bajo la cobertura.

Figura 3-3 Vista planificación del vuelo LiDAR – captura de pantalla DJI Pilot 2



Fuente: Elaboración propia

3.2.8.2 Adquisición de los Datos en UAS

La adquisición de datos LiDAR del Polígono 3 (misión: Poligono3-sbn) se ejecutó el 24 de

junio de 2026, con un tiempo total de recopilación de datos de 1 hora 20 minutos 22 segundos. La misión se desarrolló en seis (6) trayectorias complementarias planificadas en DJI Pilot 2, con alturas y velocidades diferenciadas según la morfología del terreno y la densidad de la cobertura vegetal en cada sector del polígono.

Para la georreferenciación de la nube de puntos, la antena GNSS RTK Hi-Target V200 fue ubicada en el punto GPS-1 de la red del proyecto durante toda la misión de vuelo, con coordenadas en MAGNA-SIRGAS / CTM-12 época 2018.0:

- N = 1008254.581, E = 1007465.266, Z = 2975.154

El procesamiento POS se realizó en modo PPK local (Post-Processed Kinematic) en DJI Terra v5.1.1, con estado FIXED en el 100 % de las observaciones. Para garantizar cobertura y calidad se implementaron las siguientes estrategias:

- Seis trayectorias a alturas diferenciadas (18 m a 247 m AGL) adaptadas a la morfología del terreno y la densidad de la cobertura vegetal.
- Configuración de pasadas longitudinales y transversales en patrón adaptado a las subcuencas.
- Tasa de solapamiento promedio de 28,14 %, con una curvatura de ruta de 53,02° que refleja la complejidad topográfica del polígono.
- Monitoreo en tiempo real de parámetros GNSS e IMU durante toda la misión de vuelo.

Figura 3-4 Preparación e inicio del vuelo LiDAR – Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

3.2.8.3 Procesamiento de Datos LiDAR

El procesamiento de la información se realizó con el software DJI Terra v5.1.1, integrando los datos LiDAR, GNSS y de control terrestre, con un tiempo total de procesamiento de 2 horas 33 minutos 14 segundos. Las etapas principales del procesamiento incluyeron:

- Cálculo POS en modo PPK local y ajuste de trayectoria GNSS/IMU.
- Optimización de la nube de puntos (1h 29min 28s): optimización de precisión (12 min 44 s) y colorización RGB (10 min 8 s).
- Clasificación automática de puntos: suelo (pendiente suave, diagonal máx. edificio 20 m, ángulo de iteración 6°, distancia 0,5 m), vegetación baja/media/alta y estructuras (17 min 13 s).
- Generación del DEM a escala 1:500 en GeoTIFF (3 min 39 s).
- Generación del mapa 2D / TDOM en resolución alta en GeoTIFF (42 min 54 s).
- Validación de precisión mediante cuatro (4) puntos de control geodésico (GCP, GPS-1, GPS-2, GPS-3).

Se realizó control de calidad completo verificando consistencia geométrica y continuidad espacial. Se registró una advertencia del software indicando la remoción de algunas nubes de puntos por posiciones u orientaciones incorrectas, situación identificada como consecuencia de las condiciones de vuelo en zonas de cobertura vegetal densa y fue abordada mediante la revisión manual de la clasificación en las zonas afectadas.

3.2.9 RESULTADOS

Los resultados obtenidos tras la ejecución del levantamiento y el procesamiento PPK cumplen con los parámetros de calidad establecidos para el proyecto, garantizando la precisión y confiabilidad de los productos generados para el Polígono 3 , que es el de mayor extensión, complejidad topográfica y riqueza de información LiDAR del proyecto.

3.2.9.1 Nube de puntos densa

La nube de puntos densa generada en DJI Terra v5.1.1 alcanzó una densidad media de 159 pts/m² en escala 1:500 (densidad de suelo: 71 pts/m²), organizada en 33 bloques LiDAR.

Los errores de trayectoria del IMU mostraron valores reducidos: RMSE de posición de 0,00008 m en los ejes X y Y y 0,0001 m en Z; RMSE de rotación entre 0,0000021 rad y 0,0000322 rad (roll, pitch y yaw), evidenciando una reconstrucción espacial precisa a pesar de la complejidad de la misión de seis trayectorias. La tasa de solapamiento promedio fue de 28,14 %, con tolerancia de altitud de 287,51 m —reflejo del amplio rango altitudinal cubierto—, consistencia de velocidad de 0,29 % y curvatura de ruta de 53,02°, esta última característica de las trayectorias adaptadas a la morfología de los Cerros Orientales.

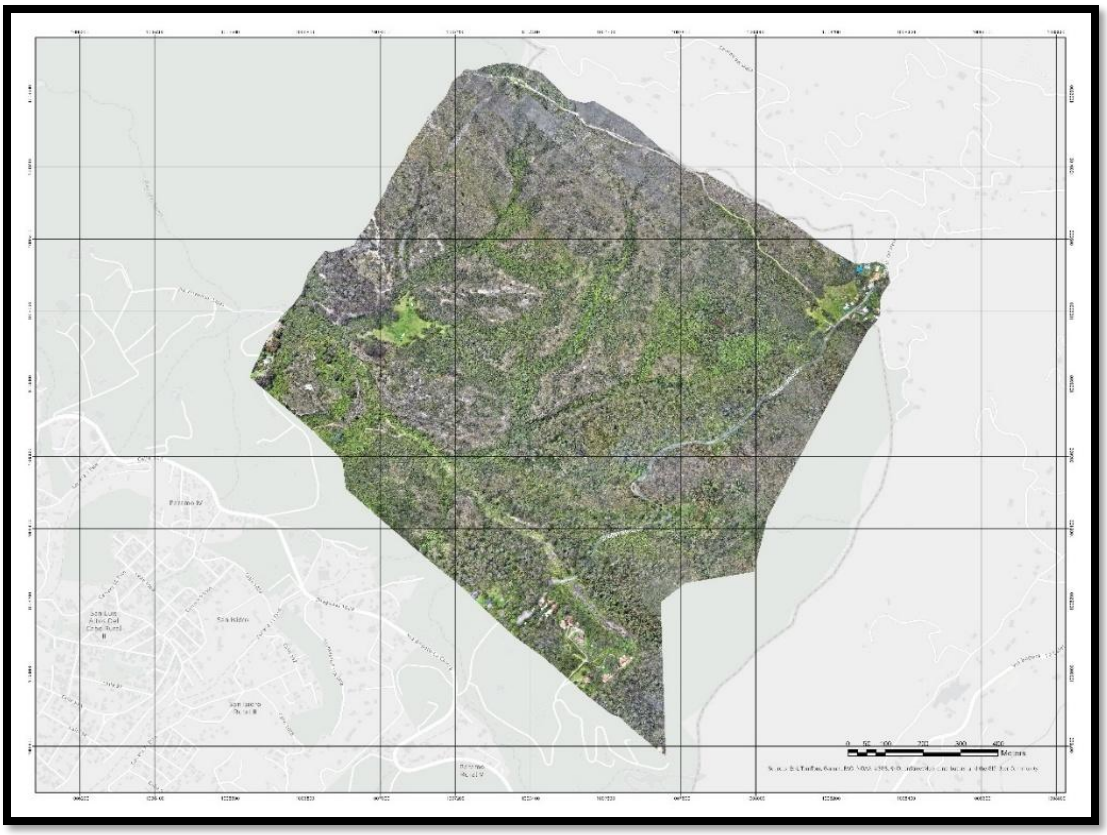
3.2.9.2 Ortofotografía (TDOM)

El ortofotomosaico verdadero (TDOM) se elaboró a partir de las imágenes RGB capturadas por la cámara integrada del sensor DJI Zenmuse L2 durante los seis vuelos sobre el Polígono 3 . La distancia de muestreo del suelo (GSD) alcanzada fue de 3,06 cm/píxel, con una cobertura de mapeo de 1,813 km², permitiendo una visualización detallada de las coberturas superficiales, cauces, senderos, taludes y elementos de drenaje del área de estudio en los Cerros Orientales.

El TDOM fue procesado en DJI Terra v5.1.1 con resolución en modo High y exportado en

formato GeoTIFF georreferenciado al sistema MAGNA-SIRGAS / CTM-12. El rango altitudinal del MDT generado va de 2802 msnm a 3238 msnm, con el rango térmico del DEM entre 2802 m y 3146 m en la escala de colores del producto.

Figura 3-5 Ortofotografía (TDOM) – Polígono 3



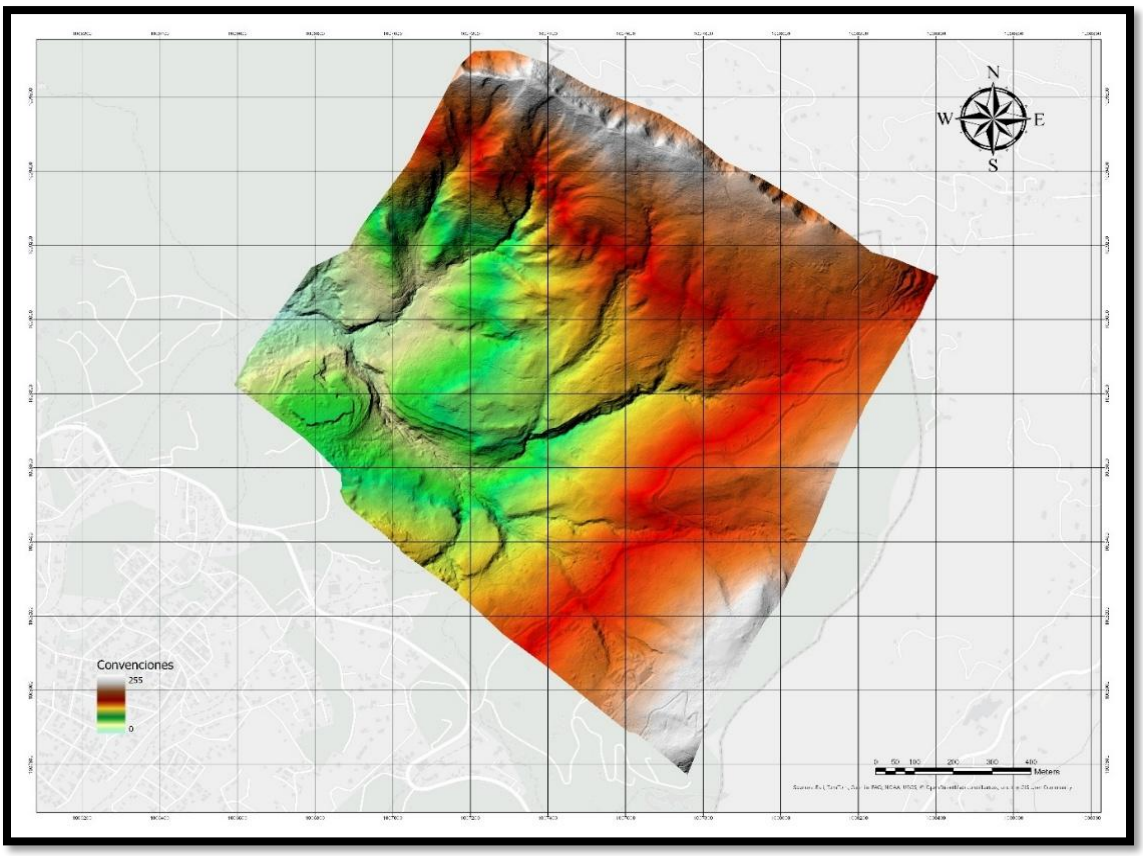
Fuente: Elaboración propia

3.2.9.3 Modelo Digital del Terreno (MDT/DEM) y Modelo Digital de Superficie (MDS)

A partir de la nube de puntos clasificada en suelo/terreno se generó el Modelo Digital del Terreno (MDT/DEM) a escala 1:500 en DJI Terra v5.1.1, representando la morfología del terreno natural de los Cerros Orientales con rango altitudinal de 2802 a 3238 msnm, excluyendo vegetación y estructuras antrópicas. Este es el producto de mayor extensión espacial del proyecto, cubriendo 1,813 km² de terreno en los Cerros Orientales de Usaquén. El Modelo Digital de Superficie (MDS/DSM) fue generado a partir de la nube de puntos completa, con densidad promedio de 159 pts/m², permitiendo representar en detalle las coberturas superficiales, la estructura de la vegetación arbórea característica de los Cerros

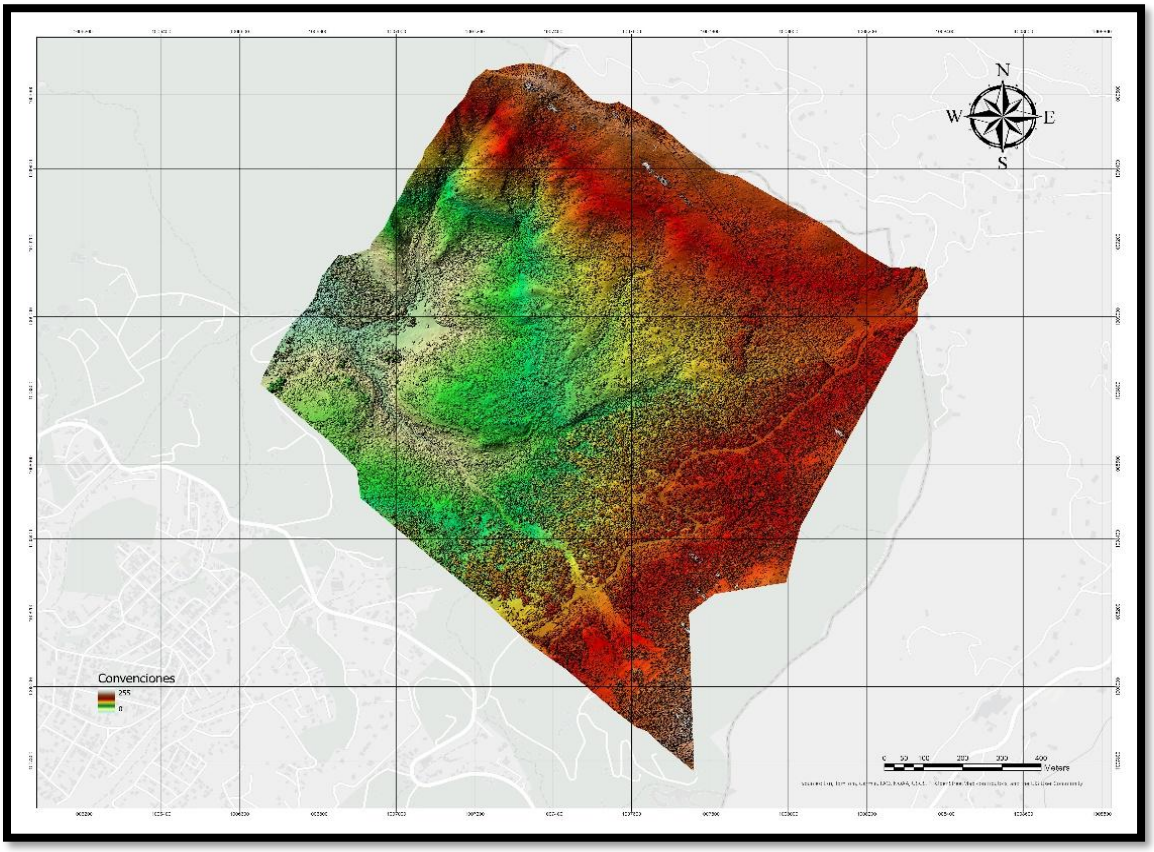
Orientales y los elementos antrópicos presentes en el polígono.

Figura 3-6 Modelo Digital del Terreno (MDT/DEM) – Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-7 Modelo Digital de Superficie (MDS/DSM) – Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

3.2.9.4 Planimetría

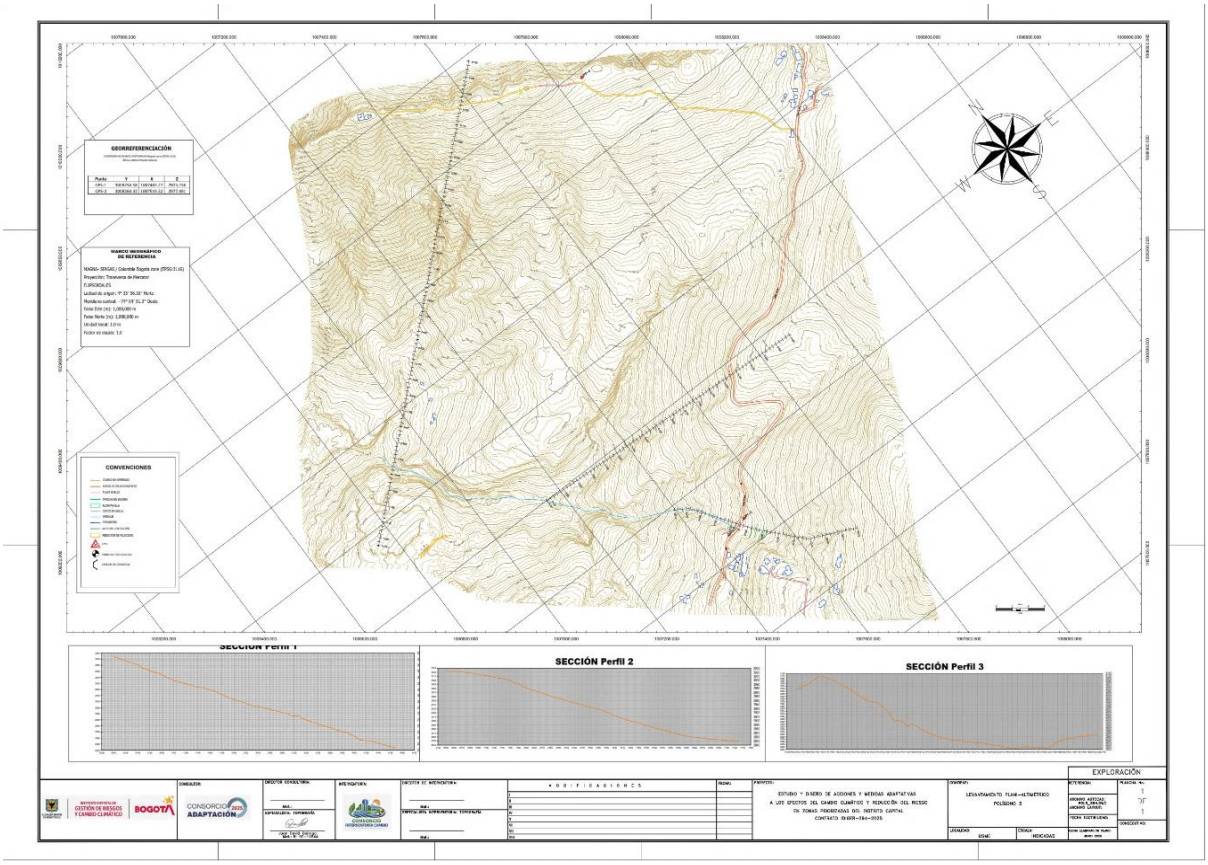
El levantamiento topográfico del Polígono 3 se fundamentó en la integración de la captura LiDAR aerotransportada y los datos planimétricos y altimétricos adquiridos con estación total y GNSS RTK Hi-Target V200. La metodología aplicada permitió que cada técnica aportara su componente específico:

- El LiDAR proporcionó la nube de puntos densa y continua sobre el terreno, la vegetación de los Cerros Orientales y las coberturas, garantizando cobertura total de 1,813 km² incluyendo zonas de difícil acceso en los cauces de las tres quebradas.
- El levantamiento RTK aseguró la captura de detalle de infraestructura hidráulica, cruces sobre cauces, secciones transversales de los cauces y elementos de control geométrico, complementando y validando los datos LiDAR en zonas críticas.

La cartografía digital resultante a escala de detalle en entornos CAD y SIG contiene:

- Superficie con curvas de nivel cada 0,50 m derivadas del MDT, adecuadas para análisis geomorfológico y modelación hidrológica de las subcuencas.
- Zonas de erosión activa, taludes comprometidos y áreas de susceptibilidad a remoción en masa.
- Senderos, vías rurales y caminos de acceso presentes en el polígono.
- Redes de drenaje superficial y estructuras hidráulicas existentes.
- Elementos naturales relevantes para el diseño SbN: individuos arbóreos singulares, afloramientos, nacimientos.
- Límite del polígono de estudio y zonificación interna por subcuencas.

Figura 3-8 Plano topográfico planimétrico y altimétrico del área de estudio – Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

3.2.10 CONTROL DE CALIDAD Y VERIFICACIÓN DE PRECISIÓN

La verificación de la precisión altimétrica del MDT se realizó mediante la comparación con cuatro (4) puntos de control geodésico. De estos, tres (GCP, GPS-1 y GPS-2) obtuvieron valores de reconstrucción en el MDT, mientras que GPS-3, ubicado en el extremo superior del polígono a 3111,260 msnm, no registró valor de reconstrucción por estar en el borde de cobertura del vuelo. Los resultados de los tres puntos verificados muestran diferencias de altitud entre -0,007 m y +0,008 m, con una diferencia media de -0,007 m.

Figura 3-9 Verificación de precisión – Puntos de control altimétrico – Polígono 3

ID	NORTE (Y)	ESTE (X)	COTA REF. (m)	COTA REC. (m)	DIF. (m)	RMSE (m)
GCP	1008264.852	1007469.543	2975.170	2975.177	+0.008	0.128
GPS-1	1008254.581	1007465.267	2975.160	2975.149	-0.007	0.042
GPS-2	1008264.322	1007519.319	2977.490	2977.491	+0.000	0.070
GPS-3	1009378.581	1007864.251	3111.260	—	—	—

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos evidencian una precisión altimétrica sobresaliente en los tres puntos verificados, con diferencias mínimas respecto a los valores de referencia. El RMSE más alto corresponde al punto GCP (0,128 m), que presenta también la mayor desviación estándar de reconstrucción (0,129 m), indicando mayor variabilidad en ese sector del modelo; los puntos GPS-1 (RMSE 0,042 m) y GPS-2 (RMSE 0,070 m) muestran valores de precisión altimétrica excelentes.

Figura 3-10 Resumen de parámetros de calidad del levantamiento LiDAR – Polígono 3

PARÁMETRO	VALOR
Estado POS (FIXED)	100 %
Modo de procesamiento	PPK local
Número de franjas de vuelo	6
Tasa de solapamiento promedio	28.14 %
Tolerancia de altitud	287.51 m
Consistencia de velocidad	0.29 %

PARÁMETRO	VALOR
Curvatura de ruta de vuelo	53.02°
Densidad nube total (1:500)	159 pts/m²
Densidad suelo (1:500)	71 pts/m²
GSD TDOM	3.06 cm/píxel
Cobertura de mapeo TDOM	1.813 km²
Resolución DEM	Escala 1:500
N.º puntos de control verificados	3 (de 4 materializados)
Diferencia de altitud media	-0.007 m
Bloques de nube de puntos LiDAR	33
Formato de salida nube	PNTS / LAS
Sistema de coordenadas salida	MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone

Fuente: Elaboración propia

3.2.11 CONCLUSIONES

El levantamiento topográfico del Polígono 3 (CECVN – Quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara) constituye el producto de mayor envergadura del proyecto, tanto por su extensión (1,813 km²) como por la complejidad de la estrategia metodológica empleada. La combinación de seis trayectorias de vuelo a alturas diferenciadas (18 m a 247 m AGL), procesamiento PPK local en DJI Terra v5.1.1 con estado FIXED en el 100 % de las observaciones, y posicionamiento GNSS estático de tres puntos de control, permitió obtener la nube de puntos más densa del proyecto (159 pts/m²) y una representación detallada y confiable de la morfología compleja de los Cerros Orientales.

La continuidad metodológica y geodésica con los Polígonos 1 y 2 —mismo sistema de referencia MAGNA-SIRGAS / CTM-12 época 2018.0, mismo sensor Zenmuse L2, mismos estándares normativos— permite integrar los tres levantamientos en un único entorno cartográfico coherente para el diseño de las intervenciones SbN en el proyecto CEMLS-CECVN. La precisión altimétrica verificada en los tres puntos con información de reconstrucción disponible muestra diferencias en el rango de -0,007 m a +0,008 m, confirmando la calidad del levantamiento.

En términos de aplicabilidad, la información obtenida fortalece la capacidad de:

- Diseñar Soluciones Basadas en la Naturaleza (restauración de rondas hídricas de tres quebradas, bioingeniería de suelos, recuperación de cobertura vegetal) con soporte técnico de alta resolución.
- Desarrollar modelos hidrológicos e hidráulicos para las subcuencas de las Quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara, con curvas de nivel cada 0,50 m y secciones transversales de los cauces.
- Delimitar con precisión las rondas hídricas y las zonas de amenaza en los Cerros Orientales.
- Identificar áreas prioritarias de intervención para la conservación ecológica del Conector Cerro Virrey Neuque.
- Cumplir con los estándares normativos EAAB e IDU, asegurando reproducibilidad y auditabilidad de los productos.

3.2.12 REFERENCIAS NORMATIVAS

- Decreto 555 de 2021 (diciembre 29). Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB-ESP. (2020). Norma Técnica NS-030 V.5.3. Lineamientos para trabajos topográficos. Bogotá D.C.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB-ESP. (2020). Norma Técnica NS-046 V.6.1. Requisitos para la elaboración y entrega de planos de obra construida. Bogotá D.C.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (2020). Resolución 529 de 2020. Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (2021). Origen CTM-12. Sistema de proyección cartográfica único para Colombia.
- IDU. Normas técnicas NS-012, NS-065, NS-118 y NS-119 para trabajos topográficos y cartografía de detalle.
- DJI Enterprise. (2024). DJI Zenmuse L2 – Specifications.

https://enterprise.dji.com/zenmuse-l2/specs

3.2.13 SIGLAS Y ACRÓNIMOS

BM – Bench Mark (punto de referencia altimétrico)

CAD – Computer Aided Design (diseño asistido por computador)

CECVN – Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque

CEMLS – Conector Ecosistémico Media Luna del Sur

CTM-12 – Colombia Transversal de Mercator 12

DEM/MDT – Digital Elevation Model / Modelo Digital del Terreno

DJI – Da-Jiang Innovations

DSM/MDS – Digital Surface Model / Modelo Digital de Superficie

EAAB – Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

GCP – Ground Control Point (punto de control en tierra)

GIS/SIG – Geographic Information System / Sistema de Información Geográfica

GNSS – Global Navigation Satellite System

GSD – Ground Sampling Distance (distancia de muestreo del suelo)

IDIGER – Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático

IGAC – Instituto Geográfico Agustín Codazzi

IMU – Inertial Measurement Unit (unidad de medición inercial)

LiDAR – Light Detection and Ranging

MAGNA-SIRGAS – Marco Geocéntrico Nacional de Referencia

msnm – Metros sobre el nivel del mar

POT – Plan de Ordenamiento Territorial

PPK – Post-Processed Kinematic

RMSE – Root Mean Square Error

RTK – Real Time Kinematic

SbN – Soluciones Basadas en la Naturaleza

TDOM – True Digital Orthophoto Mosaic

UAS – Unmanned Aerial System

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

UPL – Unidad de Planificación Local

3.2.14 ANEXOS

1. Plano general (DWG)
2. Modelo Digital del Terreno (DEM)
3. Ortografía
4. Curvas de nivel (SHP)
5. Modelo Digital de superficie (DSM)
6. Nube de puntos (.las)
7. Fotografías
8. Reportes

3.3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

3.3.1 RECOPILACIÓN INFORMACIÓN SECUNDARIA

La caracterización geológica, geomorfológica y morfodinámica del área de estudio se fundamenta en la recopilación y análisis de información secundaria obtenida a partir de registros históricos y fuentes oficiales, tales como el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER), el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático (SIRE) y el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA). Se revisaron estudios, informes técnicos, cartografía, fotografías aéreas e imágenes satelitales disponibles, con énfasis en los estudios y diseños realizados previamente por el IDIGER.

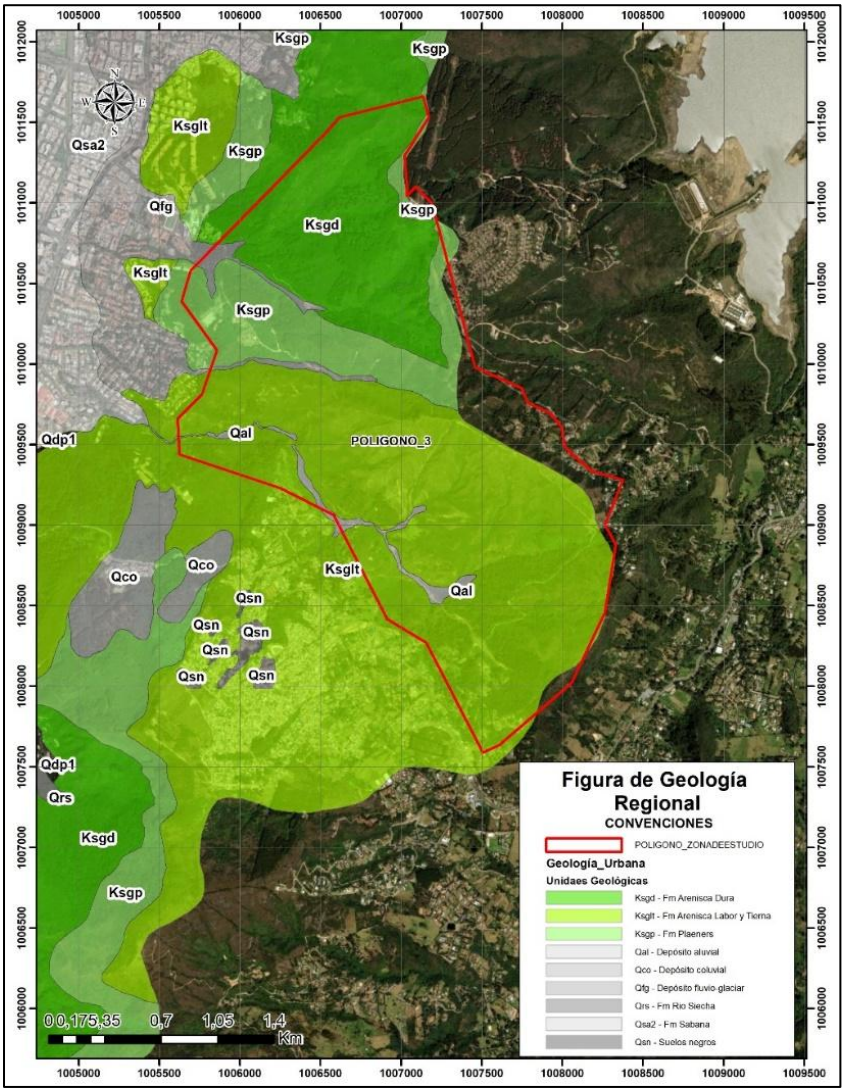
El área de estudio abarca las subcuencas de las quebradas la Chorrera, Santa Ana y Santa bárbara se encuentra al noreste de Bogotá D.C, sobre los cerros orientales en el conector ecosistémico cerro virrey Nuque, esta zona está conformada por una morfología montañosa, con laderas largas de pendientes fuertes a abruptas.

Estructuralmente se encuentra al este de la falla de Bogotá, falla de Usaquén, falla de los Patios, falla de Carretero y sobre el anticlinal de Bogotá.

3.3.1.1 Geología Regional

La secuencia litológica correspondiente a la zona de estudio desde la unidad más reciente a la más antigua: Depósito aluvial (Qal), Formación Labor y Tierna (Ksglt), Formación Plaeners (Ksgp), Formación Arenisca Dura (Ksgd), estas unidades se describen a continuación.

Figura 3-11 Geología regional Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

Depósito aluvial (Qal):

Suelos no litificados constituidos por sedimentos de tamaños arenosos y gravas heterogéneos depositados en los cauces de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Barbara.

Formación Labor y Tierna (Ksglt):

Esta unidad aflora en el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá y flanco oriental del

anticlinal de Cheba. Consta de tres conjuntos: a) uno inferior conformado por areniscas cuarzosas de color gris claro, de grano fino a medio, ligeramente friable y de espesor entre 135 a 165 m; b) conjunto intermedio donde predominan arcillolitas silíceas, con un espesor de 10 a 15 m y c) el conjunto superior constituido por areniscas cuarzosas y feldespáticas, gris claras, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, en estratos de 0.2 a 3 m y de espesor variable entre 90 y 110 m. (Ingeominas, 1997)

Formación Plaeners (Ksgp):

Aflora en los flancos de Bogotá y Cheba. Consta de tres conjuntos litológicos: a) uno inferior donde predominan arcillolitas silíceas con un espesor de unos 40 m; b) otro intermedio donde alternan arcillolitas silíceas y areniscas de grano fino, con un espesor entre 70 y 117 m y c) el superior donde predominan las arcillolitas silíceas con un espesor de aproximadamente 50 m. (Ingeominas, 1997).

Formación Arenisca Dura (Ksgd):

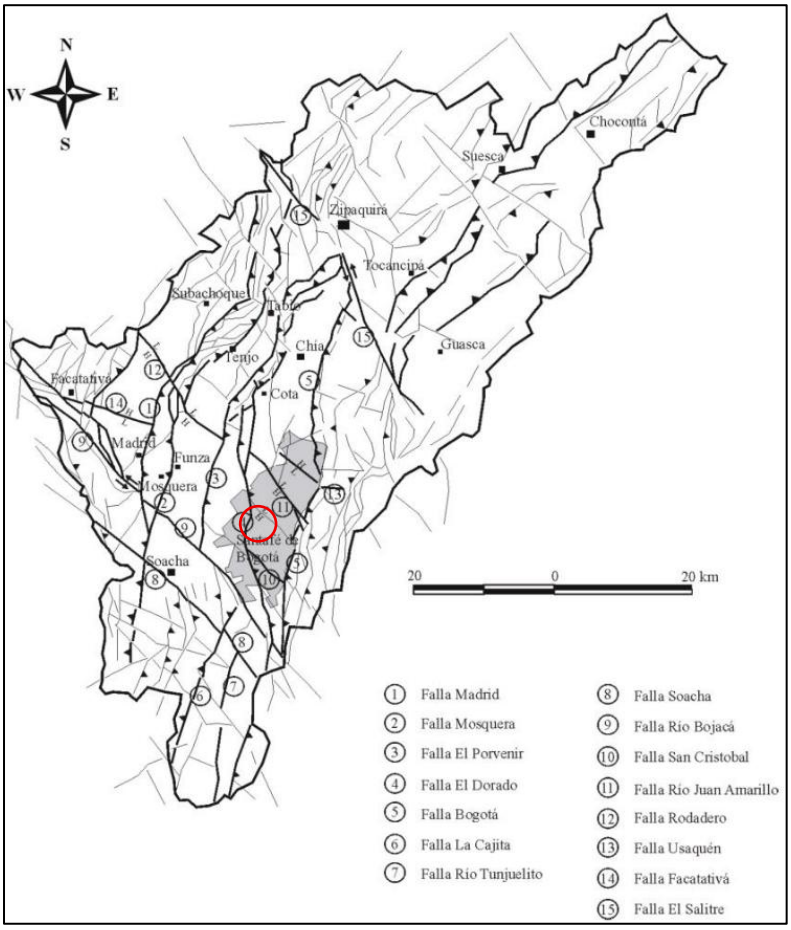
Aflora en los ejes y flancos de los anticlinales de Bogotá y Cheba y conforma los cerros más prominentes del área, tales como Guadalupe, Monserrante, Ato el Cable, La cruz, La Viga y Cheba. Está constituida por areniscas cuarzosas, duras, de grano fino y color gris claro, bien cementadas, con intercalaciones esporádicas de capas de arcillolitas silíceas. Su espesor de acuerdo con columnas estratigráficas levantadas varía entre 308 y 460 m.

3.3.1.2 Geología estructural general

La Sabana de Bogotá es reconocida como una cuenca intramontaña, de origen tectono-sedimentario (Velandia 2010). Esta cuenca está constituida por una espesa secuencia de unidades litológicas sedimentarias consolidadas y no consolidadas, de edades desde el Cretácico Superior hasta la actualidad.

Estructuralmente se presentan fallas longitudinales, caracterizadas como de tipo inversa, en su mayoría de cabalgamiento, con rumbos predominantes SW-NE. Estas estructuras dan origen a depresiones topográficas y cerros, extendidos longitudinalmente en la sabana con un sentido preferencial NE-N. La siguiente figura muestra las fallas de mayor extensión presentes en la sabana de Bogotá.

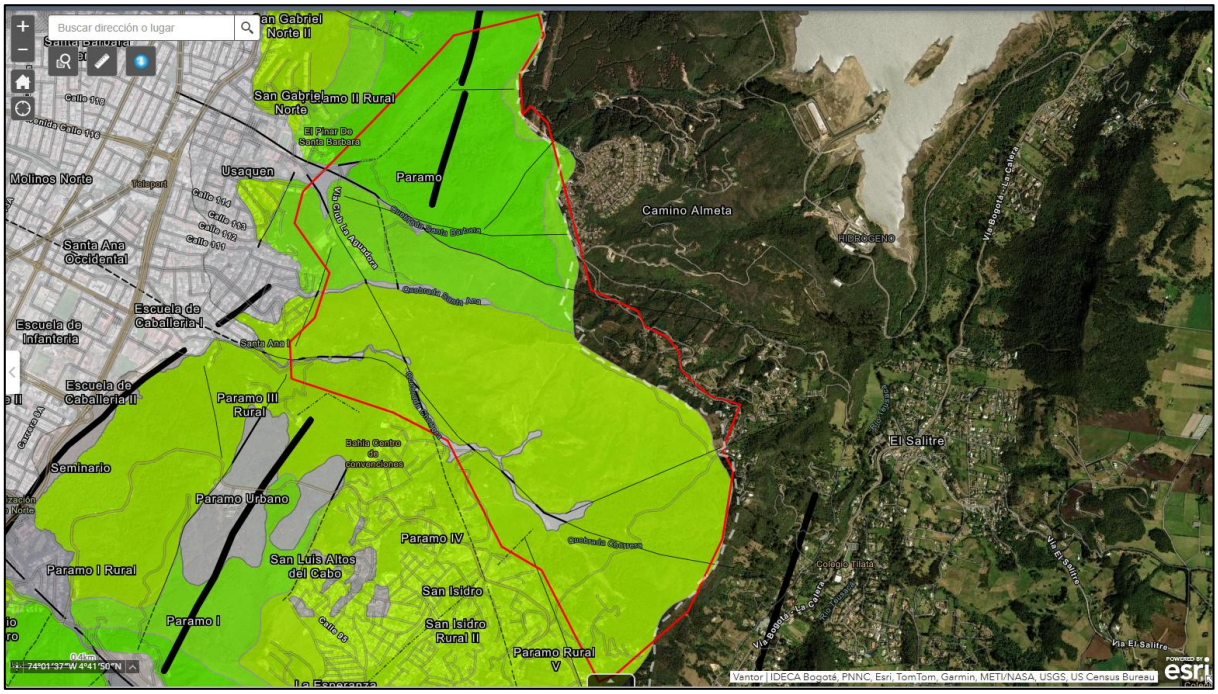
Figura 3-12 Mapa estructural de la Sabana de Bogotá



Fuente: VELANDIA Y BERMOUDES, 2002

Como se puede observar en la Figura 3-13 el área de estudio está condicionado estructuralmente por lineamientos de dirección NW – SW como lo es la Falla Juan Amarillo y otras fallas, también se identifica al oeste la Falla de Bogotá (línea gruesa) y en la zona centro norte el anticlinal de Bogotá (Línea gruesa).

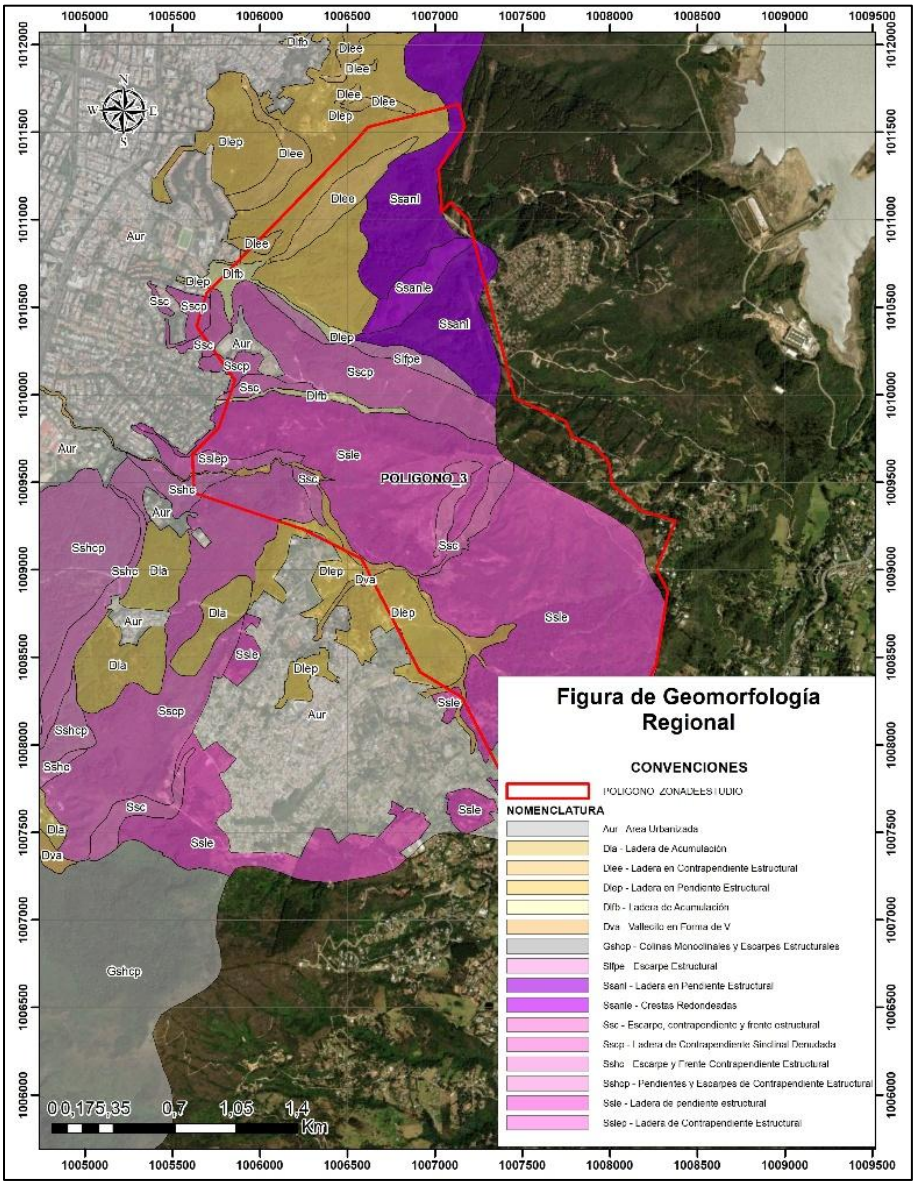
Figura 3-13 Geología estructural del área de estudio



Fuente: Tomado del visor de mapas del IDIGER

3.3.1.3 Geomorfología regional

Figura 3-14 Geomorfología regional Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

Area urbanizada (Aur):

Corresponde a áreas que actualmente están consolidadas y presentan una importante cantidad de construcciones a nivel de viviendas, obras lineales (vías pavimentadas, Documento Técnico de Soporte de líneas eléctricas, acueducto y/o alcantarillado, entre

otras).

Ladera en contrapendiente estructural (Dlee):

Superficies de morfología alomada con la inclinación de los estratos en contra de la pendiente del terreno, presenta longitudes cortas a largas, de forma de forma cóncava y con pendientes abruptas. El origen está asociado con procesos erosivos y de disección intensa en rocas blandas con desarrollo de suelos residuales y coluviales gruesos.

Ladera en pendiente estructural denudada (Dlep):

Elemento geomorfológico que presenta una morfología alomada y estructuralmente la inclinación de los estratos está en favor de la pendiente del terreno, son de longitud corta a larga, de forma cóncava y con pendientes abruptas.

Ladera de acumulación fluvio torrencial (Dlfb):

Lóbulos y abanicos de morfología alomada de longitudes muy largas a extremadamente largas, de formas convexas abruptas a muy abruptas. Se constituyen de 20 - 40 m de bloques rocosos angulares a subredondeados de tamaño métricos flotantes en matriz arenosa con gravas y arcillas. Su origen se asocia a avalanchas torrenciales inducidas posiblemente por eventos sísmicos o cambios climáticos asociados a lluvias torrencial.

Vallecito en forma de V en ladera estructural denudada (Dva):

Superficie plana suavemente inclinada (2° - 3°) en el lecho y empinadas hacia las márgenes.

Escarpe estructural de línea de falla (Slfpe):

Escarpe irregular y de alta pendiente originado a lo largo de una línea de falla originada por el truncamiento topográfico

Ladera en pendiente estructural de sierra anticlinal (Ssnal):

Corresponde a laderas con estratos inclinados en favor de la pendiente. Se caracterizan por presentar un patrón del drenaje por lo general paralelo y de baja densidad. Localmente los estratos se presentan con inclinaciones menores de la pendiente natural del terreno.

Crestas redondeadas de ladera estructural anticlinal denudada y residual (Ssanle):

Corresponde a laderas con estratos inclinados en favor de la pendiente que presentan localmente un relieve redondeado. Localmente los estratos se presentan con inclinaciones menores de la pendiente natural del terreno.

Escarpe, contrapendiente y frente estructural sinclinal denudada (Ssc):

Laderas en forma de escarpes, frentes y contrapendiente estructurales definidas por estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, de longitudes cortas a moderadamente largas, de formas convexas a irregulares escalonadas con pendientes abruptas a escarpadas.

Laderas de pendiente estructural sinclinal denudada (Sscp):

Laderas en forma de planos inclinados definidas por estratos inclinados en favor de la pendiente del terreno, de longitudes cortas a moderadamente largas, de formas planas y convexas.

Laderas en pendiente y contrapendiente estructural sinclinal residual (Sslep/Ssle):

Laderas definidas por estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, de longitudes cortas a moderadamente largas, de formas convexas a irregulares escalonadas con pendientes abruptas a escarpadas. Intercalaciones de rocas blandas a intermedias que definen un drenaje subparalelo denso. (IDIGER, 2016).

3.3.1.4 Inventario histórico de movimientos en masa y otros eventos

SIRE

De acuerdo con el SIRE (Sistema de información para gestión de riesgo y cambio climático) se presentan la siguiente figura. En donde únicamente se evidencian dos polígonos definidos como sitios críticos por movimientos en masa, sin embargo, no se identifican sitios por inundación o avenidas torrenciales.

Figura 3-15 Sitios críticos por Movimientos en Masa

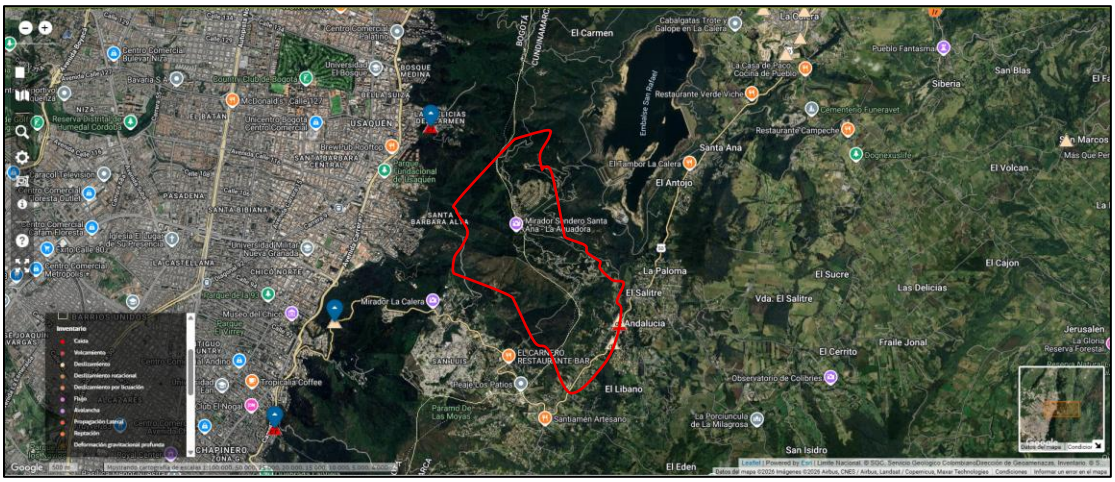


Tomado del visor de mapas del IDIGER

SIMMA

Teniendo en cuenta el visor del SIMMA (Sistemas de información de movimientos en masa) del SGC, no hay reportes de eventos de remoción en masa ni avenidas torrenciales dentro del polígono de estudio.

Figura 3-16 Reporte de eventos de mm y avenidas torrenciales SIMMA



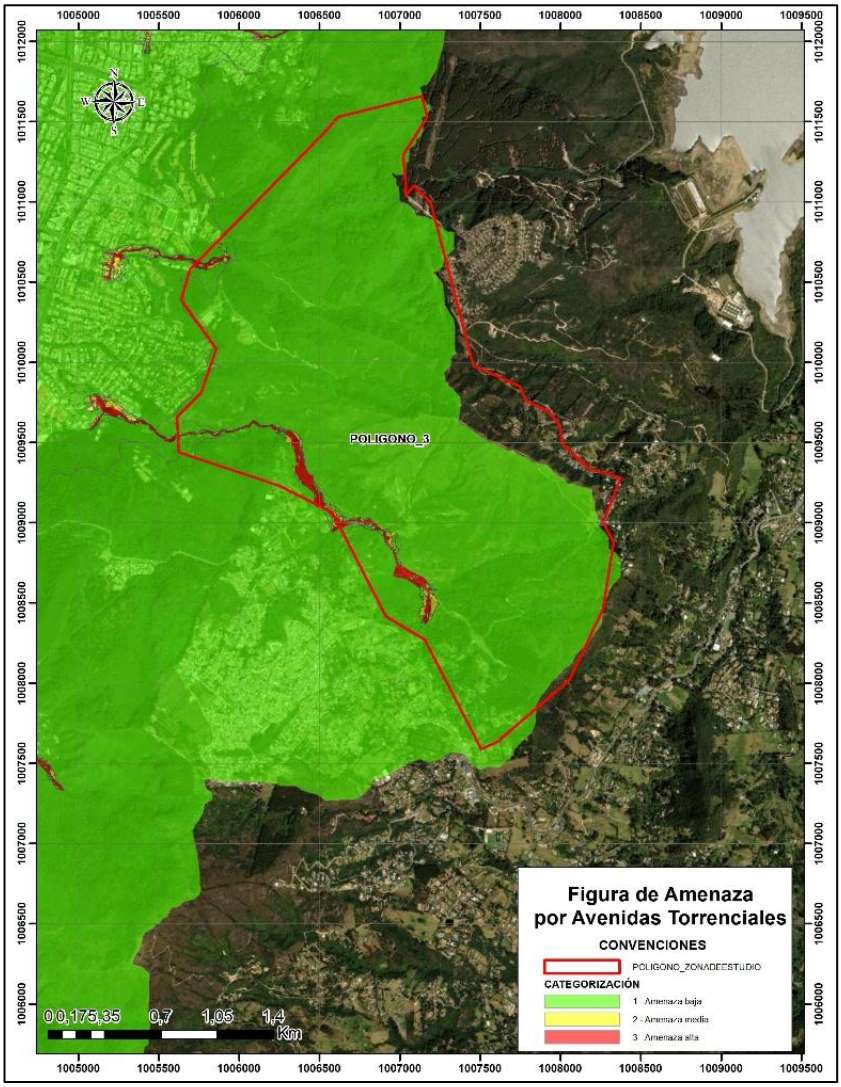
Fuente: SIMMA

3.3.1.5 Zonificación de Amenaza por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundación

Con información recopilada del POT de Bogotá, mediante la página de “datos abiertos”, se realizaron las figuras Figura 3-17 y Figura 3-18, donde se muestran las zonas de amenaza por avenidas torrenciales y movimientos en masa.

En la Figura 3-17 se identifican valores de amenaza 3, clasificada como alta para avenidas torrenciales sobre el cauce de la quebrada La Chorrera y parte de la quebrada Santa Barbara.

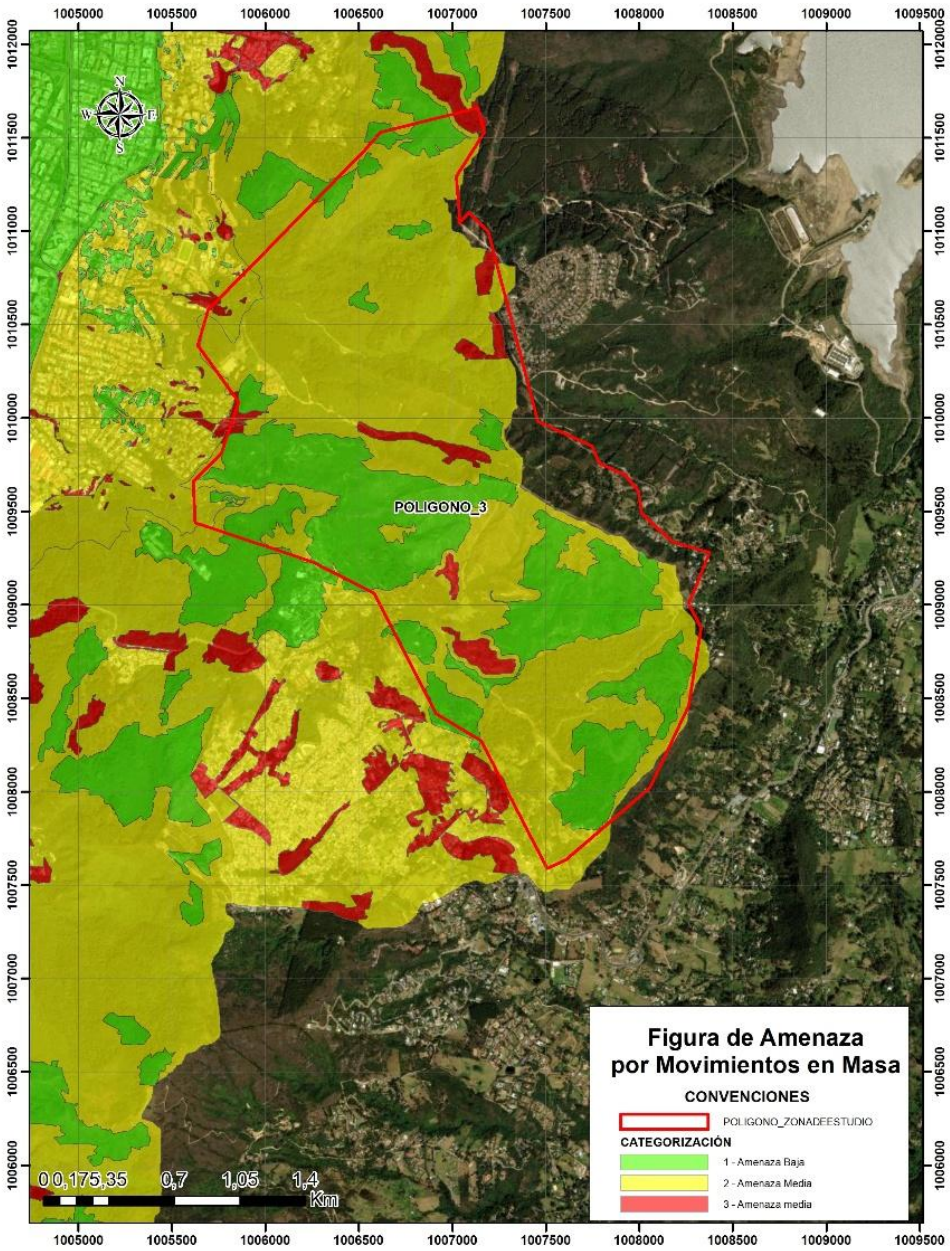
Figura 3-17 Figura de amenaza por avenidas torrenciales Polígono 3



Fuente: POT Bogotá

En la Figura 3-18 se muestra que el mayor porcentaje del área de estudio está en amenaza media a movimientos en masa, mientas que las zonas altas de amenaza alta se encuentran en zonas más pequeñas posiblemente asociadas a altas pendientes.

Figura 3-18 Figura de amenaza por movimientos en masa Polígono 3



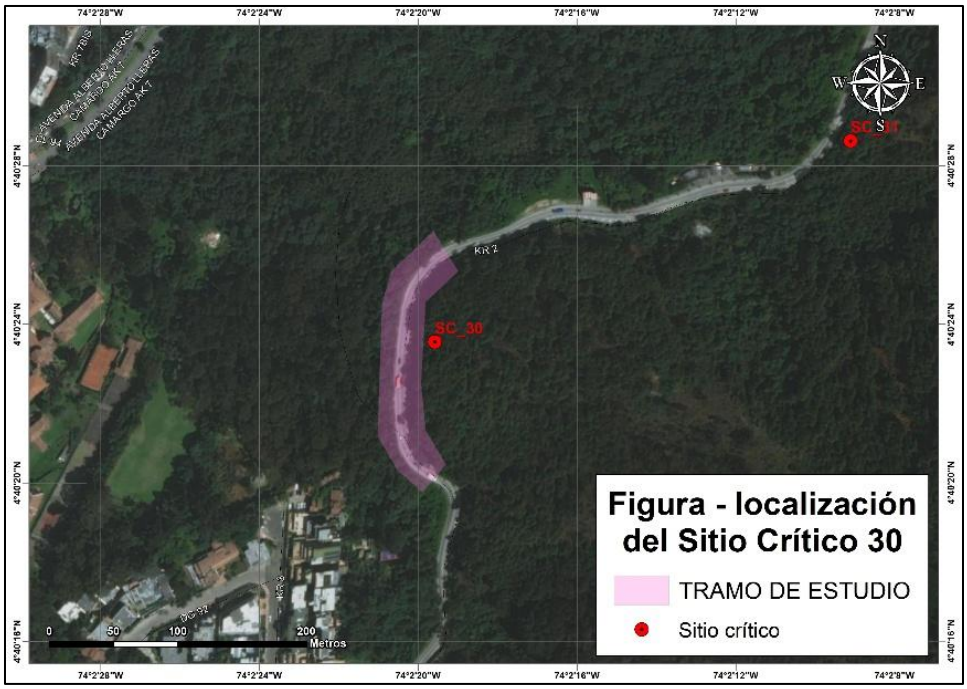
Fuente: POT Bogotá

3.3.1.6 Estudios previos

En estudios previos se dispone de información obtenida a partir de proyectos realizados anteriormente por JAM ingeniería y medio ambiente, para “REALIZAR EL DIAGNÓSTICO Y/O LA ACTUALIZACIÓN Y/O LA COMPLEMENTACIÓN Y/O LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS Y EJECUTAR A MONTO AGOTABLE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, D.C. – Grupo A.”

3.3.1.6.1 CTO IDU-No 1773 de 2023

Figura 3-19 Localización sitio de estudio



Fuente: JAM, 2024.

3.3.1.6.1.1 Sitio crítico 30

El sitio de interés se encuentra sobre los Cerros Orientales de la ciudad de Bogotá, en la localidad de Chapinero, en la vía que se dirige hacia el municipio de la Calera, aproximadamente 300.00 m antes del sector denominado la Paloma.

Unidades geológicas para ingeniería (UGI):

En este apartado se describen las unidades de geología para ingeniería a escala de detalle, donde se presentan las unidades teniendo en cuenta la clasificación propuesta por el

servicio geológico colombiano para UGI

Roca intermedia areniscas de la Formación Labor-Tierna (Ri-alt):

Corresponde a la unidad de roca con mayor presencia a lo largo del tramo vial. Se compone de capas de areniscas cuarzosa de color blando a amarillento, con GS 65, y un valor medio de rebote de martillo Schmidt de 42, y resistencia a compresión simple de acuerdo con correlación de esclerómetro de 40 MPa.

Roca intermedia limolitas a areniscas de la Formación Labor-Tierna (Ri-lt):

Corresponde a niveles de roca altamente fracturadas donde se intercalan en capas delgadas niveles de arenisca fina a porcelanitas y limolitas. Estos niveles presentan un GSI malo cercano a 45 debido al alto fracturamiento.

Saprolito de unidad Labor-Tierna:

Corresponde a un nivel meteorizado de la Formación Labor-Tierna que da lugar a un material compuesto de fragmentos angulares de arenisca en una matriz areno limosa sin cohesión color café, de baja plasticidad, y humedad media.

Relleno antrópico:

Corresponde a material de rellenos ingenieriles para la estructura vial, como bases y subbases.

Diagnostico Geotécnico:

El SC30 comprende un tramo de aproximadamente 190 m de la vía Bogotá–La Calera, en los Cerros Orientales de la localidad de Chapinero, ubicado 300 m antes del sector La Paloma. El tramo incluye el talud superior (en roca), los dos carriles de la calzada y el talud inferior de la banca vial. Las pendientes varían desde suave en la calzada hasta muy escarpadas (mayores a 45°) en los taludes superior e inferior.

Exploración Geotécnica:

En el Contrato 1490-2018 (GEOCING, 2018) se realizaron un (1) apique y cinco (5) perforaciones mecánicas con equipo de rotopercusión (SM-01 a SM-05), con profundidades entre 15.00 y 18.50 m, además de una línea de sísmica de refracción (LRS1) de 115 m.

En el Contrato IDU 1773 de 2023 se realizaron dos (2) perforaciones mecánicas con equipo de rotopercusión (S1-2024 de 14.0 m y S2-2024 de 20.0 m) y tres (3) tomografías eléctricas (TM01–TM03) de 93 m cada una.

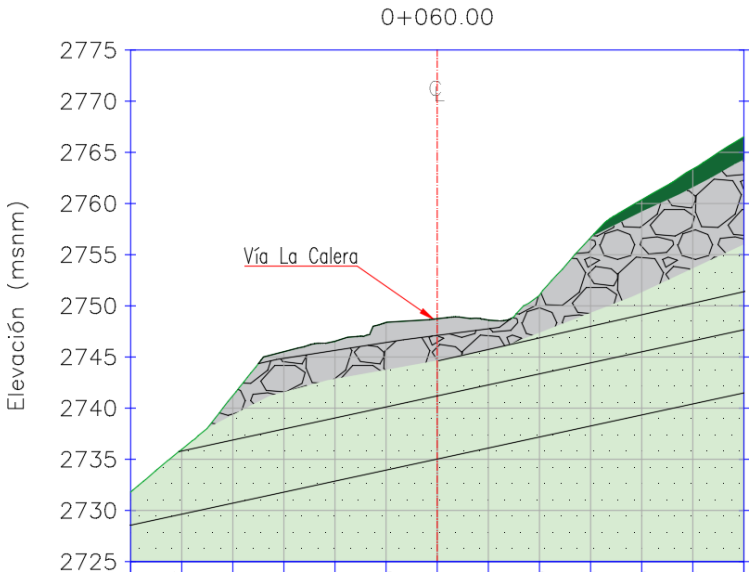
Levantamiento estructural:

Del levantamiento estructural de 2023 (estaciones 0+000 a 0+160) se registró una estratificación dominante con dirección de buzamiento cercana a 120° y buzamientos de 70° a 78°, junto con varias familias de diaclasas asociadas al alto fracturamiento del macizo.

Modelo Geológico – Geotécnico:

Resumen de los materiales

Figura 3-20 Sección geológica de detalle 0+060



Fuente: Elaboración propia

Parámetros geotécnicos:

De los ensayos de laboratorio se seleccionaron los parámetros de diseño del sitio crítico 30 a partir de los contratos 1490 de 2018 y 1773 de 2023. Los ensayos de 2018 (GEOCING) incluyeron corte directo, compresión inconfinada y carga puntual sobre los sondeos SM-01 a SM-05.

En el Contrato 1773 de 2023 se ensayó compresión simple y peso unitario, con resistencias

máximas (σMax) entre 14 y 79 MPa y pesos unitarios (γ) de 2.12 a 2.23 kN/m³.

3.3.1.6.1.2 Sitio crítico 31

Unidades geológicas para ingeniería (UGI): Las unidades de geología para ingeniería se describen según la clasificación del Servicio Geológico Colombiano (ver criterio detallado en el Sitio Crítico 30). A continuación, se presentan los valores propios de este sitio.

Roca intermedia areniscas de la Formación Labor-Tierna (Ri-alt): Corresponde a la unidad de roca con mayor presencia a lo largo del tramo vial. Se compone de capas de areniscas cuarzosa de color blanco a amarillento, con GS 40 a 60, y un valor medio de rebote de martillo Schmidt de 24, y resistencia a compresión simple de acuerdo con correlación de esclerómetro de 22 MPa.

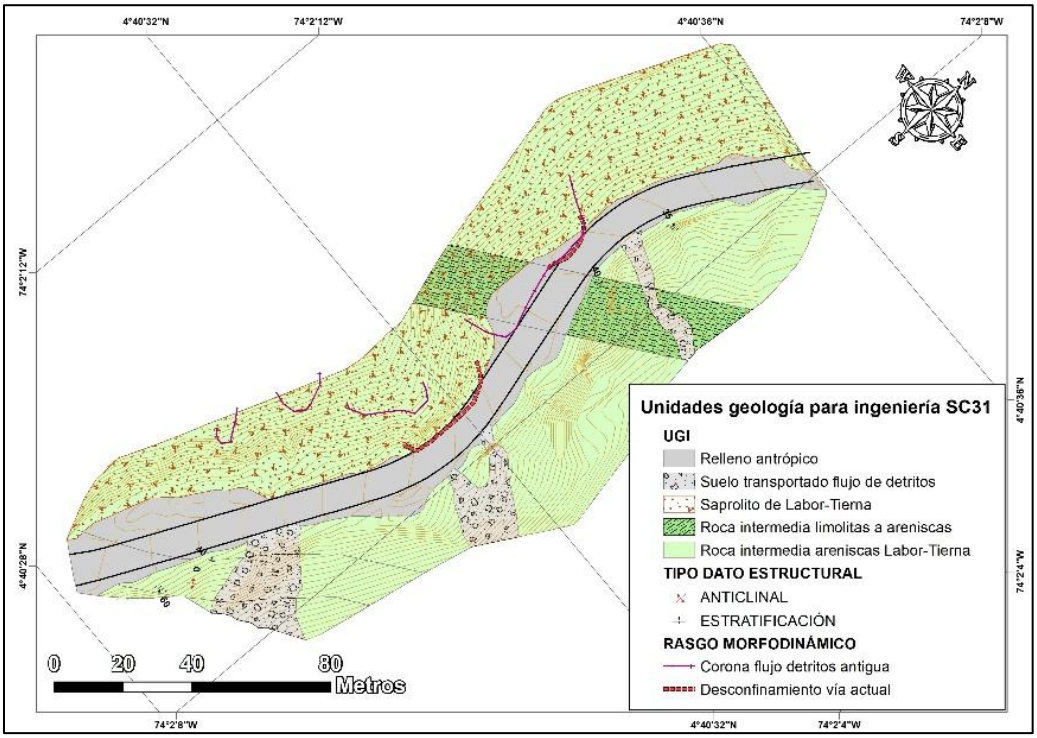
Roca intermedia limolitas a areniscas de la Formación Labor-Tierna (Ri-lt): Corresponde a niveles de roca fracturada donde se intercalan en capas delgadas niveles de arenisca fina silicificadas (porcelanitas) y limolitas. Estos niveles presentan un GSI cercano a 50 debido al alto fracturamiento.

Saprolito de unidad Labor-Tierna: Corresponde a un nivel meteorizado de la Formación Labor-Tierna que da lugar a un material compuesto de fragmentos angulares de arenisca en una matriz areno limosa sin cohesión color café, de baja plasticidad, y humedad media.

Suelo transportado flujo de detritos: Corresponde a una unidad de suelo transportado por procesos gravitacionales, de tipo flujo de detritos. El material se compone de una matriz areno limosa de compacidad media y color grisáceo, con clastos subangulares de areniscas de grano medio, con tamaño variables entre 2 metros y 5 cm, siendo predominantemente de 20 cm

Relleno antrópico: Corresponde a material de rellenos ingenieriles para la estructura vial, como bases y subbases.

Figura 3-21 Mapa de unidades geológicas para ingeniería (UGI)

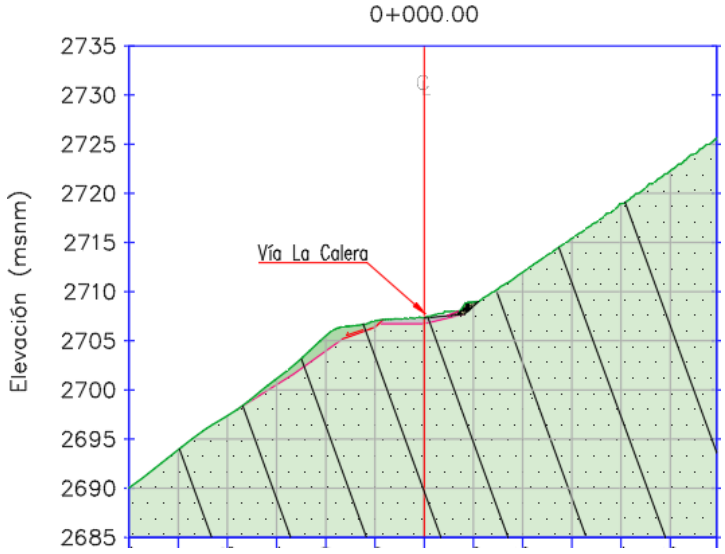


Fuente: Jam, 2024

PERFILES GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO:

A partir de la geología de campo, la geofísica y el sondeo se realizaron algunas secciones separadas cada 20 m a lo largo del tramo estudiado. A continuación, se presentan algunas de estas secciones realizadas.

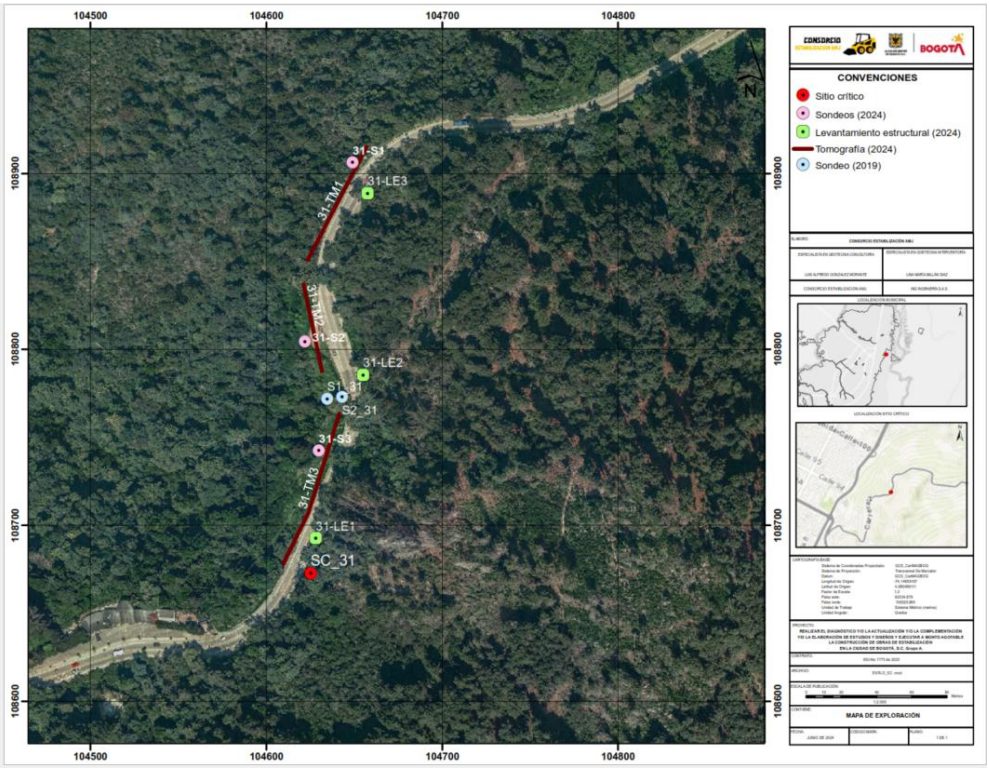
Figura 3-22 Sección geológica de detalle 0+00



Fuente: Elaboración propia

EXPLORACIÓN DIRECTA Y GEOFÍSICA:

Figura 3-23 Mapa de exploración SC31



Fuente: JAM, 2024

Exploración geofísica:

Se realizaron 3 tomografías de resistividad eléctrica a lo largo del tramo. Los resultados permitieron diferenciar las UGI en profundidad: zonas de alta resistividad asociadas a roca intermedia de areniscas Labor-Tierna (Ri-alt) y zonas de baja resistividad relacionadas con limos y arcillas. Esta información complementó la interpretación de los perfiles geológico-geotécnicos del sitio.

Exploración directa:

Se ejecutó un sondeo con una profundidad de 20 m, en el cual se identificó principalmente roca arenisca de la formación Labor y Tierna. A continuación, se presenta el perfil estratigráfico de este.

Figura 3-24 Perfil estratigráfico sondeo 2

*SITIO CRITICO: 30 VÍA LA CALERA PROFUNDIDAD (m): 20,00
*LOCALIZACIÓN: 4°40'21"N 74°02'20"W

RESULTADOS OBTENIDOS

Profundidad (m)	Convencion M.O.P.T	Sistema de clasificacion U.S.C	Clasificación y descripción del material	Recobro	Muestra N°	Muestra Tipo	# Golpes			Humedad %	Muestra JML
0,00 1,00		GC	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA Stan: Relleno antrópico	34	1	SPT	6	12	24	11,53	24-1332-01
1,00 2,00		SC	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA Ri-alt: Roca int, Arenisca	33	2	SPT	23	36	45	14,32	24-1332-02
2,00 3,50		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	58	3	NQ	-	-	-	-	24-1332-03
3,50 5,00		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	50	4	NQ	-	-	-	-	24-1332-04
5,00 6,50		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	61	5	NQ	-	-	-	-	24-1332-05
6,50 8,00		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	70	6	NQ	-	-	-	-	24-1332-06
8,00 9,50		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	68	7	NQ	-	-	-	-	24-1332-07
9,50 11,00		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	80	8	NQ	-	-	-	-	24-1332-08
11,00 12,50		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	83	9	NQ	-	-	-	-	24-1332-09
12,50 14,00		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	74	10	NQ	-	-	-	-	24-1332-10
14,00 15,50		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	75	11	NQ	-	-	-	-	24-1332-11
15,50 17,00		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	73	13	NQ	-	-	-	-	24-1332-12
17,00 18,50		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	84	14	NQ	-	-	-	-	24-1332-13
18,50 20,00		ROCA	ROCA Ri-alt: Roca int, Arenisca	76	15	NQ	-	-	-	-	24-1332-14

Ensayos e Ingeniería

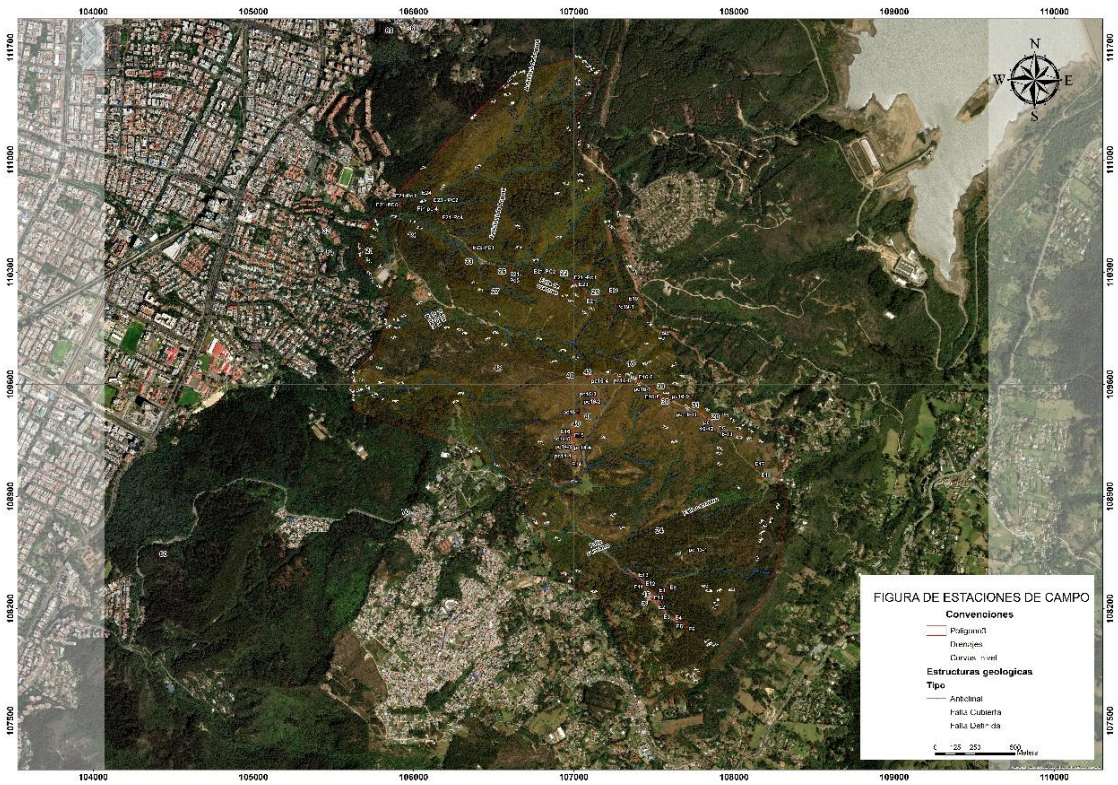
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 TRABAJOS DE CAMPO GEOLOGÍA

El trabajo de campo consistió en el levantamiento de información geológica y geomorfológica, identificando los tensores que pueden generar eventos de movimientos en masa. En estas salidas se tomaron datos de buzamiento y dirección de buzamiento de los estratos rocosos, así como se adquirieron datos estructurales de algunas familias de diaclasas identificadas, además se observaron algunos procesos de remoción en masa y se levantó a detalle uno de estos, ya que las condiciones del terreno lo permitieron.

En la Figura 3-25 se presenta la ubicación de las estaciones levantadas en las tres salidas de campo ejecutadas y en la Tabla 3-4 se presentan las coordenadas en origen Magna Ciudad Bogotá de dichas estaciones.

Figura 3-25 Figura de estaciones de campo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-4 Coordenadas estaciones de campo

Estación	X	Y	Estación	X	Y
E1	107553,63	108291,48	**PC16-5**	107301,94	109650,43
E2	107528,48	108237,82	**PC16-7**	107495,27	109561,18
E3	107560,68	108176,80	**E16-6**	107403,20	109620,36
E4	107618,41	108145,09	**E16-8**	107547,02	109524,09
E5	107659,30	108117,26	**PC16-9**	107611,22	109499,96
E6	107701,49	108084,22	**PC16-10**	107706,38	109459,45
E7	107493,14	108263,99	**PC 16-11**	107784,71	109423,95
E8	107477,28	108245,49	**PC 16-12**	107828,63	109388,21
E9	107584,89	108335,18	**PC 16-13**	107890,81	109310,87
E10	107500,60	108297,41	**E17**	108131,25	109078,88
E11	107447,80	108347,32	**E18**	108169,62	109008,95
E12	107434,15	108348,56	**E19**	107340,31	110109,18
E13	107405,43	108386,03	**PC19-1**	107266,63	110111,09
PC 13-1	107716,16	108543,18	**E20**	107218,74	110161,89
E14	107017,10	109130,01	**E21**	107110,02	110147,24
PC14-1	106999,34	109163,85	**E21 -PC1**	106998,99	110242,05
PC14-3	107001,85	109203,42	**E21- PC3**	106600,65	110317,56
PC14-4	107000,70	109226,71	**E21-PC2**	106900,25	110295,74
PC14-5	106990,47	109260,70	**E21-PC4**	106176,88	110616,00
E15	106989,70	109283,70	**E21-PC5**	105915,81	110730,77
E16	106991,42	109316,49	**E22 - MM**	107069,54	110189,35
PC16-1	107038,96	109402,26	**E23**	107016,68	110225,66
PC16-2	107114,64	109467,19	**E23 - PC2**	106122,90	110724,14
PC16-3	107141,19	109514,32	**E23-PC1**	106367,98	110428,73
			E24	106111,30	110769,64
			E24-PC1	106015,88	110751,05

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.1 E1

El afloramiento corresponde a un talud expuesto por corte de carretera, el cual tiene un aproximado de 4 metros de altura, en este se pueden observar dos materiales, el primer material corresponde a un suelo con algunos fragmentos de la roca parental los cuales no se han terminado de meteorizar, el material es de color amarillo, compuesto por tamaño de grano arenoso fino a muy fino, no presenta plasticidad, de compacidad media a denso, y humedad media, además se realizó el ensayo de penetración para suelos el cual supero 1 MPa.

El segundo material también corresponde a una arena de grano fino que, a diferencia del material anterior, este material presenta un grado más de meteorización, en el ensayo del penetrómetro arroja los siguientes valores 0.4, 0.4, 0.3 Mpa

Figura 3-26 Estación 1



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2 E2

El afloramiento corresponde a una zona de un flujo, donde el material corresponde a un suelo arenoso de grano fino a muy fino, color café a negro, no plástico, compacidad media, humedad media, el ensayo de penetrómetro arrojo los valores 0.8, 0.8, 0.9 Mpa, además se observan algunos clastos menores de cuarzo areniscas de la roca los cuales arranco el flujo.

Figura 3-27 Fotografía del flujo E2



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 E3

El afloramiento corresponde a la zona media del flujo de tierras, sector en el cual se evidencia la destrucción total de las obras de canalización y control de aguas previamente dispuestas en el lugar. En la actualidad, dos afluentes convergen en esta zona, generando un drenaje continuo y activo que ejerce socavación progresiva sobre la parte central del flujo.

Figura 3-28 Cuerpo del Flujo E3



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.4 E4

El afloramiento corresponde a un macizo rocoso conformado por areniscas cuarzosas de grano fino, en el cual se identificaron dos zonas con diferente grado de meteorización y condiciones estructurales contrastantes.

En la zona superior del afloramiento, el macizo presenta un mayor grado de meteorización, evidenciado por un espaciamiento corto entre familias de diaclasas de aproximadamente 4 cm, lo que genera bloques de pequeñas dimensiones y una estructura del macizo muy fracturada. Esta condición se refleja en un índice GSI de 25, indicativo de un macizo de calidad geomecánica baja con resistencia reducida.

En la zona inferior, el macizo exhibe mejores condiciones geomecánicas, con un espaciamiento entre diaclasas de aproximadamente 30 cm, generando bloques de mayor

tamaño y un macizo menos fracturado. Esta zona presenta un índice GSI de 40, correspondiente a una calidad geomecánica media-baja, con mayor competencia mecánica respecto al sector superior.

A continuación, se presentan los datos de las familias de diaclasas correspondientes a la zona inferior del afloramiento, cuyos bloques de mayor tamaño son considerados los más representativos del comportamiento general del macizo rocoso para efectos del análisis geotécnico.

Figura 3-29 Afloramiento Arenisca Labor IV



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-5 Datos del levantamiento estructural E4

Dip	Dip Direction	Set
83	261	
80	217	
81	220	
84	240	

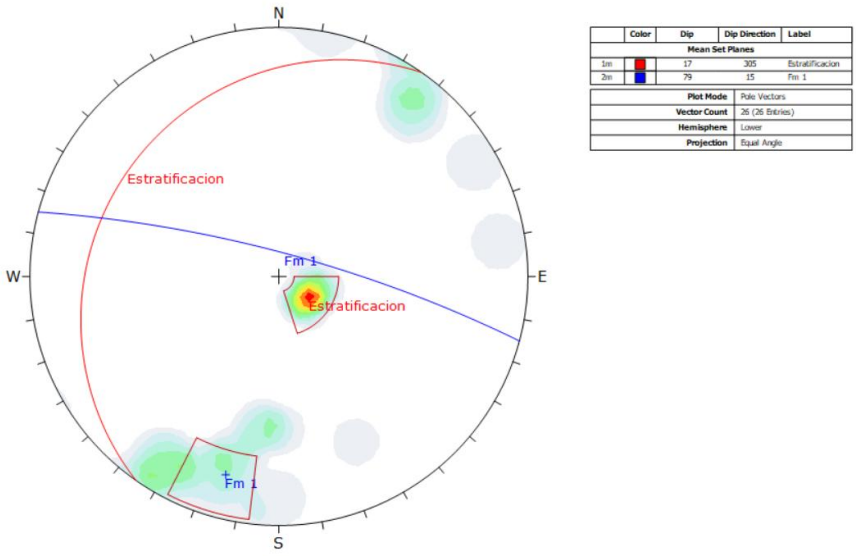
Dip	Dip Direction	Set
87	215	
89	11	2
83	360	
79	20	2
76	14	2
85	28	
72	335	
72	14	2
82	33	
81	31	
61	8	
63	5	
63	358	
17	320	1
13	248	
22	283	1
20	289	1
22	318	1
15	314	1
13	327	1
17	294	1
16	304	1

Fuente: Elaboración propia

Fue realizado un levantamiento estructural de macizo rocoso en este sector con un total de 26 datos de diaclasas, a partir del cual se determinaron 2 familias de discontinuidades que corresponden a:

- D1: Familia de diaclasas 55/144(D/DD)
- D2: Familia de diaclasas 56/320 (D/DD)

Figura 3-30 Red estereográfica familias de discontinuidades Estación 4



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-6 Resumen familias de discontinuidades Estación 4

ESTACION 4 – RESUMEN FAMILIA DISCONTINUIDADES									
Familia	**Buzamiento**	**Dirección de Buzamiento**	**Persistencia (m)**	**Espaciamiento (cm)**	**Apertura (mm)**	**Relleno**	**Rugosidad**	**agua**	**Índice de rebote R**
D1	55	144	Discontinua (10m)	Próximas (30cm)	Ligeramente abierta(5mm)	0	Ondulada-Rugosa	seca	20-35-30
D2	56	320	Discontinua (1 m)	Bastante próximas (40cm)	Ligeramente abierta(5mm)	0	Ondulada-Rugosa	seca	30-40-30←

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.5 E5

El afloramiento corresponde a la zona de arranque del flujo, sector desde el cual se produjo la movilización del material. La cicatriz de desprendimiento presenta dimensiones aproximadas de 6 m de altura y 17 m de ancho, medidas desde el centro del deslizamiento. En este sector se observa el afloramiento de la roca en la superficie de arranque, cuya estratificación presenta un buzamiento a favor de la pendiente, condición estructural que constituye un factor determinante en la generación y movilización del flujo, ya que los planos de estratificación actúan como superficies preferenciales de deslizamiento facilitando el

desprendimiento y transporte del material de suelo suprayacente.

Figura 3-31 Afloramiento arenisca Labor IV



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.6 E6

El afloramiento corresponde a la zona superior del flujo, sector en el cual se identifica la corona del deslizamiento con una altura aproximada de 3.5 m. El material expuesto en la corona corresponde a suelo arenoso de color café oscuro, con las propiedades mecánicas previamente descritas para esta unidad. Con el fin de caracterizar la resistencia del material in situ, se realizó el ensayo de penetrómetro de bolsillo, obteniendo valores de 0.8 MPa y 0.7 MPa.

Figura 3-32 Corona del deslizamiento



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.7 E7

La estación corresponde a un punto de observación ubicado sobre la vía, con visual hacia la ladera aguas abajo, desde el cual se aprecia la expresión geomorfológica dejada por el flujo de tierras. Se observa que el flujo se encauzó a través del drenaje natural preexistente de la quebrada, aprovechando su cauce como canal de tránsito y transporte del material movilizado, lo que evidencia el control que ejerce la red de drenaje sobre la dinámica y dirección de los procesos de remoción en masa en esta ladera.

Figura 3-33 Flujo de tierras parte inferior



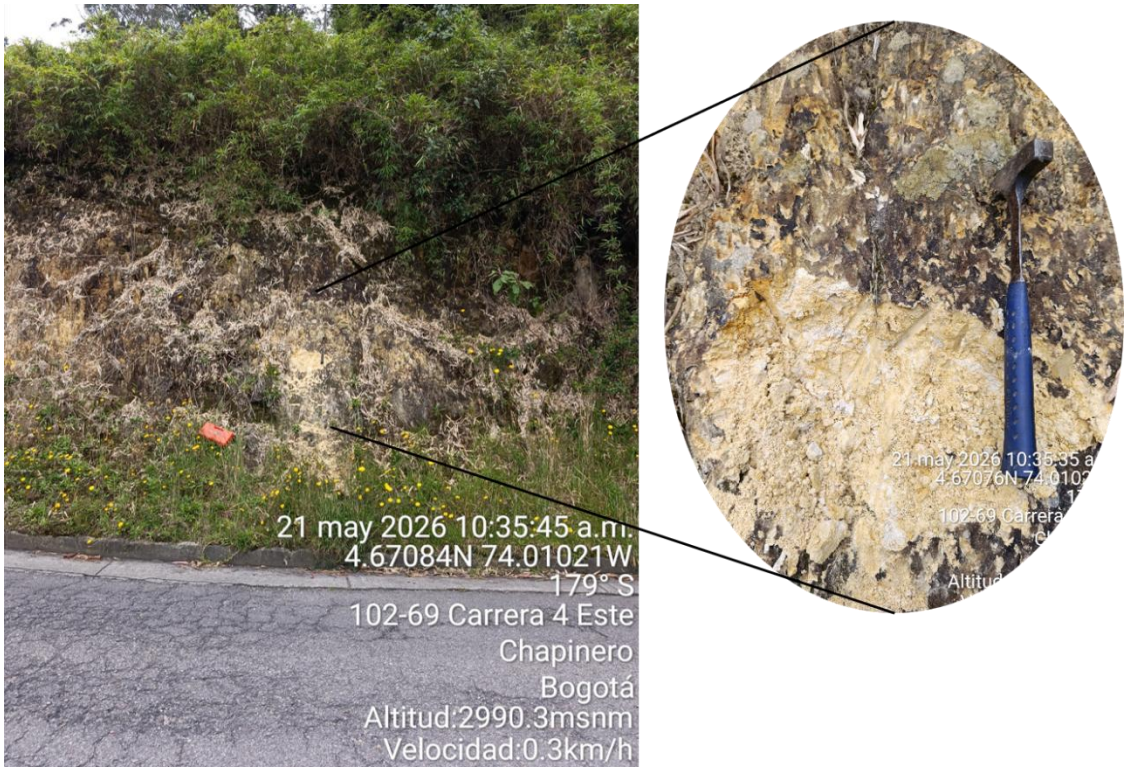
Fuente: Elaboración propia

3.3.2.8 E8

El afloramiento corresponde a un corte de carretera en el cual se encuentra un material de transición entre suelo y roca meteorizada, correspondiente a una arenisca de grano fino en avanzado estado de meteorización. El material presenta las siguientes características: color amarillo, composición cuarzo-feldespática, granulometría de arena fina, no plástica, compacidad media y contenido de humedad alto.

El ensayo de penetrómetro de bolsillo arrojó valores de 1 MPa o superiores, sin embargo, a pesar de esta resistencia aparente, el material exhibe una cohesión interna muy baja, manifestada en su tendencia a disgregarse con facilidad ante esfuerzos mecánicos y en su incapacidad de recuperar la forma original tras la deformación, Es importante resaltar que a pocos metros de la estación de campo se observa una mejora progresiva en las propiedades geomecánicas del material, evidenciando una transición hacia roca de mejor calidad.

Figura 3-34 Afloramiento Suelo residual V



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.9 E9

La estación corresponde a un corte de carretera, hacia el sector NE del flujo donde se observa un material de tipo suelo arenoso café tal como se describe en la estación E1, esto para delimitar parte de la zona del flujo y el material.

Figura 3-35 Suelos residuales grado VI



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.10 E10

El afloramiento corresponde a una zona aguas debajo de la carretera, donde se observa la continuidad del flujo, en la estación se puede distinguir las zonas que pertenecen al flujo las cuales cargan de clastos arrancados a la roca y las zonas de las laderas las cuales contienen únicamente el material arenoso fino de color café.

Figura 3-36 Flujo de tierra E10



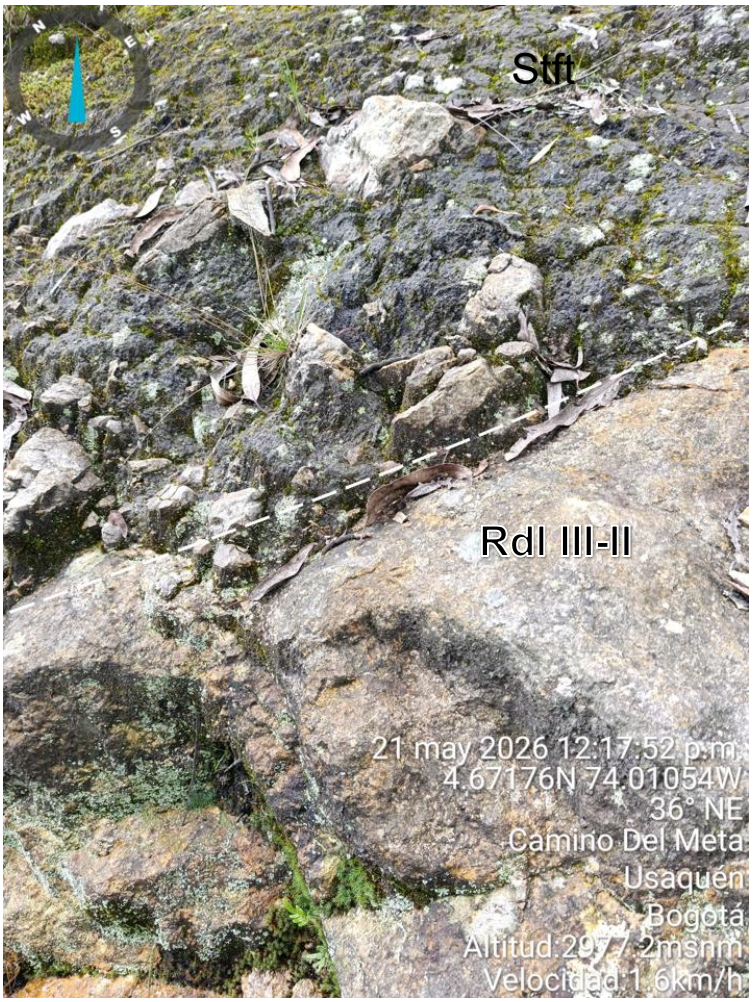
Fuente: Elaboración propia

3.3.2.11 E11

El afloramiento se localiza en el margen del flujo de tierras, sector en el cual se identifica claramente el contacto entre el material movilizado y la roca parental. En este límite se observa que el flujo incorporó clastos de la roca parental durante su desplazamiento, evidenciando el arranque y arrastre de material rocoso como parte del proceso de

movilización. Adicionalmente, se identifica que el flujo aprovechó los planos de estratificación de la roca como superficie de desplazamiento preferencial, lo que confirma el control estructural ejercido por la orientación de los estratos sobre la dirección y dinámica del movimiento de tierra.

Figura 3-37 Contacto roca de la Formación Labor III y el flujo de tierras



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.12 E12

El afloramiento corresponde a la continuidad del talud rocoso, en el cual se expone un macizo conformado por dos estratos sedimentarios en contacto concordante, con características litológicas diferenciadas.

El estrato superior corresponde a una arenisca cuarzo-feldespática de grano fino, con coloración amarilla de tonalidades oscuras, cuya composición mixta de cuarzo y feldespato.

El estrato inferior corresponde a una arenisca cuarzosa de alta madurez mineralógica, con tonalidades amarillas pálidas a blancas, lo que refleja una mayor proporción de cuarzo.

Al macizo rocoso en conjunto se le asignó un índice GSI de 45, correspondiente a una calidad geomecánica media, con estructura moderadamente fracturada; a continuación, se presentan las propiedades de las familias de diaclasas.

Figura 3-38 Roca de la Formación Labor III-II



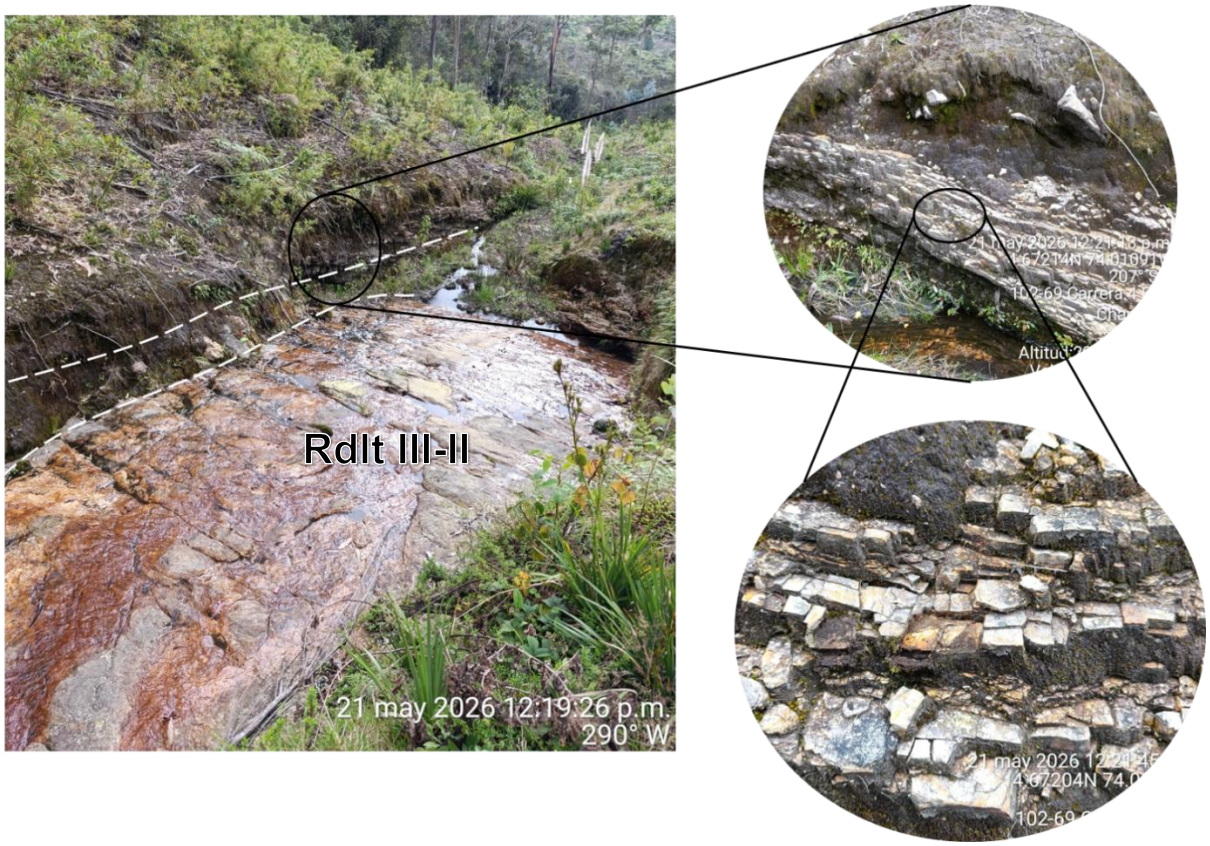
Fuente: Elaboración propia

3.3.2.13 E13

El afloramiento corresponde a la zona aguas abajo del flujo de tierras, sector en el cual el material movilizado ha sido completamente erosionado y removido por la acción del agua, dejando expuesta la roca parental subyacente. En este afloramiento se identificó una secuencia vertical compuesta por una capa de suelo suprayacente y dos estratos rocosos, descritos de techo a base de la siguiente manera:

El material de tipo suelo consiste en el material arenoso previamente descrito de tamaño de arena fina y coloración café, seguido se encuentra una capa rocosa de limolitas fracturadas con un gsi de 25, esta capa presenta una estructura panelar debido al fracturamiento intenso que ha tenido la roca; finalmente se encuentra la capa previamente descrita de arenisca cuarzo feldespática de color amarilla con tonalidades oscuras.

Figura 3-39 Roca Formación Labor-Tierna grado III-II

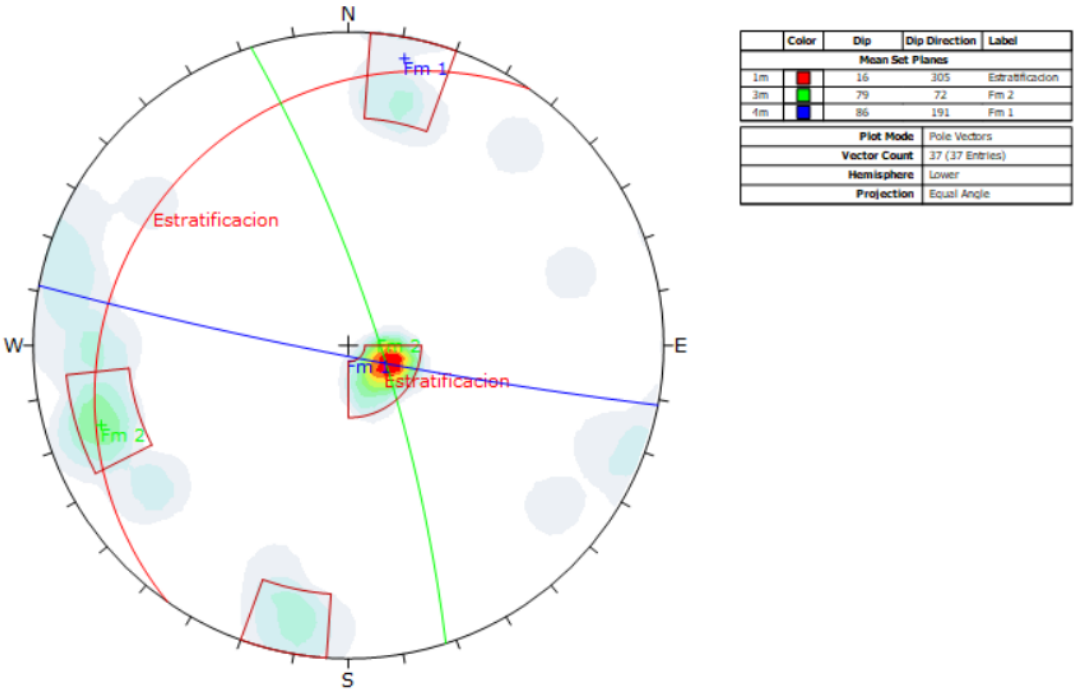


Fuente: Elaboración propia

Fue realizado un levantamiento estructural de macizo rocoso en este sector con un total de 37 datos de diaclasas, a partir del cual se determinaron 3 familias de discontinuidades que corresponden a:

- D: Estratificación 16/305(D/DD)
- D1: Familia de diaclasas 86/191 (D/DD)
- D2: Familia de diaclasas 79/72 (D/DD)

Figura 3-40 Red estereográfica familias de discontinuidades Estación 13



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-7 Resumen familias de discontinuidades Estación 13

ESTACION 13 – RESUMEN FAMILIA DISCONTINUIDADES									
Familia	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Persistencia (m)	Espaciamiento (cm)	Apertura (mm)	Relleno	Rugosidad	agua	Índice de rebote R
Estratificacion	**16**	**305**	**Discontinua (1m)**	**Próximas (30cm)**	**Ligeramente abierta(5mm)**	**0**	**Ondulada-Rugosa**	**seca**	**43-44-50 ←**
D1	**56**	**320**	**Discontinua (0.5m)**	**Bastante próximas (40cm)**	**Ligeramente abierta(5mm)**	**0**	**Ondulada-Rugosa**	**seca**	**42-50-46←**
D2	**79**	**63**	**Discontinua (1m)**	**Bastante próximas (40cm)**	**Ligeramente abierta(5mm)**	**0**	**Ondulada-Rugosa**	**seca**	**56-36-42**

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.14 E14

El afloramiento se ubicó dentro de la Formación Tierna, en donde se identificó una roca cuarzo arenisca de compacidad dura, poco cementada, la cual presenta una friabilidad alta o es muy deleznable con la mano, su coloración en blancuzca y naranja producto de la meteorización de oxidos de hierro presentes en la formación. Esta presenta un índice de esfuerzo geológico (GSI) de 70 ya que no se identifican planos de discontinuidad separadas.

Además de identifican cantos rodados dispuestos sobre la Formación Tierna producto de la meteorización física de rocas de la Formación Labor y las altas pendientes, los tamaños presentes de estos clastos son de desde 10 cm de diámetro hasta los 2 m.

Se tomaron valores con el martillo de Schmidt

V 10, 11

10 m hacia el norte se encuentran intercalaciones de arenas ferruginosas poco cementadas con valores del martillo de Schmidt de V 14, 13, 12.5, 15

Estos valores obtenidos por medio del martillo de Schmidt pueden representar superficialmente el macizo, ya que al estar expuesta la roca se genera una meteorización en la zona más superficial; sin embargo, sus propiedades geomecánicas pueden ser mejores a profundidad.

Figura 3-41 Afloramiento Roca blanda Grado III Fm Tierna



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 1:

Se identifica un cambio de coloración a una arenisca violeta, con las mismas características de la E14, se tomó la dirección del buzamiento (234°), y se realizaron tomas con el martillo de Schmidt de V 12, 11, 13. Horizontal al plano se tomaron datos de H 15, 14, se le asigna un GSI de 70.

Figura 3-42 Toma de datos con el Martillo de Schmidt PC1



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 2:

Roca cuarzo arenisca de compacidad dura, poco cementada, la cual presenta una friabilidad alta o es muy deleznable con la mano, su coloración en blancuzca y naranja producto de la meteorización de óxidos de hierro presentes en la formación, se presenta un GSI de 70.

Valores con el martillo de Schmidt

V: 12, 11

Figura 3-43 E14 PC2



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 3:

Se presentan unas arenas arcillosas duras roca III-IV, color rojizo y blancuzca, plasticidad alta en las zonas donde predominan las arcillosas, GSI de 65. No presenta humedad, tiene 2 metros de espesor en planta.

Figura 3-44 Fm tierna estrato areno arcilloso



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 4:

Se presentan unas areniscas de color amarillo rojizo 2.5Y 6/8, muy deleznable, superficialmente se ha desarrollado un saprolito grado IV de unos 10 cm de espesor. Se tomaron valores con el martillo de Schmidt los cuales se presentan a continuación:

Vertical 12, 10, 10.5, 12.5

Figura 3-45 E14 PC 4



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.15 15

En esta estación se identificó unas areniscas ferruginosas de color amarillo rojizo a rojizo, compacidad muy dura se clasifica como roca III - II, esta roca hace parte de la Fm Tierna, y se encuentra en pendiente estructural, presenta friabilidad baja a nula debido a la moderada a alta cementación con hierro, se encuentra sin humedad, un GSI entre 55-65. Se tomaron datos con el martillo de Schmidt cuyos datos se presentan a continuación:

Vertical: 19, 22, 20

Horizontal: 30, 22, 20

Se toma un dato estratigráfico y dos datos de planos de diaclasamiento.

Los datos estratigráficos tomados son

- D: Estratificación 43/211, 46/231, 45/221 (D/DD)
- D1: Familia de diaclasas 85/226 (D/DD)
- D2: Familia de diaclasas 74/56 (D/DD)

Tabla 3-8 Resumen familias de discontinuidades Estación 15

ESTACION 15 – RESUMEN FAMILIA DISCONTINUIDADES									
Familia	**Buzamiento**	**Dirección de Buzamiento**	**Persistencia (m)**	**Espaciamiento (cm)**	**Apertura (mm)**	**Relleno**	**Rugosidad**	**agua**	**Índice de rebote R**
Estratificacion	45	221							
D1	56	320							
D2	79	63	Discontinua (2 m)	Bastante próximas (20cm)	Ligeramente abierta (8 mm)	arenoso	Ondulada-Rugosa	seca	56-36-42

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-46 Areniscas ferruginosas E15



Fuente: Elaboración propia

10 m caminando hacia el norte e observa en pendiente contraestructural esta misma unidad, como se observa en la Figura 3-47 e Figura 3-48.

Figura 3-47 Roca arenisca ferruginosa en contrapendiente



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-48 Vista a vallecito E15



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.16 E16

Este afloramiento corresponde a un macizo rocoso. En esta estación se marca el inicio de la Formación Labor la cual fue identificada gracias a sus propiedades y características. En este punto Labor presenta unas características de roca dura muy competente con litología de cuarzo arenitas duras, de color blancas o amarillo hueso en la roca totalmente sana y color anaranjado en zonas meteorizadas, estas rocas no presentan humedad ni plasticidad.

Se evidencian algunas discontinuidades productos de la complejidad tectónica de la zona. Además, se observan fracturas producto de la gelifracción ocasionada por las bajas temperaturas nocturnas en las zonas de paramo.

De esta estación se tomaron 13 puntos de control a lo largo del recorrido, los cuales presentan las mismas características de la roca.

Tabla 3-9 Resumen familias de discontinuidades Estación 16

ESTACION 16 – RESUMEN FAMILIA DISCONTINUIDADES									
Familia	**Buzamiento**	**Dirección de Buzamiento**	**Persistencia (m)**	**Espaciamiento (cm)**	**Apertura (mm)**	**Relleno**	**Rugosidad**	**Agua**	**Índice de rebote R**
Estratificacion	40	210							↓58, 56 →36, 26, 26
D1	86	300	2 m	12 – 20 cm	10 mm	Arenoso	Ondulado suave	Seco	↓46 →49
D2	45	30	2 m	20 – 50 cm	3 mm	Arenoso	Ondulada suave	seca	↓28

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-49 Afloramiento rocoso Estación 16



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 1

En este punto de control se tomaron algunos datos de rebote con el martillo de Schmidt, obteniendo valores en vertical ↓ 28, 32 y se tomó un dato de la estratificación de 41d/211dd.

Figura 3-50 Afloramiento Punto de Control 1



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 2

Mismo material identificado en el E16, se toma registro fotográfico de algunas fracturas presentadas en la roca.

Figura 3-51 Fracturas identificadas en las rocas



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 3

En este punto de control únicamente se evidenció el fracturamiento rocoso expuesto al intemperismo, identificando el agrietamiento por meteorización física.

Figura 3-52 Fracturas y agrietamiento por factores físicos



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 4

Afloramiento corresponde a macizo rocoso de la Formación Labor, se identificó un plano de falla y se tomaron datos del rebote R por medio del martillo de Schmidt y datos estructurales.

Estratificación: 41/205dd, valores de rebote R ↓ 28, 29, 30. → 19, 18.

Plano de falla: 50/205dd, valores de rebote R ↓ 35, 35.

Figura 3-53 Toma de datos del plano de falla



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 5

En esta estación se realizó una observación geomorfológica general, de manera que se delimitó el contacto de la Formación Labor y Tierna.

Figura 3-54 Vista hacia contacto de Labor y Tierna y hacia Bogotá



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 6

Se identifica la Formación Labor superficialmente con un grado de meteorización III, la composición es de cuarzo arenita, la cementación es poca debido a su grado de meteorización y maduración.

Figura 3-55 Afloramiento Roca Labor III



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 7 y 8

Afloramiento del macizo rocoso de la Formación Labor, se toma dato estratigráfico y valores de rebote R de la roca con el martillo de Schmidt.

Dato estratigráfico 39/190, valores de rebote ↓ 21, 24, 35, 26.

En el punto de control 8 se identifica una roca de grado IV, el cual tiene unos 20 cm de

espesor por lo que no se considera importante y no se toma en cuenta para el mapa cartográfico, sin embargo, se tomaron algunos datos con el martillo de Schmidt ↓11, 15, dato estratigráfico 30/185dd.

Figura 3-56 Toma de datos estratigráficos



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 9 y 10

Afloramiento de roca dura grado II perteneciente a la Formación Labor, la cual se encuentra

bien cementada. Se tomaron datos estratigráficos de 31/1985 y valores de rebote R con el martillo de Schmidt de ↓21, 25.

Figura 3-57 Afloramiento macizo rocoso Fm Labor PC 9



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-58 Afloramiento macizo rocoso Fm Labor PC 10



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 11, 12 y 13

Se presenta un afloramiento del macizo rocoso de la Formación Labor, en estos puntos de control se toman datos estructurales con valores de 40/160, 20/190, se tomaron valores de rebote R con el martillo de Schmidt en vertical ↓ 37, 40, 47 y en horizontal → 16, 18.

Figura 3-59 Afloramiento PC 11 y 12



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-60 Afloramiento de rocas a favor de la pendiente Fm Labor E16 PC13



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.17 E17

El afloramiento se encuentra sobre la vía que conduce hacia las antenas, en esta estación

se identifica una roca blanda grado IV de la Formación Labor, con granulometría arena media y coloración amarilla, se evidencian algunas estructuras como venas rellenas de material blancuzco. Se realizó el ensayo con el penetrómetro de bolsillo y se obtuvo una resistencia mayor a 1 Mpa, por lo cual fue categorizado como roca blanda. Este material tendrá aproximadamente de 1 a 2 m de espesor en las zonas con abundante vegetación de paramo, cerca se encuentran afloramientos de roca grado III y II.

Figura 3-61 Afloramiento Estación 17



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.18 E18

Esta estación corresponde a un punto geomorfológico cerca de la vía pavimentada, la falla Carretero pasa muy cerca por lo que posiblemente se esté generando una disminución en

el buzamiento de las rocas, lo que ayuda a la generación de suelos y depósitos.

Figura 3-62 Zona de paso de falla Carretero



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.19 E19

Esta estación se ubica en el mirador del sendero Santa Ana – La Aguadora, geológicamente esta área está constituida por suelos arcillosos de coloración café muy oscuro a negruzco, son muy plásticos producto de la meteorización de la Formación Plaeners. Estos suelos pueden tener entre 1 y 2 metros de espesor.

Figura 3-63 Suelos arcillosos de la Fm Plaeners



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.20 E20

Este afloramiento se encuentra en la parte alta del sendero Santa Ana – La Aguadora, se identifica unas liditas de la Formación Plaeners, la cual se encuentra muy fracturadas, sobre estas se observa una delgada capa de suelo arcilloso de unos 50 cm aproximadamente.

Además, por el camino se encuentran suelos residuales grado V, IV de poco espesor, además de pequeños afloramientos de la Fm Plaeners, se asigna un GSI DE 40.

Se tomó un dato estratigráfico de 41/238, y valores de rebote R tomados con el martillo de Schmidt en vertical ↓8, 12, 10.

Figura 3-64 Afloramiento rocoso de la Fm Plaeners



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-65 Afloramientos encontrados entre E19 PC 1 y E21



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.21 E21

Este afloramiento muestra un macizo rocoso de la Formación Arenisca Dura, con tamaño de grano medio a grueso, muy bien cementado con cemento silíceo, sin humedad, ni

plasticidad. Se tomó un dato estratigráfico 25d/12dd, y valores de rebote R de ↓ 15 y →43.

Figura 3-66 Afloramiento Roca arenisca dura



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 1

Se toma punto de control de la estación 21, roca de grado II con gsi probable de 70, no se evidencia claramente el dato estratigráfico, se toman valores de rebote R, de las superficies en mejores condiciones. ↓28, 35, 15, 20, 25, 28, 21

Figura 3-67 Afloramiento Arenisca Dura PC 1



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 2

Afloramiento de macizo rocoso perteneciente a la Formación Arenisca Dura, con GSI de 60, se toma dato estratigráfico de 22/250, con valores de rebote R de ↑39, 36 y → 50, 50, 31.

El afloramiento tiene aproximadamente 7 m de alto; de base a techo presenta unas capas

de Arenisca Dura entre 50 cm y 1 m, posteriormente en la zona intermedia presenta 3.5 m de espesor en una secuencia de arenas limosas de capas delgadas entre 5 cm a 20 cm, esta zona se encuentra más erodada debido a la diferencia litológica. En la parte alta se observa una capa de una capa de 2 m de espesor de arenisca dura.

Además, se tomó el dato de un plano de diaclasa de 86/145 D/DD.

Figura 3-68 Afloramiento PC 2



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 3

Afloramiento de macizo rocoso de la Formación Arenisca Dura, roca muy competente con valores de rebote R de ↑30, 47 → 50, 58, 41, el dato estratigráfico fue de 65d/51dd. Las capas estratigráficas tienen espesores mayores a 50 cm.

Figura 3-69 Afloramiento del macizo rocoso Fm Arenisca Dura PC3



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 4

Se identifica Arenisca Dura moderadamente meteorizada, se toman valores de rebote R de ↑ 37, 40 → 22, 22, 30, parcialmente meteorizada, hacia la zona derecha se encuentra en grado IV, hacia la izquierda grado III. Se identifica 1 metro de suelo grado VI en la parte de arriba.

Figura 3-70 Afloramiento de roca grado III - IV



Fuente: Elaboración propia

Punto de control 5

Se encuentra roca de grado III y IV, coloración amarilla de compacidad dura, sin plasticidad y sin humedad, también presenta un suelo grado VI de 1 m.

Figura 3-71 Afloramiento Arenisca Dura PC 5



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.22 E22

En la estación 22 se identifica un proceso de movimiento en masa de flujo de detritos, en la cual se movilizó suelo y clastos de la Formación Arenisca Dura. El deslizamiento tiene aproximadamente 70 m de longitud y entre 10 y 15 m de ancho.

El movimiento pudo presentarse por la saturación de los suelos residuales arenosos de la Formación Arenisca Dura, desarrollados sobre capas en contrapendiente estructural.

Figura 3-72 Movimiento en masa sobre el sendero Santa Ana - La Aguadora



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.23 E23

La estación 3 corresponde a todos esos depósitos coluviales identificados sobre el recorrido de campo. En la base de las laderas de la Formación Arenisca Dura cae material desprendido de las zonas altas y con el tiempo se entierran entre los suelos orgánicos.

Figura 3-73 Depósitos coluviales



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-74 Figura 3 74 Depósitos coluviales E23



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.24 E24

Los afloramientos se encuentran en ambos márgenes de la ruta izquierda del sendero que conduce a la zona de tanque, se evidencian unos suelos desarrollados, con grado de meteorización IV a V de la Formación Arenisca Dura, presentan una litología arenosa de grano medio a grueso, coloración amarillo blancuzco, compacidad media superficialmente y dura unos centímetros adentro, no presenta humedad, ni plasticidad.

Los afloramientos se encontraban cubiertos por hojas caídas de los pinos, en algunos puntos no crece pasto ni vegetación nativa, posiblemente por la acidificación del suelo producto de los pinos. Los suelos sin vegetación son más susceptibles a la erosión por escorrentías, y no son buenos reteniendo la humedad ni las aguas lluvias, además que la falta de vegetación aumenta la probabilidad de movimientos en masa.

Figura 3-75 Suelos residuales desarrollados



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 GEOLOGÍA LOCAL

Con base en la información recopilada durante las actividades de reconocimiento y verificación en campo, fue posible identificar y delimitar las diferentes unidades geológicas superficiales presentes en el área de estudio. Estas unidades fueron caracterizadas a partir de sus atributos litológicos y geológicos observables, considerando aspectos como composición, grado de meteorización, textura, estructura y relaciones de contacto.

La descripción e interpretación de dichas unidades se presenta a continuación siguiendo un criterio cronológico relativo, desde las unidades de mayor antigüedad hasta los depósitos y materiales geológico más recientes, esto permite establecer una aproximación a la evolución geológica superficial del sector y a los procesos geomorfológicos que han condicionado su configuración actual.

3.3.3.1 Formación Arenisca Dura (Ksgd)

La Formación Arenisca Dura (Ksgd) corresponde a la unidad estratigráfica más antigua del Grupo Guadalupe identificada en el contexto regional del área de estudio. Está constituida por areniscas cuarzosas de grano fino, de color gris claro, alta dureza y buena cementación, con intercalaciones esporádicas de capas delgadas de arcillolitas silíceas.

Su alta competencia mecánica y resistencia a la meteorización la convierten en una unidad de referencia para la estabilidad estructural del relieve montañoso del sector, ya que constituye el núcleo resistente de las estructuras anticlinales que controlan la configuración topográfica del área.

Dentro del Polígono 3 , esta unidad aflora en el sector nororiental del área de estudio (Figura 3-73), donde fue caracterizada en las estaciones E21, E22 y E24. En la estación E21 se identificó un macizo rocoso de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, muy bien cementadas con cemento silíceo, sin humedad ni plasticidad, dispuestas en capas de espesores superiores a 50 cm que alcanzan entre 1 y 2 m. Los valores de rebote R obtenidos con el martillo de Schmidt oscilan entre 15 y 58, y los índices GSI estimados varían entre 60 y 70, correspondientes a un macizo de calidad geomecánica media a alta y grado de meteorización II a III. En los puntos de control se reconoció una secuencia intercalada con niveles delgados de arenas limosas (capas de 5 a 20 cm), más erosionables por su contraste litológico, así como sectores moderadamente meteorizados de grado III a IV con desarrollo de hasta 1 m de suelo residual grado VI en la parte superior.

En la estación E24 la formación desarrolla suelos residuales de grado IV a V, de litología arenosa de grano medio a grueso y coloración amarillo-blancuzca, con compacidad media en superficie que aumenta en profundidad, sin humedad ni plasticidad. Estos horizontes, favorecidos por la escasa cobertura vegetal asociada a la acidificación del suelo por las plantaciones de pino, presentan alta susceptibilidad a la erosión por escorrentía y a la generación de movimientos en masa. En la estación E22, la saturación de estos suelos residuales arenosos —desarrollados sobre capas dispuestas en contrapendiente estructural— originó un proceso de flujo de detritos que movilizó suelo y clastos de la propia formación, descrito en el numeral correspondiente.

3.3.3.2 Formación Plaeners (Ksgp)

La Formación Plaeners (Ksgp) aflora de manera restringida dentro del área de estudio en el sector norte del polígono y en una franja occidental asociada a la zona de la Falla de Usaquén, constituyendo una unidad de menor extensión en comparación con la Formación Labor. Corresponde a una secuencia sedimentaria del Cretácico Superior perteneciente al Grupo Guadalupe, compuesta predominantemente por arcillolitas silíceas y limolitas con intercalaciones menores de areniscas de grano fino. La unidad se caracteriza por su baja competencia mecánica relativa, condición que la hace particularmente susceptible a procesos de meteorización y erosión diferencial.

La estructura del macizo presenta un patrón panelar producto del fracturamiento pervasivo, con bloques de dimensiones reducidas y múltiples planos de discontinuidad que facilitan la infiltración del agua y aceleran los procesos de degradación del material.

En campo, en las estaciones E19 y E20, localizadas en el sector del sendero Santa Ana – La Aguadora, se reconocieron afloramientos de liditas y arcillolitas silíceas de la Formación Plaeners intensamente fracturadas, con un dato estratigráfico de 41/238 d/dd y valores de rebote R con el martillo de Schmidt muy bajos (8 a 12), consistentes con su reducida competencia mecánica. Sobre estos niveles se desarrollan suelos residuales arcillosos de coloración café muy oscura a negruzca, de alta plasticidad y espesores de 1 a 2 m, junto con suelos residuales de grado IV y V de poco espesor, cuyo comportamiento plástico y baja resistencia favorecen los procesos de erosión y de remoción en masa.

Desde el punto de vista geotécnico, la Formación Plaeners representa una unidad crítica dentro del área de estudio debido a su baja resistencia mecánica y alta susceptibilidad a la degradación. Su comportamiento frente a la meteorización genera horizontes de suelo residual arcilloso que, ante condiciones de saturación, pueden desarrollar superficies de falla y contribuir a la generación de movimientos en masa, particularmente en sectores donde los estratos buzan a favor de la pendiente topográfica.

3.3.3.3 Formación Arenisca de Labor (Ksgl)

La Formación Arenisca de Labor (Ksgl) constituye la unidad geológica de mayor extensión y representatividad dentro del área de estudio. Corresponde a una secuencia sedimentaria del Cretácico Superior perteneciente al Grupo Guadalupe, cuya litología está compuesta

predominantemente por areniscas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas de grano fino a medio, de coloración gris clara a amarilla, esta última asociada a procesos de meteorización superficial. Los afloramientos observados en campo permitieron identificar variaciones en el grado de meteorización del macizo rocoso, desde sectores con roca fresca de alta competencia mecánica hasta zonas con avanzada alteración donde el material transiciona a un suelo residual arenoso de compacidad media.

En las estaciones de campo E4 y E12 se identificaron macizos rocosos conformados por areniscas cuarzosas con índices GSI entre 25 y 45, evidenciando condiciones geomecánicas variables que oscilan entre calidad baja y media. En los sectores de mayor meteorización (GSI de 25), el espaciamiento entre familias de diaclasas es del orden de 4 cm, generando bloques de pequeñas dimensiones y una estructura intensamente fracturada. En contraste, las zonas con menor grado de alteración (GSI de 40 a 45) presentan espaciamientos de aproximadamente 30 cm, con bloques de mayor tamaño y mejor integridad estructural.

El perfil de meteorización observado en las estaciones E1, E8 y E17 muestra un horizonte superficial de suelo residual arenoso fino de color amarillo a café, no plástico, con valores de resistencia al penetrómetro de bolsillo entre 0,3 y 1,0 MPa, lo que indica una cohesión interna baja a moderada. Este material suprayacente transiciona progresivamente hacia la roca parental con mejora gradual de las propiedades geomecánicas en profundidad.

Estructuralmente, la formación presenta una estratificación con buzamiento preferencial hacia el occidente, condición que, según lo observado en la estación E5, configura planos de debilidad que actúan como superficies preferenciales de deslizamiento cuando la estratificación buza a favor de la pendiente topográfica. Los levantamientos estructurales realizados en las estaciones E4 y E13 permitieron identificar tres familias principales de discontinuidades, cuyas orientaciones y características se detallan en las tablas de resumen correspondientes a cada estación. En Las estaciones 16 y puntos de control que se realizaron sobre el sendero a la antena se observó que el buzamiento tiene dirección Sur oeste, además se observa como la Falla Carretero condiciona el cambio de los buzamientos estratigráficos.

3.3.3.4 Formación Arenisca Tierna (Ksgt)

La Formación Arenisca Tierna (Ksgt) corresponde al conjunto superior de la secuencia arenosa del Grupo Guadalupe que, dentro del área de estudio, suprayace de manera concordante a la Formación Arenisca de Labor y se diferencia de esta por presentar capas de areniscas de mayor espesor y granulometría más gruesa. Litológicamente está constituida por areniscas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas de grano medio a grueso, de coloración gris clara a amarilla por meteorización, dispuestas en estratos gruesos a muy gruesos con estratificación cruzada.

En campo, esta formación fue caracterizada en detalle en la estación E14 y sus puntos de control, donde se identificó una roca cuarzo-arenosa de compacidad dura pero poco cementada, de alta friabilidad (deleznable con la mano) de coloración blancuzca a naranja y localmente violeta o amarillo rojizo (2.5Y 6/8), producto de la meteorización de los óxidos de hierro presentes en la formación. El macizo presenta un índice de esfuerzo geológico (GSI) de 70, dado que no se reconocen planos de discontinuidad bien definidos, con valores de rebote R medidos con el martillo de Schmidt de 10 a 13 en vertical y de 14 a 15 en horizontal. Se advierte que estos valores reflejan la condición superficial del macizo afectada por la meteorización de la roca expuesta y que sus propiedades geomecánicas tienden a mejorar en profundidad.

Localmente, la unidad presenta variaciones litológicas y de meteorización relevantes desde el punto de vista geotécnico. En el punto de control 4 se reconocieron arenas arcillosas duras de grado III a IV, de coloración rojiza a blancuzca, con plasticidad alta en los sectores de mayor contenido arcilloso, un GSI de 65 y un espesor cercano a 2 m. En el punto de control 5 se observó el desarrollo de un saprolito de grado IV de aproximadamente 10 cm de espesor sobre las areniscas amarillo-rojizas muy deleznables. Adicionalmente, sobre la superficie de la formación se disponen cantos rodados derivados de la meteorización física de la Formación Labor y del retrabajamiento asociado a las altas pendientes, con diámetros que varían entre 10 cm y 2 m. En conjunto, estos rasgos evidencian una unidad de competencia moderada a baja en superficie, susceptible a la erosión diferencial y a la generación de suelos residuales por su reducida cementación.

3.3.3.5 Depósito Aluvial (Qal)

Los depósitos aluviales (Qal) corresponden a acumulaciones de materiales no consolidados de edad cuaternaria, constituidos por sedimentos heterogéneos de tamaño arenoso y gravas, depositados por la acción de las corrientes hídricas en los cauces y zonas de inundación de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara. Estos depósitos presentan una distribución lineal asociada a los fondos de valle y lechos de las quebradas, configurando franjas estrechas y discontinuas a lo largo de los cauces principales.

Litológicamente, estos depósitos se componen de fragmentos redondeados a subredondeados de areniscas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas derivados de las formaciones del Grupo Guadalupe, embebidos en una matriz arenosa de grano fino a medio. Su espesor es variable y generalmente reducido, condicionado por la estrechez de los valles y la alta energía del flujo hídrico en este ambiente de ladera montañosa. Desde el punto de vista geotécnico, constituyen materiales sueltos con baja cohesión, susceptibles a socavación lateral y erosión por la acción continua de las corrientes, factores que contribuyen a la inestabilidad de las márgenes de las quebradas.

3.3.3.6 Depósito de Flujo de Tierras (Qdft)

El depósito de flujo de tierras (Qdft) corresponde a una acumulación de materiales no consolidados de edad cuaternaria, generados por un proceso de remoción en masa de tipo flujo de tierras que constituye el principal evento morfodinámico documentado dentro del área de estudio. Este depósito se extiende desde la zona de arranque ubicada al sur este del polígono, se genera en la parte alta de la ladera, a lo largo del cauce de la quebrada que sirvió como canal de tránsito y transporte del material movilizado, hasta la zona de acumulación en los sectores bajos.

En la zona de arranque, documentada en las estaciones E5 y E6, se identificó una cicatriz de desprendimiento con dimensiones aproximadas de 6 m de altura y 17 m de ancho. La corona del deslizamiento presenta una altura de aproximadamente 3,5 m, exponiendo un material de tipo suelo arenoso de color café oscuro con valores de resistencia al penetrómetro de bolsillo entre 0,7 y 0,8 MPa. En la superficie de arranque se observa el afloramiento de la roca parental, cuya estratificación buza a favor de la pendiente, configurando los planos de estratificación como superficies preferenciales de deslizamiento

que facilitaron el desprendimiento y transporte del material suprayacente.

La zona de tránsito del flujo, observada en las estaciones E3 y E7, evidencia que el material movilizado se encauzó a través del drenaje natural preexistente de la quebrada, aprovechando su cauce como canal de transporte. En el sector medio del flujo (estación E3) se constata la destrucción total de las obras de canalización y control de aguas previamente dispuestas, donde actualmente dos afluentes convergen generando un drenaje continuo y activo que ejerce socavación progresiva sobre la parte central del depósito.

El material constitutivo del depósito, caracterizado en las estaciones E2, E9, E10 y E11, corresponde a un suelo arenoso de grano fino a muy fino, de color café a negro, no plástico, con compacidad y humedad medias, y valores de penetrómetro de bolsillo entre 0,8 y 0,9 MPa. Se distingue por la presencia de clastos menores de cuarzo-areniscas arrancados de la roca parental durante el desplazamiento del flujo, rasgo que permite diferenciarlo del suelo residual in situ de las laderas adyacentes, el cual contiene únicamente material arenoso fino de color café sin clastos incorporados. En la estación E11, ubicada en el margen del flujo, se identificó claramente el contacto entre el material movilizado y la roca parental, confirmando que el flujo utilizó los planos de estratificación como superficie de desplazamiento preferencial.

Además, por medio de imágenes satelitales se identifican otros flujos de tierras dentro del área de estudio.

3.3.3.7 Depósito de Flujo de Detritos (Qfd)

El depósito de flujo de detritos (Qfd) corresponde a una acumulación de materiales no consolidados de edad cuaternaria, originada por un proceso de remoción en masa de tipo flujo de detritos, entendido como el desplazamiento gravitacional rápido de una mezcla de fragmentos rocosos, suelo y agua canalizada a través de los drenajes naturales. Dentro del Polígono 3 , esta unidad se distribuye en el sector nororiental del área de estudio (Figura 3-73), asociada a las laderas desarrolladas sobre la Formación Arenisca Dura.

El proceso fue documentado en la estación E22, sobre el sendero Santa Ana – La Aguadora, donde se identificó un movimiento en masa de aproximadamente 70 m de longitud y entre 10 y 15 m de ancho, que movilizó suelo residual y clastos de la Formación

Arenisca Dura. Su origen se relaciona con la saturación de los suelos residuales arenosos desarrollados sobre capas dispuestas en contrapendiente estructural, condición que redujo la resistencia al corte del material y favoreció su movilización pendiente abajo.

Litológicamente, el depósito está compuesto por una mezcla heterométrica de fragmentos rocosos y bloques meteorizados de areniscas embebidos en una matriz areno-arcillosa con alta concentración de finos y sin selección granulométrica, reflejo del carácter rápido y caótico del transporte.

Sobre la Formación Labor, desde la estación E14 se alcanza a ver el cuerpo y la corona de un flujo ubicado en el margen sur de donde se ubica la antena, subiendo en la E16, se observa que el flujo fue producto de una falla planar del macizo rocoso de la Fm Labor, en este flujo el cuerpo presenta una morfología alargada y canalizada, con zonas de ensanchamiento y acumulación lateral de sedimentos a lo largo de su recorrido, rasgos coincidentes con los observados en la fotointerpretación del año 2024.

Desde el punto de vista geotécnico, esta unidad constituye una zona de alta susceptibilidad a la reactivación, dado que persisten los factores condicionantes que originaron el movimiento: pendientes pronunciadas, materiales altamente meteorizados y de baja cohesión, escasa cobertura vegetal y procesos erosivos activos asociados al drenaje. Su reactivación se ve favorecida ante eventos de precipitación intensa que incrementan la escorrentía superficial y la presión de poros, por lo que debe considerarse en la evaluación de amenaza por procesos de remoción en masa, y su relación con periodos de altas precipitaciones.

3.3.3.8 Depósito Coluvial (Qdlc)

Los depósitos coluviales (Qdlc) corresponden a acumulaciones de materiales no consolidados de edad cuaternaria, originados por procesos de transporte gravitacional y de ladera a partir de la meteorización y desprendimiento de las rocas del Grupo Guadalupe que afloran en las partes altas del área de estudio. Dentro del polígono se distribuyen ampliamente sobre el flanco occidental, asociados al pie de las laderas del Anticlinal de Bogotá y al sector de la Falla de Usaquén, donde las condiciones topográficas favorecieron la acumulación del material desplazado pendiente abajo.

Litológicamente están compuestos por fragmentos angulares a subangulares de areniscas

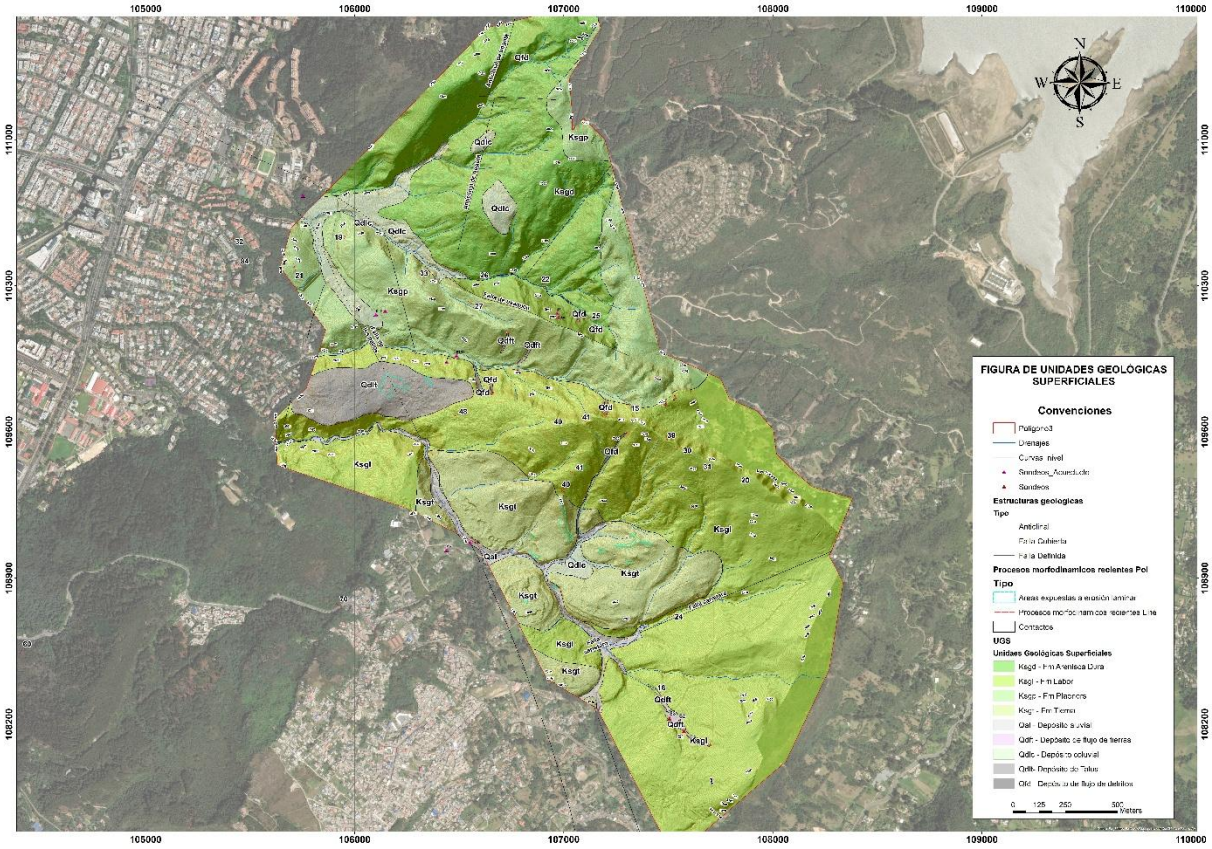
cuarzosas y cuarzo-feldespáticas de tamaños heterométricos, embebidos en una matriz areno-arcillosa producto de la meteorización in situ y del aporte de finos de las formaciones suprayacentes. Su espesor es variable y la selección granulométrica es baja, reflejando el carácter caótico del transporte gravitacional. Desde el punto de vista geotécnico, estos materiales presentan cohesión baja a media y permeabilidad variable, condiciones que, ante eventos de precipitación intensa, pueden favorecer la saturación del depósito y la reactivación de movimientos en masa de tipo reptación o deslizamientos superficiales en los sectores de mayor pendiente.

3.3.3.9 Depósito de Talus (Qdlt)

Los depósitos de talus o de derrubios (Qdlt) corresponden a acumulaciones de materiales no consolidados de edad cuaternaria, formados por la caída y rodamiento gravitacional de bloques y fragmentos rocosos desprendidos de los frentes y escarpes estructurales de las areniscas del Grupo Guadalupe. Dentro del área de estudio se identifican de manera localizada al pie de los escarpes rocosos, conformando acumulaciones de pendiente al pie de las laderas más abruptas.

Litológicamente se componen predominantemente de bloques y gravas angulares de areniscas cuarzosas, de tamaños variables, con escasa o nula matriz fina, lo que les confiere una elevada permeabilidad y una estructura abierta y suelta. Por su carácter no cohesivo y su disposición en pendientes pronunciadas, estos depósitos presentan una alta susceptibilidad a la removilización por gravedad y por la acción del agua de escorrentía, configurando zonas potencialmente inestables que deben considerarse en la evaluación de amenaza por procesos de remoción en masa.

Figura 3-76 Unidades geológicas superficiales



Fuente: Elaboración propia

3.3.4 DEFINICIÓN DE UGIS

3.3.4.1 Suelo transportado aluvial (Stal)

La unidad geotécnica de suelo transportado aluvial (Stal) corresponde a los depósitos aluviales (Qal) de edad cuaternaria, acumulados por la acción de las corrientes hídricas en los cauces y zonas de inundación de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara. Presenta una distribución lineal asociada a los fondos de valle, configurando franjas estrechas y discontinuas a lo largo de los cauces principales.

Litológicamente se compone de fragmentos heterogéneos redondeados a subangulares de areniscas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas derivados de las formaciones del Grupo Guadalupe, embebidos en una matriz arenosa de grano fino a medio, con espesor variable y generalmente reducido por la estrechez de los valles.

Desde el punto de vista geotécnico, constituye un material suelto de baja cohesión, susceptible a socavación lateral y erosión por la acción continua de las corrientes, factores que contribuyen a la inestabilidad de las márgenes de las quebradas.

3.3.4.2 Suelo transportado coluvial (Stco)

La unidad geotécnica de suelo transportado coluvial (Stco) corresponde a los depósitos coluviales (Qdlc) de edad cuaternaria, originados por procesos de transporte gravitacional y de ladera a partir de la meteorización y desprendimiento de las rocas del Grupo Guadalupe que afloran en las partes altas del área de estudio. Se distribuyen ampliamente sobre el flanco occidental, al pie de las laderas del Anticlinal de Bogotá y en el sector de la Falla de Usaquén.

Litológicamente están compuestos por fragmentos angulares a subangulares de areniscas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas de tamaños heterométricos, embebidos en una matriz areno-arcillosa producto de la meteorización in situ, con espesor variable y baja selección granulométrica que refleja el carácter caótico del transporte gravitacional.

Desde el punto de vista geotécnico, estos materiales presentan cohesión baja a media y permeabilidad variable, condiciones que ante eventos de precipitación intensa pueden favorecer la saturación del depósito y la reactivación de movimientos en masa de tipo reptación o deslizamientos superficiales en los sectores de mayor pendiente.

3.3.4.3 Suelo transportado de flujo de detritos (Stfd)

La unidad geotécnica de suelo transportado de flujo de detritos (Stfd) corresponde al material no consolidado movilizado por procesos de remoción en masa de tipo flujo de detritos, en los cuales se desplaza gravitacionalmente una mezcla de fragmentos rocosos, suelo y agua canalizada por los drenajes naturales. El material está compuesto por suelos residuales arenosos y clastos de la formación donde se genera el movimiento, con baja selección granulométrica y disposición caótica propia del transporte gravitacional.

Estos flujos de detritos se desarrollaron principalmente sobre suelos residuales dispuestos en condición de contrapendiente estructural, la mayoría durante el año 2023, tal como se documentó en la estación E22 sobre el sendero Santa Ana – La Aguadora, donde el proceso movilizó suelo y clastos de la Formación Arenisca Dura a lo largo de aproximadamente 70

m de longitud y entre 10 y 15 m de ancho.

Desde el punto de vista geotécnico, estos depósitos presentan cohesión baja, elevada permeabilidad y estructura suelta, condiciones que ante eventos de precipitación intensa favorecen la saturación del material y la reactivación del movimiento, configurando zonas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

3.3.4.4 Suelo transportado de flujo de tierras (Stft)

La unidad geotécnica de suelo transportado de flujo de tierras (Stft) corresponde al material no consolidado movilizado y depositado por el proceso de remoción en masa de tipo flujo de tierras documentado como el principal evento morfodinámico del área de estudio. Esta unidad se extiende desde la zona de arranque en la parte alta de la ladera hasta la zona de acumulación en los sectores bajos, siguiendo el cauce de la quebrada que sirvió como canal de tránsito.

El material constitutivo fue caracterizado en múltiples estaciones de campo, en la estación E2, ubicada dentro del cuerpo del flujo, el material corresponde a un suelo arenoso de grano fino a muy fino, de color café a negro, no plástico, con compacidad media y humedad media, con valores de penetrómetro de bolsillo de 0,8, 0,8 y 0,9 MPa.

En la zona media del flujo (estación E3), se evidencia la destrucción total de las obras de canalización y control de aguas previamente dispuestas, donde actualmente dos afluentes convergen generando un drenaje continuo y activo que ejerce socavación progresiva sobre la parte central del depósito. El encauzamiento del material movilizado a través del drenaje natural preexistente confirma el control que ejerce la red de drenaje sobre la dinámica y dirección de los procesos de remoción en masa en esta ladera.

En las estaciones E10 y E11 se confirmó la extensión y composición del depósito; en la estación E11, ubicada en el margen del flujo, se identificó claramente el contacto entre el material movilizado y la roca parental, confirmando que el flujo utilizó los planos de estratificación como superficie de desplazamiento preferencial. En la estación E10, aguas abajo de la carretera, se distinguen las zonas del flujo con clastos incorporados de las laderas adyacentes que contienen únicamente material arenoso fino de color café sin clastos.

3.3.4.5 Suelo transportado de talus (Stt)

La unidad geotécnica de suelo transportado de talus (Stt) corresponde a los depósitos de talus o de derrubios (Qdlt) de edad cuaternaria, formados por la caída y rodamiento gravitacional de bloques y fragmentos rocosos desprendidos de los frentes y escarpes estructurales de las areniscas del Grupo Guadalupe. Se identifican de manera localizada al pie de los escarpes rocosos, conformando acumulaciones de pendiente al pie de las laderas más abruptas.

Litológicamente se componen predominantemente de bloques y gravas angulares de areniscas cuarzosas de tamaños variables, con escasa o nula matriz fina, lo que les confiere una elevada permeabilidad y una estructura abierta y suelta.

Desde el punto de vista geotécnico, por su carácter no cohesivo y su disposición en pendientes pronunciadas, estos depósitos presentan una alta susceptibilidad a la removilización por gravedad y por la acción del agua de escorrentía, configurando zonas potencialmente inestables que deben considerarse en la evaluación de amenaza por procesos de remoción en masa.

3.3.4.6 Suelo residual sobre roca blanda de Labor grado III (Sr/Rbl III)

La unidad geotécnica de suelo residual sobre roca blanda de Labor grado III (Sr/Rbl III) corresponde al horizonte de meteorización desarrollado sobre la Formación Labor (Ksgl), en el cual la roca parental ha sido transformada en un material de tipo suelo. Agrupa el perfil de suelo residual desarrollado sobre esta formación, desde el horizonte que aún conserva fragmentos relictos de la roca original sin meteorizar completamente (grado V) hasta el horizonte de máxima meteorización sin evidencia de fragmentos reconocibles (grado VI).

Esta unidad fue caracterizada en la estación E8, donde el material corresponde a una arena fina de color amarillo, composición cuarzo-feldespática, no plástica, de compacidad media y contenido de humedad alto. Se distingue por la presencia de fragmentos de la roca parental que no se han terminado de meteorizar, rasgo diagnóstico del grado V de alteración. El ensayo de penetrómetro de bolsillo arrojó valores de 1 MPa o superiores, indicando una resistencia moderada del material.

Sin embargo, a pesar de esta resistencia aparente, el material exhibe una cohesión interna

muy baja, dada en su tendencia a disgregarse con facilidad ante esfuerzos mecánicos y en su incapacidad de recuperar la forma original tras la deformación. Se observa una mejora progresiva en las propiedades geomecánicas en profundidad, evidenciando la transición hacia la roca de mejor calidad subyacente.

En la estación E9, hacia el sector NE del área de estudio, se documentó el horizonte de grado VI, correspondiente a un suelo arenoso de color café y grano fino, sin fragmentos reconocibles de la roca parental, con valores de penetrómetro de bolsillo de 0,4, 0,4 y 0,3 MPa, sensiblemente inferiores a los del grado V (superiores a 1 MPa). Desde el punto de vista geotécnico, esta unidad presenta resistencia moderada a baja y cohesión reducida que decrece con el grado de meteorización, siendo el horizonte de grado VI el de menor resistencia del perfil; en conjunto es susceptible a procesos de erosión superficial, saturación y generación de superficies de falla.

3.3.4.7 Suelo residual sobre roca blanda Plaeners (Sr/Rbp)

La unidad geotécnica de suelo residual sobre Formación Plaeners (Sr/Rbp) corresponde al horizonte de meteorización desarrollado sobre la Formación Plaeners (Ksgp), en el cual las liditas, limolitas y arcillolitas silíceas de la formación han sido transformadas en un suelo residual arcilloso. Litológicamente se compone de suelos arcillosos de coloración café muy oscura a negruzca, de alta plasticidad, con espesores que varían entre 0,5 y 2 m, sobre los cuales pueden reconocerse afloramientos remanentes de la roca parental intensamente fracturada.

Esta unidad fue caracterizada en las estaciones E19 y E20, localizadas en el sector del sendero Santa Ana – La Aguadora. En la estación E19, ubicada en el mirador del sendero, se identificaron suelos arcillosos de coloración café muy oscura a negruzca, muy plásticos, producto de la meteorización de la Formación Plaeners, con espesores de 1 a 2 m. En la estación E20, en la parte alta del sendero, se reconocieron liditas intensamente fracturadas de la Formación cubiertas por una delgada capa de suelo arcilloso de aproximadamente 50 cm, junto con suelos residuales de grado IV y V de poco espesor; se estimó un índice GSI de 40, con dato estratigráfico de 41/238 y valores de rebote R (martillo de Schmidt) de 8, 12 y 10, consistentes con la baja competencia mecánica de la unidad.

Desde el punto de vista geotécnico, la unidad Sr/Rbp representa una unidad crítica dentro

del área de estudio debido a su comportamiento plástico, baja resistencia mecánica y alta susceptibilidad a la degradación. Ante condiciones de saturación, estos suelos residuales arcillosos pueden desarrollar superficies de falla y favorecer la generación de movimientos en masa, particularmente en los sectores donde los estratos buzan a favor de la pendiente topográfica.

3.3.4.8 Suelo residual sobre roca dura - Arenisca Dura (Sr/Rdd)

La unidad geotécnica de suelo residual sobre Arenisca Dura (Sr/Rdd) corresponde al horizonte de meteorización desarrollado sobre el macizo rocoso de la Formación Arenisca Dura (Ksgd), unidad estratigráficamente más antigua del Grupo Guadalupe identificada en el área de estudio. Los afloramientos de roca dura de esta Formación no cumplen los parámetros de extensión y continuidad requeridos para ser cartografiados como una unidad independiente, por lo que se agrupan bajo el suelo residual que los recubre. Litológicamente el material corresponde a un suelo arenoso de grano medio a grueso, de coloración amarillo blancuzco, no plástico y sin humedad, derivado de la meteorización in situ de las areniscas cuarzosas subyacentes.

Esta unidad fue caracterizada en las estaciones E21 y E24. En la estación E21 se identificó el macizo de Arenisca Dura competente (grado II, GSI entre 60 y 70) que constituye la roca parental, mientras que en la estación E24 se documentó el suelo residual desarrollado sobre dicha formación, con grado de meteorización IV a V, compacidad media en superficie y dura pocos centímetros hacia el interior.

Desde el punto de vista geotécnico, este suelo residual presenta baja cohesión y una alta susceptibilidad a la erosión por escorrentía, condición acentuada en los sectores desprovistos de cobertura vegetal, donde la ausencia de raíces y la acidificación del suelo asociada a las plantaciones de pino reducen la retención de humedad y favorecen los procesos de remoción en masa.

3.3.4.9 Roca blanda de Labor de grado IV (Rbl IV)

La unidad geotécnica de roca blanda de Labor de grado IV (Rbl IV) corresponde a los sectores del macizo rocoso de la Formación Labor (Ksgl) que presentan un avanzado grado de meteorización y condiciones geomecánicas desfavorables. Litológicamente se compone de areniscas cuarzosas de grano fino con un alto grado de alteración, donde la roca

conserva parcialmente su fábrica original, pero ha perdido gran parte de su resistencia mecánica.

Esta unidad fue identificada en las estaciones E4 y E5. En la estación E4, la zona superior del afloramiento, donde el macizo presenta un espaciamiento entre familias de diaclasas de aproximadamente 4 cm, lo que genera bloques de pequeñas dimensiones y una estructura intensamente fracturada. con un índice GSI de 25, indicativo de un macizo de calidad geomecánica muy baja con resistencia reducida. En la estación E5, correspondiente a la zona de arranque del flujo de tierras, se observa el afloramiento de la roca en la superficie de desprendimiento, cuya estratificación presenta un buzamiento a favor de la pendiente y evidencia un avanzado grado de meteorización que facilitó el desprendimiento del material suprayacente. El fracturamiento facilita la infiltración del agua y acelera los procesos de degradación del material, promoviendo la transición progresiva hacia suelo residual.

Desde el punto de vista geotécnico, esta unidad representa una zona de transición entre la roca competente (grado III – II) y el suelo residual suprayacente (grado V). Su baja resistencia mecánica, alta fracturación y susceptibilidad a la degradación por agentes meteóricos la convierten en una unidad crítica para la estabilidad de las laderas, particularmente en los sectores donde la estratificación buza a favor de la pendiente topográfica.

3.3.4.10 Roca blanda de Tierna de grado III (Rbt III)

La unidad geotécnica de roca blanda de tierna de grado III (Rbt III) corresponde a los sectores del macizo rocoso de la Formación Tierna (Ksgt) que, pese a presentar compacidad dura, exhiben baja competencia mecánica por su escasa cementación y alta friabilidad. Litológicamente se compone de cuarzoarenitas de coloración blancuzca a naranja, deleznables con la mano, con intercalaciones de areniscas ferruginosas de color amarillo rojizo a rojizo cuya cementación con óxidos de hierro es variable.

Esta unidad fue caracterizada en las estaciones E14 y E15. En la estación E14 se identificó una cuarzoarenisca de compacidad dura pero muy deleznable, con un índice GSI de 70 y valores de rebote R (martillo de Schmidt) del orden de 10 a 15, con desarrollo superficial de saprolito de grado IV. En la estación E15 se reconocieron areniscas ferruginosas de

compacidad muy dura clasificadas como roca III – II, con un GSI entre 55 y 65, dispuestas tanto en pendiente estructural como en contrapendiente.

Desde el punto de vista geotécnico, los valores de rebote obtenidos representan la condición superficial del macizo, más meteorizada por la exposición; sus propiedades geomecánicas mejoran en profundidad. Su baja cementación y alta friabilidad la hacen susceptible a la disgregación y a la erosión superficial en las zonas de mayor exposición.

3.3.4.11 Roca dura de Labor de grado III – II (Rdl III – II)

La unidad geotécnica de roca dura de Labor de grado III – II (Rdl III – II) corresponde a los sectores del macizo rocoso de la Formación Labor y Tierna (Ksglt) que presentan las mejores condiciones geomecánicas dentro del área de estudio. Se compone de areniscas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas de grano fino, con coloración gris clara a amarilla pálida, alta madurez mineralógica y buena cementación.

En campo, en la estación E11, ubicada en el margen del flujo de tierras, se observó el contacto entre el material movilizado y la roca parental, confirmando la competencia mecánica de esta unidad como sustrato resistente frente a los procesos de remoción en masa.

El perfil de meteorización de esta unidad indica una roca con grado de alteración III (moderadamente meteorizada) a II (ligeramente meteorizada), conservando en gran medida la fábrica y estructura original del macizo, con resistencia mecánica significativa y discontinuidades bien definidas, pero de apertura limitada. Desde el punto de vista geotécnico, esta unidad constituye el sustrato competente del área y actúa como base de apoyo para las unidades suprayacentes de mayor grado de meteorización.

3.3.4.12 Roca dura de Labor de grado II (Rdl II)

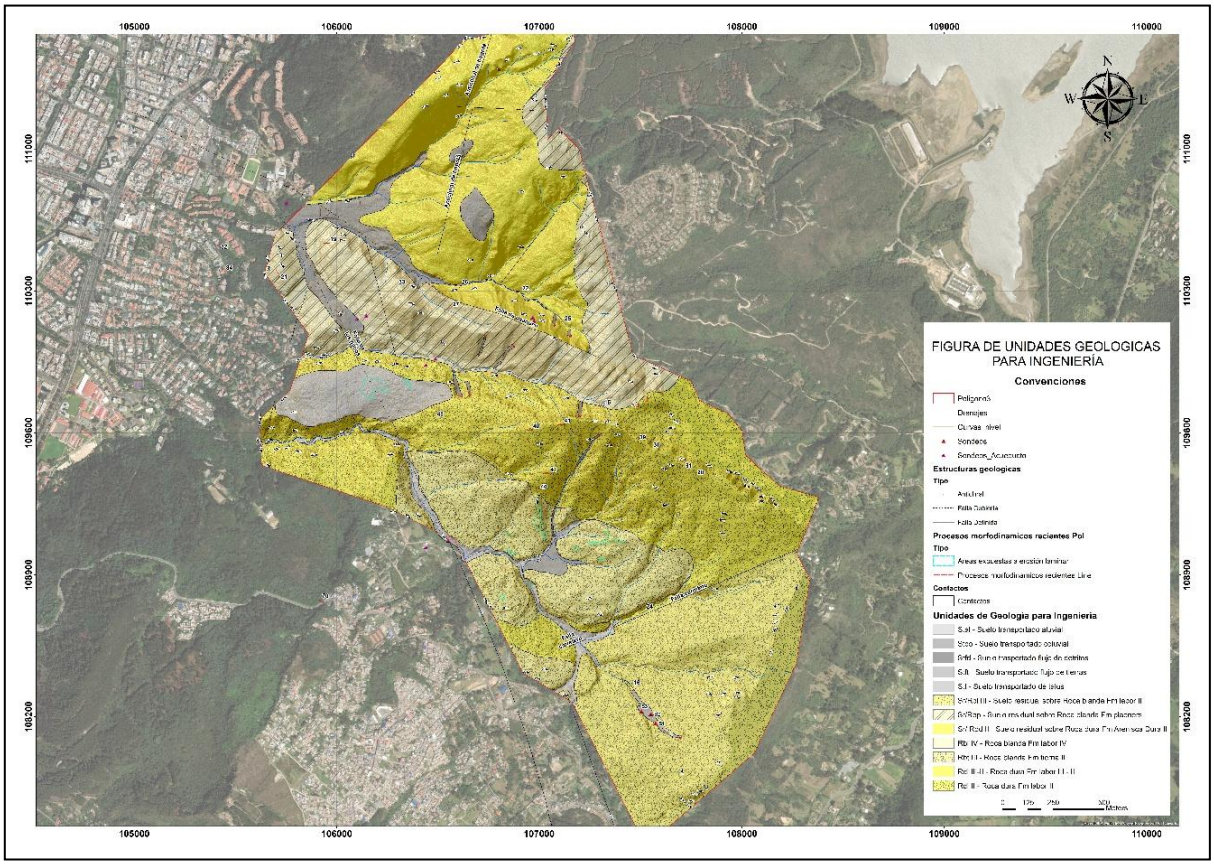
La unidad geotécnica de roca dura de Labor de grado II (Rdl II) corresponde a los sectores del macizo rocoso de la Formación Labor (Ksgl) que presentan el menor grado de meteorización y las mejores condiciones geomecánicas dentro del área de estudio. Litológicamente se compone de cuarzoarenitas de grano medio, de color blanco a amarillo hueso, muy bien cementadas, con alta dureza y ausencia de humedad y plasticidad.

Esta unidad fue identificada en la estación E16 y sus puntos de control, donde la Formación

Labor aflora como cuarzoarenitas duras de coloración blanca a amarillo hueso en la roca sana y anaranjada en las zonas meteorizadas, sin humedad ni plasticidad y bien cementadas. En los puntos de control 9 y 10 se documentó roca dura de grado II con datos estratigráficos de 31/198 y valores de rebote R (martillo de Schmidt) de 21 y 25, confirmando su alta competencia mecánica.

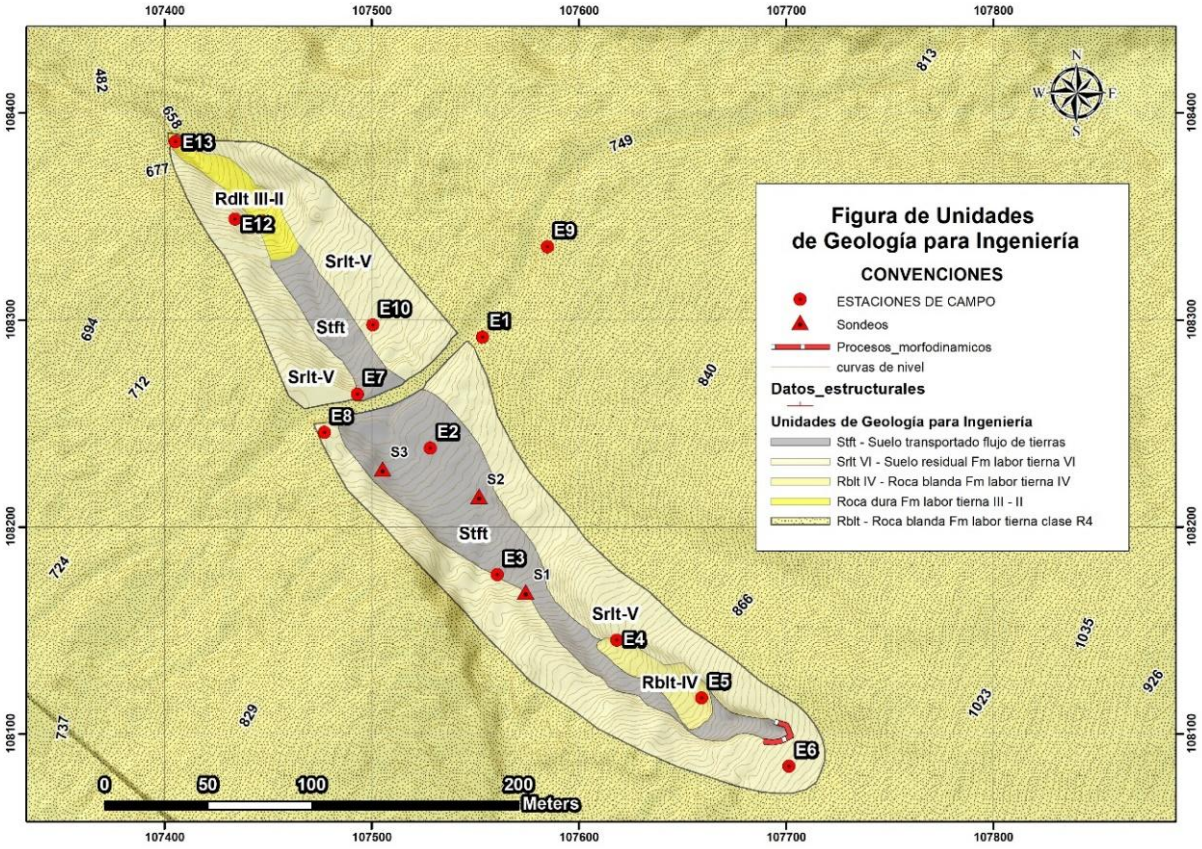
Desde el punto de vista geotécnico, la unidad Rdl II constituye el sustrato más competente del sector, con alta resistencia mecánica y baja susceptibilidad a la meteorización, actuando como base de apoyo resistente para las unidades suprayacentes de mayor grado de alteración.

Figura 3-77 Figura de UGI



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-78 Figura de UGI flujo



Fuente: Elaboración propia

3.3.5 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

3.3.5.1 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 3-10 Relación de fotografías aéreas e imágenes satelitales

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	2015	Resolución 7 m
Ortofotografía / IGAC	No aplica	2020	Resolución 7 m
Imagen satelital ESRI	-	2026	-

Fuente: Elaboración propia

3.3.5.1.1 Fotografías Aéreas

Fotografía aérea vuelo C-2183

La fotografía correspondiente al vuelo C-2183-0155 del año 1985, posee alta densidad de nubes, sin embargo, permite identificar un sistema caracterizado principalmente por un sistema montañoso fuertemente disectado y con una marcada heterogeneidad en las formas del terreno.

En el área de interés (poligono3) se observan laderas de pendiente moderada a alta, asociadas a procesos denudaciones intensos, evidenciados por la presencia de superficies irregulares, cambios abruptos de textura y patrones de drenaje bien desarrollados.

La fotografía sugiere un ambiente dominado por procesos erosivos activos, con una fuerte influencia fluvial.

Los drenajes observables presentan un patrón predominantemente dendrítico, adaptado a las condiciones topográficas del macizo, con cauces que inciden profundamente las laderas y generan valles estrechos y alargados. En varios sectores se observan alineamientos lineales y franjas de vegetación más densa siguiendo las quebradas, lo cual indica zonas de concentración de humedad y erosión fluvial activa. Los cauces parecen controlar parcialmente la dinámica geomorfológica local, favoreciendo procesos de socavación y remoción en masa en los taludes adyacentes.

Por otro lado, las diferencias tonales permiten inferir contrastes tanto en cobertura vegetal como en propiedades superficiales de los materiales. Las tonalidades más oscuras corresponden posiblemente a áreas con mayor densidad de vegetación o mayor humedad superficial, mientras que las zonas claras podrían relacionarse con afloramientos rocosos, superficies erosionadas o depósitos con baja cobertura.

No se logra observar con claridad la vía principal que recorre el polígono en dirección este-oeste debido a la gran cobertura de nubes, sin embargo, se logra observar los cortes de la carretera delimitando el talud de corte.

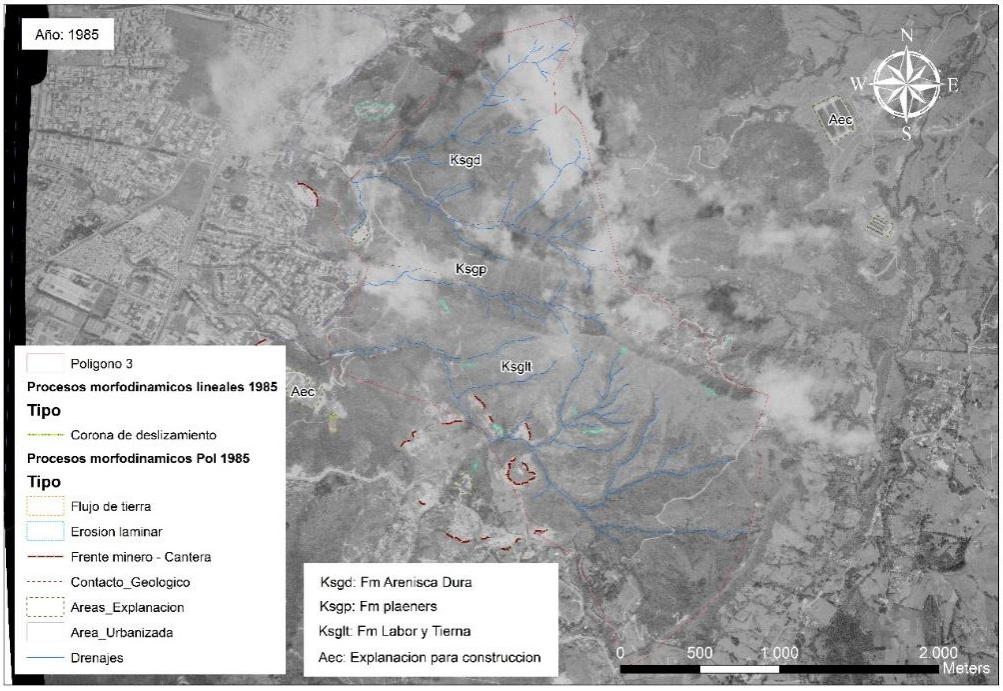
Por último, se observa el casco urbano de la ciudad de Bogotá al este del área de interés junto con gran incidencia de actividad antrópica como canteras de explotación de minerales arenosos y arcillosos para construcción y zonas de explanación para obras civiles e ingenieriles.

En relación con los frentes mineros observados hacia el centro de la fotografía, en el sector donde actualmente se ubica el barrio San Luis de la localidad de Chapinero y en algunos sitios dentro del polígono se presentan, para 1985, algunas zonas con explotaciones principalmente de arenas de las formaciones Arenisca de Labor (Ksgl), Arenisca Tierna (Ksgt) y Arenisca Dura (Ksgd). Estas labores extractivas, de carácter mayoritariamente artesanal y de baja tecnificación, dejaron frentes de explotación a cielo abierto, taludes desprotegidos y una marcada alteración del relieve original.

De manera general, se identifican pequeñas áreas afectadas por erosión laminar, asociadas a la remoción superficial del suelo y a la escasa cobertura vegetal principalmente sobre la

formación Labor y Tierna. Adicionalmente, hacia el suroeste de la fotografía se observa un deslizamiento de tierras, evidencia de la inestabilidad de las laderas y de los procesos de remoción en masa activos en el área de interés.

Figura 3-79 Fotointerpretación 1985



Fuente: Elaboración propia

Fotografía Aérea Vuelo R-1183

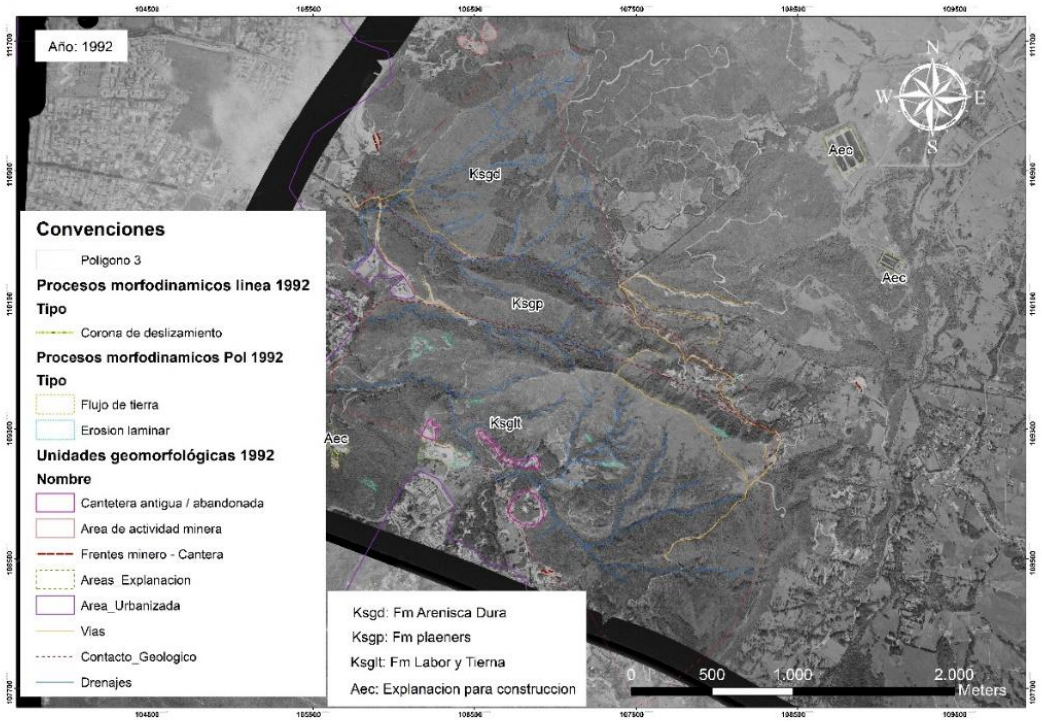
La fotografía aérea correspondiente al vuelo R-1183-0390 permite identificar con mayor claridad el incremento en la densidad de la infraestructura vial dentro del área de estudio, evidenciando una expansión significativa de las vías de acceso y corredores de conectividad interna. Este desarrollo antrópico refleja un proceso progresivo de ocupación y transformación territorial, asociado al aumento de actividades urbanas y extractivas en el sector.

Adicionalmente, mediante el análisis multitemporal de la imagen se reconoce la aparición y ampliación de nuevas zonas destinadas a la explotación minera y extracción de materiales de construcción, las cuales se manifiestan por medio de superficies desnudas, cambios

abruptos en la textura del terreno y modificaciones geomorfológicas locales relacionados con cortes, terrazas y remoción de cobertura superficial. Estas intervenciones han generado alteraciones importantes en la dinámica natural del relieve y en la configuración paisajística del área, estas alteraciones se delimitaron en polígonos llamados “canteras antiguas / abandonadas”.

De igual manera, sectores que en registros fotográficos anteriores correspondían a explanaciones o superficies acondicionadas para futuros procesos constructivos, actualmente presentan consolidación de áreas urbanizadas, caracterizadas por una mayor densidad de edificaciones, parcelaciones y ampliación de la malla vial secundaria. Este cambio de uso del suelo evidencia un avance sostenido de la expansión urbana sobre zonas previamente intervenidas, modificando de forma significativa las condiciones geomorfológicas y ambientales originales del terreno.

Figura 3-80 Fotointerpretación 1992



Fuente: Elaboración propia

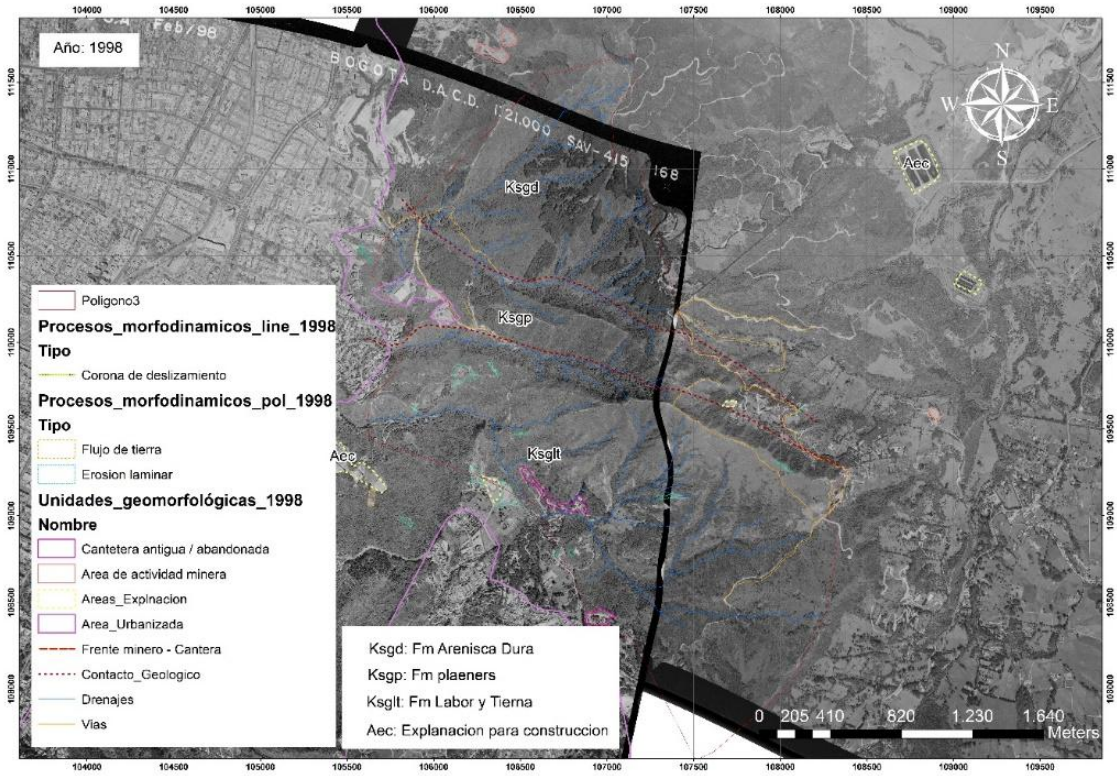
Fotografía Aéreas Vuelo SAV-415

En las fotografías 0168 y 0170 del vuelo SAV-415 del año 1998 se evidencia la presencia de vegetación alrededor de los drenajes intermitentes y flujos superficiales desarrollados sobre antiguos drenajes disectados. Estos procesos reflejan la baja cohesión y la alta susceptibilidad a la erosión de los suelos residuales derivados de la Formación Arena Dura, generando un ambiente fructífero para la proliferación de la capa orgánica vegetal, dichos presentan un comportamiento geotécnico desfavorable frente a procesos de meteorización y saturación hídrica.

Por otra parte, las fotografías permiten identificar un marcado proceso de expansión urbana asociado al crecimiento del barrio San Luis, evidenciado por el aumento de áreas intervenidas y la modificación antrópica del relieve.

Dentro del polígono de estudio únicamente se identificaron procesos morfodinámicos asociados a áreas propensas a erosión laminar, como zonas con poca cobertura vegetal y suelos poco desarrollados. Al sur del polígono se observa un paisaje marcado por el abandono de una cantera de arenas, el cual deja ver un suelo con algunas zonas cubiertas de vegetación, y al norte fuera del polígono se identifican unas canteras activas.

Figura 3-81 Fotointerpretación 1998



Fuente: Elaboración propia

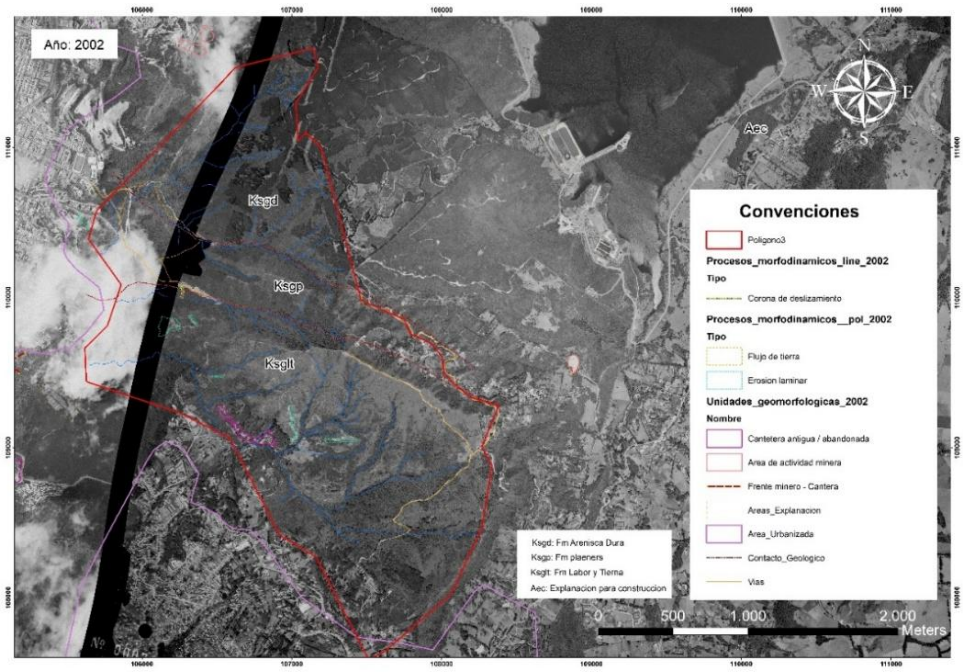
Fotografía Aéreas Vuelo C-2673

Para el año 2002, las condiciones atmosféricas y la alta cobertura nubosa presentes durante la adquisición de las fotografías aéreas limitaron significativamente la visibilidad y calidad de la información fotogeológica en la zona de interés. Estas condiciones impidieron identificar con claridad rasgos geomorfológicos, estructuras de drenaje y posibles procesos de inestabilidad asociados al terreno, dificultando el desarrollo de una fotointerpretación detallada y confiable.

No obstante, hacia el sector inferior derecho de la fotografía aérea se alcanza a evidenciar el proceso de expansión urbana del barrio Los Patios, reflejado en el incremento de áreas intervenidas y la consolidación de nuevas zonas habitacionales. Fuera de este aspecto, la presencia de nubosidad y las limitaciones de contraste tonal hacen inviable efectuar una interpretación geomorfológica y geológica precisa del resto del área analizada.

Dentro del área de estudio de identificaron dos procesos morfodinámicos activos para esta época, el primero se presenta en la zona del club la aguadora donde se originó un deslizamiento de tipo flujo de tierras, el segundo se asocia a la continuidad de las áreas expuestas a la erosión laminar que se mantienen a lo largo de los años.

Figura 3-82 Fotointerpretación 2002



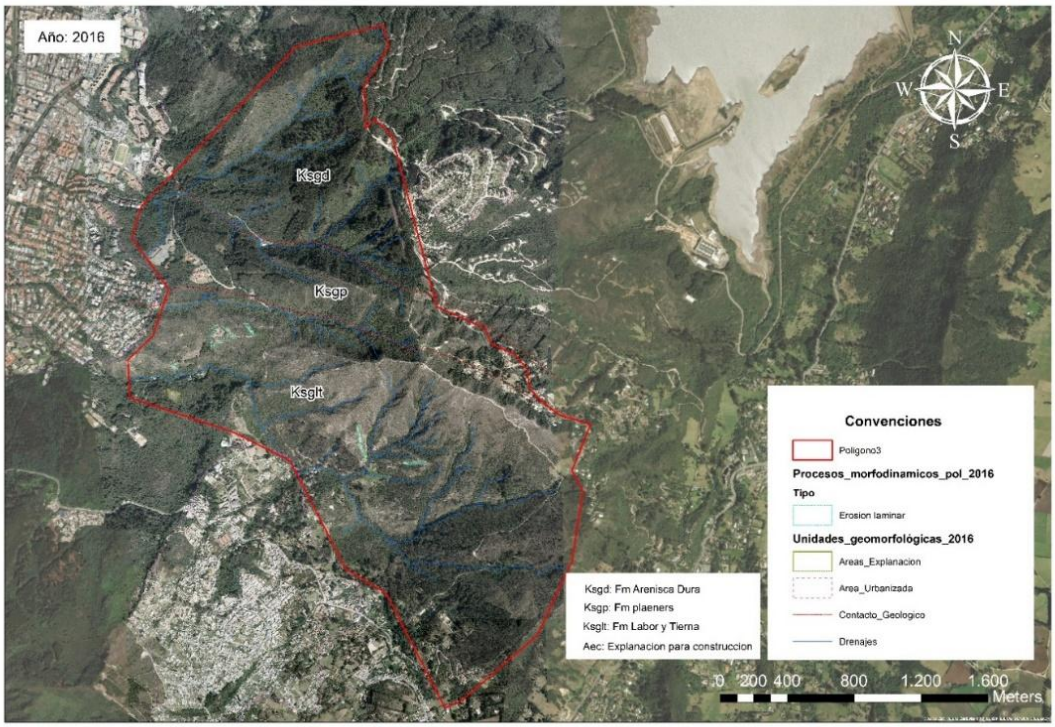
Fuente: Elaboración propia

Ortofotografía año 2016

Para el año 2016, únicamente se observan procesos de erosión laminar que se mantienen a lo largo de los años y un constante crecimiento urbano.

Hacia los bordes occidental y suroriental del polígono se evidencia la expansión urbana progresiva, representada por el incremento de áreas construidas y vías de acceso que modifican la morfología natural del terreno. Estas intervenciones antrópicas han generado cambios en los patrones naturales de drenaje y cortes sobre las laderas, incrementando la susceptibilidad a procesos erosivos y movimientos en masa. Asimismo, se observan áreas posiblemente asociadas a antiguas explotaciones de materiales o zonas de remoción de cobertura vegetal, las cuales contribuyen a la degradación geomorfológica del sector.

Figura 3-83 Fotointerpretación 2016



Fuente: Elaboración propia

Ortofotografía año 2024

En la ortofotografía del año 2024 se identifican varios procesos de movimientos en masa ocurridos entre agosto de 2023 y agosto de 2024. Estos movimientos son principalmente de dos tipos. Los flujos de tierras se presentan preferentemente en suelos desarrollados cuya pendiente está a favor del buzamiento de las rocas, lo que ocasiona que, por saturación y pérdida de resistencia al corte, fallen a lo largo del plano de estratificación de las rocas más competentes; estos flujos se presentan sobre las formaciones Labor y Plaeners. Por su parte, los flujos de detritos ocurren en su mayoría en contrapendiente estructural, por desprendimiento de la capa de suelos residuales que a su vez transportan clastos provenientes del macizo rocoso más superficial y meteorizado; este tipo de flujos se presenta sobre las formaciones Arenisca Dura, Labor y Plaeners.

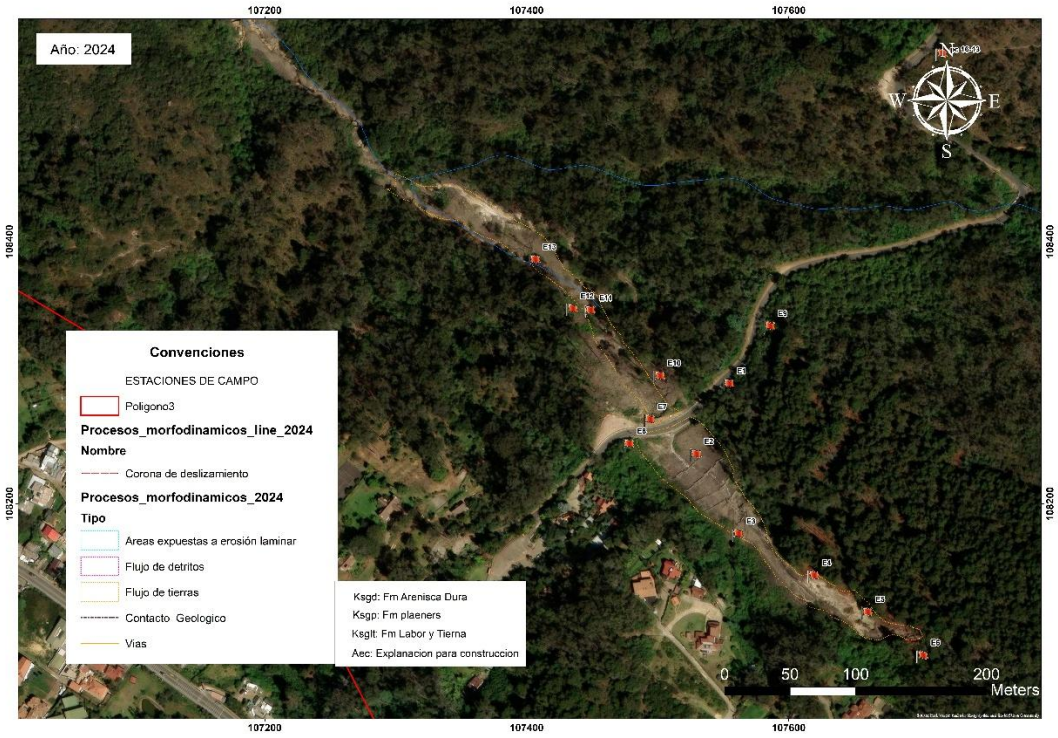
Para esa época se contabilizan 12 movimientos en masa presentes en el Polígono 3 , uno de ellos también afectó parte del sendero Santa Ana – La aguadora, el cual se presenta en

el capítulo de identificación de procesos de remoción en masa.

Los flujos más representativos del año se presentan a continuación:

El primer flujo, de tierras, tuvo una extensión de más de 500 m de longitud y hasta 50 m de ancho en algunas zonas. Este movimiento transportó el suelo residual de la formación Labor en dirección este–oeste, sobre el plano de estratificación de las rocas más competentes.

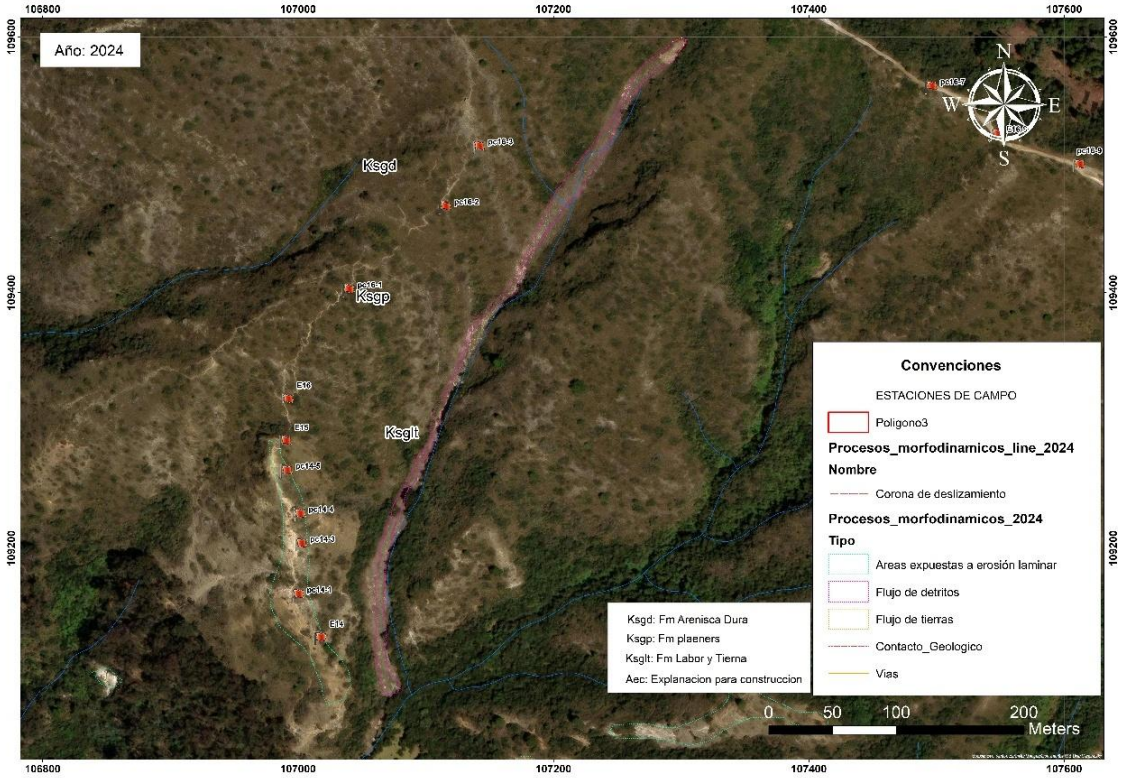
Figura 3-84 Flujo de tierras principal



Fuente: Elaboración propia

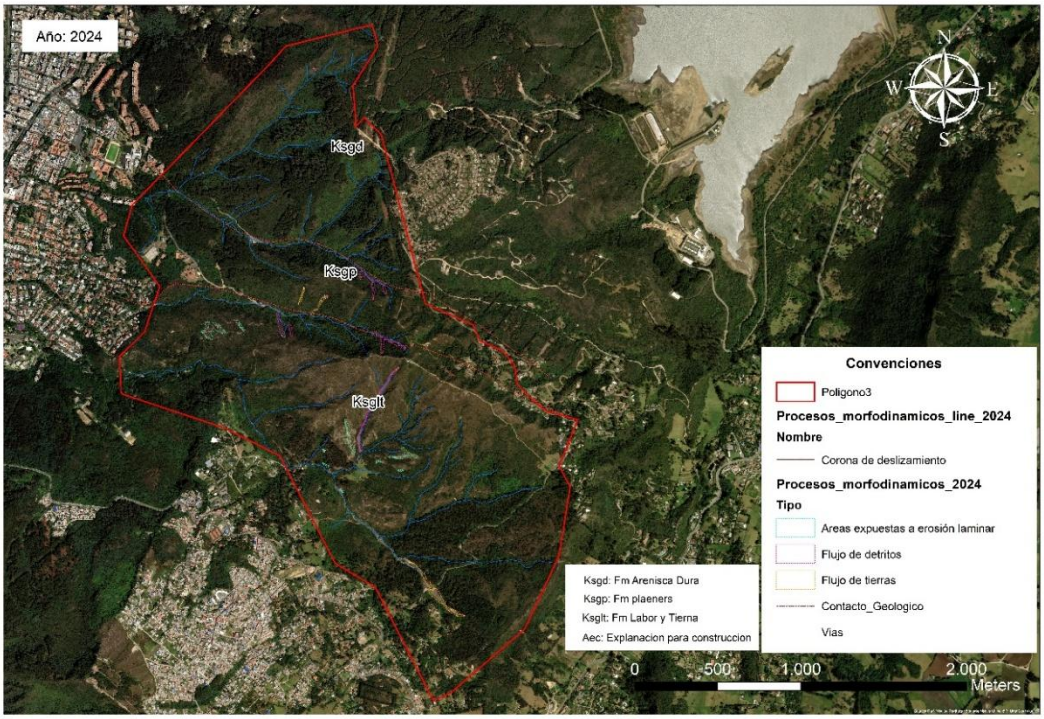
El flujo de detritos se localiza hacia la zona centro–este del polígono y tiene una extensión de aproximadamente 500 m de longitud y un ancho de 20 a 30 m. Se origina por el deslizamiento de tipo planar del macizo rocoso en la corona, lo que desencadena el movimiento de la capa superficial de suelos y de los detritos producto del desprendimiento de roca.

Figura 3-85 Ortofotografía 2024



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-86 Fotointerpretación 2024



Fuente: Elaboración propia

3.3.5.2 Análisis morfométrica

El análisis del mapa de pendientes, elaborado conforme a la clasificación propuesta por Carvajal (2012), muestra que el área de estudio está predominantemente caracterizada por pendientes clasificadas como muy abruptas (21°–30°) y escarpadas (31°–45°), las cuales corresponden a las tonalidades naranjas que dominan la superficie del polígono evaluado. Esta distribución presenta una estrecha relación con el control estructural del relieve identificado durante la caracterización geomorfológica, donde predominan unidades de ladera abrupta asociadas a elevados gradientes topográficos. Dichas condiciones morfológicas se encuentran directamente influenciadas por la disposición estructural y el buzamiento de los estratos de la Formación Arena Tierna, los cuales condicionan la configuración del terreno y favorecen el desarrollo de laderas de alta inclinación.

En el sector sur del área de estudio predominan zonas afectadas por procesos erosivos y laderas denudacionales con pendientes clasificadas como muy inclinadas (11°–15°). Estas

geoformas son el resultado de la acción combinada de procesos de erosión fluvial sobre depósitos cuaternarios recientes y de la erosión eólica, los cuales han contribuido significativamente a la remodelación del relieve. Como consecuencia de esta dinámica geomorfológica, se ha desarrollado una pequeña superficie relativamente plana de carácter deposicional, interpretada como un remanente erosivo asociado a materiales de la Formación Labor y Tierna, preservado diferencialmente frente a los procesos de degradación que han actuado sobre el entorno circundante.

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

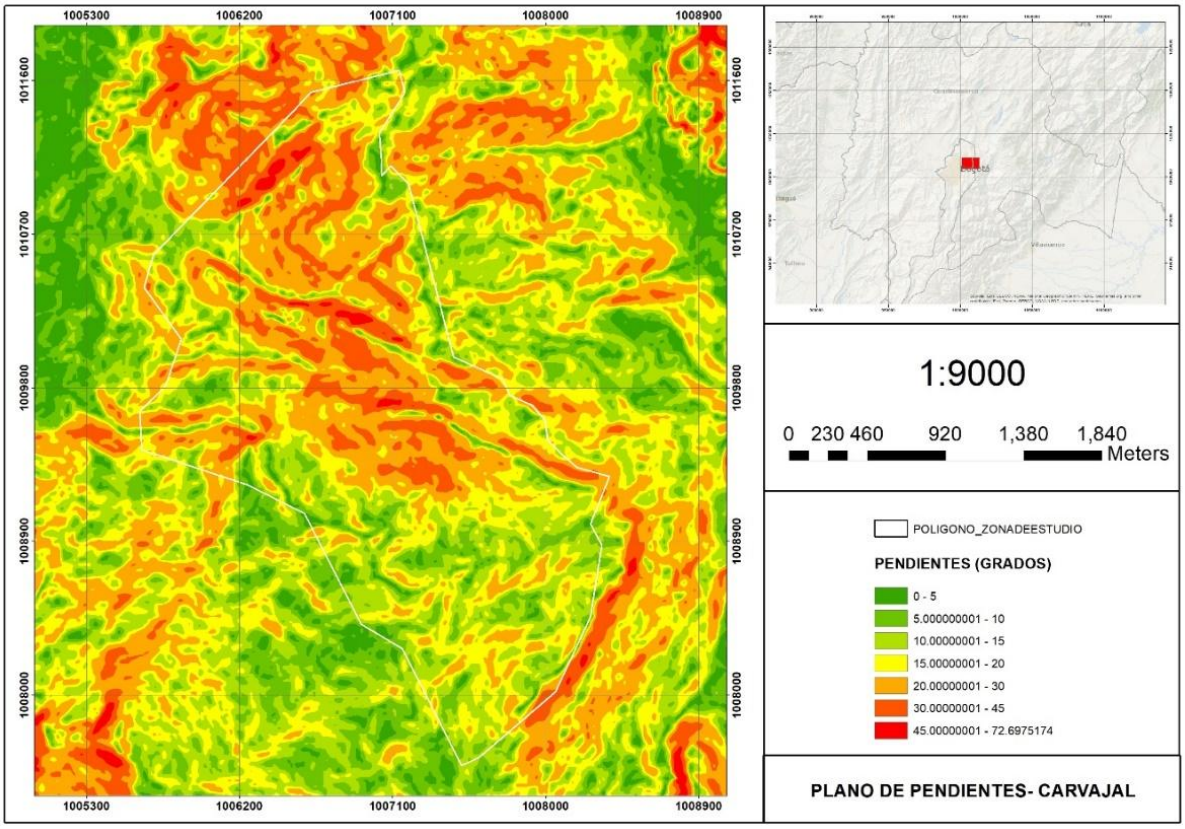
Desde el punto de vista de los depósitos antrópicos, solo es observable una pequeña área de explanación para construcción donde se edificó una pequeña urbanización con su respectiva red vial.

No obstante, dentro del área de estudio se identifica claramente la presencia de un flujo de lodo de origen gravitacional, cuyo desarrollo y trayectoria se encuentran controlados por la red de drenaje superficial. Este proceso de remoción en masa canalizado converge hacia el cauce principal, donde se evidencia la acumulación de un depósito de materiales transportados, conformando un pequeño cuerpo deposicional remanente. Sin embargo, dicha geoforma no presenta una expresión significativa en el mapa de pendientes, debido a que este producto cartográfico representa únicamente la distribución espacial de los gradientes topográficos y no refleja de manera directa los procesos morfodinámicos ni las formas deposicionales asociadas a eventos de transporte en masa.

En síntesis, el área de estudio presenta un relieve fuertemente controlado por factores estructurales y erosivos, predominando pendientes muy abruptas a escarpadas asociadas al buzamiento de los estratos de la Formación Labor y Tierna y al desarrollo de laderas de elevada inclinación. Las áreas de baja pendiente son escasas y se encuentran principalmente asociadas a la infraestructura vial y a pequeñas zonas intervenidas mediante explanación para desarrollo urbanístico. Adicionalmente, se reconoce la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos representados por un flujo de lodo canalizado por la red de drenaje, el cual ha generado depósitos localizados en el cauce principal. En conjunto, estas características evidencian una dinámica geomorfológica compleja, donde la

interacción entre la estructura geológica, los procesos erosivos y los movimientos en masa condiciona la evolución actual del paisaje.

Figura 3-87 Mapa de pendientes



Fuente: Elaboración propia

3.3.5.3 Cartografía geomorfológica

El análisis geomorfológico del área de estudio fue desarrollado mediante el levantamiento geomorfológico de detalle realizado en el municipio de **La Calera, Cundinamarca**, apoyado en la interpretación de modelos digitales de elevación, ortoimágenes e imágenes satelitales de alta resolución, complementados con la verificación y validación de campo. Este proceso permitió identificar, delimitar y caracterizar las diferentes unidades geomorfológicas presentes dentro del área evaluada, considerando sus características morfológicas, génesis y dinámica evolutiva. El sector se localiza en un ambiente de ladera con marcado control estructural, donde la interacción entre las condiciones geológicas, la acción de los

procesos denudacionales y la intervención antrópica han condicionado la configuración actual del relieve. Asimismo, se evidencian procesos morfodinámicos activos que influyen directamente en la estabilidad de las vertientes y en la evolución geomorfológica del paisaje. A continuación, se describen las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

3.3.5.3.1 Ladera en Pendiente Estructural (Sslp)

Corresponde a la unidad geomorfológica predominante dentro del área de estudio. Se encuentra conformada por laderas estructurales cuya configuración morfológica está fuertemente condicionada por la orientación y el buzamiento de los estratos geológicos. Estas vertientes exhiben pendientes que varían entre abruptas y muy abruptas, favoreciendo una alta energía del relieve y una mayor susceptibilidad a procesos de erosión y remoción en masa. Su distribución espacial el mayor porcentaje del polígono de estudio.

3.3.5.3.2 Escarpe y Frente Estructural (Sef)

Corresponden a escarpes estructurales desarrollados sobre los frentes de estratificación de las Formaciones Labor y Tierna y Plaeners, cuya génesis está directamente relacionada con el control litológico y estructural ejercido por la secuencia sedimentaria. Estas geoformas se caracterizan por presentar pendientes muy fuertes a subverticales, configurando abruptos cambios topográficos dentro del paisaje. En el área de estudio su desarrollo obedece principalmente a procesos de estructurales de fallamiento, donde los niveles litológicos con mayor resistencia mecánica permanecen en resalte, mientras que las capas menos competentes son removidas progresivamente por la acción de los agentes denudacionales.

3.3.5.3.3 Colinas residuales (Scr)

Corresponde a una unidad de origen denudacional conformada por elevaciones de morfología suave a moderada, con cimas redondeadas a subredondeadas y laderas cortas de pendiente baja a media, resultado de la denudación diferencial y del desgaste prolongado de los materiales rocosos del Grupo Guadalupe. Estas geoformas representan relieves residuales que han quedado en resalte tras la remoción progresiva de los materiales circundantes menos resistentes por acción de los procesos de meteorización y erosión.

Dentro del área de estudio se distribuyen de manera localizada, generalmente en los sectores de transición entre las laderas estructurales y las zonas de acumulación, donde el modelado denudacional ha atenuado la expresión morfológica del control estructural. Por su morfología suavizada y sus pendientes moderadas, presentan una susceptibilidad relativamente baja a los procesos de remoción en masa, aunque pueden verse afectadas por erosión superficial y reptación en los sectores de mayor pendiente.

3.3.5.3.4 Crestas redondeadas (Scre)

Corresponde a una unidad de origen estructural-denudacional constituida por crestas o filos alargados de cimas redondeadas, desarrolladas sobre los niveles litológicos más competentes de las formaciones del Grupo Guadalupe. Su morfología suavizada es producto de la acción prolongada de la meteorización y la erosión sobre las estructuras rocosas, que atenúa los rasgos angulares originales de los escarpes y frentes estructurales.

Estas geoformas se disponen siguiendo la orientación general de la estratificación y de las estructuras plegadas del sector, marcando los ejes de mayor resistencia del macizo rocoso. Dentro del área de estudio se localizan de manera restringida en las partes altas del relieve, donde configuran divisorias de aguas y límites morfológicos entre las distintas vertientes.

3.3.5.3.5 Ladera de Acumulación (Dla)

Corresponde a una superficie de acumulación desarrollada en la parte baja de las laderas, donde se depositan los materiales transportados por acción gravitacional y por la escorrentía superficial proveniente de las vertientes circundantes. Esta unidad se caracteriza por presentar pendientes suaves a moderadas, con una morfología cóncava a ligeramente irregular, producto de la superposición de depósitos coluviales y aluvio-coluviales de espesor variable. Los materiales constitutivos corresponden principalmente a suelos arenosos y areno-limosos derivados de la meteorización de las formaciones del Grupo Guadalupe, con presencia de fragmentos rocosos de diverso tamaño incorporados durante los procesos de transporte.

3.3.5.3.6 Vallecito en forma de V (Dva)

Corresponde a una geoforma de origen fluvial y denudacional caracterizada por un valle estrecho y profundo con sección transversal en forma de V, cuya morfología refleja el predominio de la incisión vertical del cauce sobre los procesos de ensanchamiento lateral.

Esta unidad se desarrolla a lo largo de los drenajes principales del área de estudio, particularmente en las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara, donde la acción erosiva concentrada de las corrientes hídricas ha generado cauces encajados con vertientes de pendiente fuerte a muy fuerte a ambos flancos. La configuración en V es indicativa de un estado juvenil del ciclo erosivo, con alta energía de relieve y capacidad de transporte de sedimentos, condiciones que favorecen la socavación lateral y de fondo del cauce, así como la desestabilización de las laderas adyacentes. En el contexto del área de estudio, estos vallecitos constituyen los corredores de drenaje por los cuales se canalizan tanto los flujos hídricos permanentes como los procesos de remoción en masa de tipo flujo, tal como se evidenció en el flujo de tierras documentado en la sección 4.3, el cual utilizó el cauce de la quebrada como canal de tránsito.

3.3.5.3.7 Flujo de tierras (Dft)

Corresponde a la unidad geomorfológica asociada al principal proceso de remoción en masa identificado dentro del área de estudio, clasificado como un flujo de tierras de origen gravitacional con control estructural y canalización por la red de drenaje. Esta geoforma comprende tres zonas morfológicamente diferenciables: la zona de arranque, la zona de tránsito y la zona de acumulación.

La zona de arranque se localiza en la parte alta de la ladera, donde se identificó una cicatriz de desprendimiento con dimensiones aproximadas de 6 m de altura y 17 m de ancho, con una corona de aproximadamente 3,5 m de altura. La superficie de ruptura expone la roca parental de la Formación Labor y Tierna, cuya estratificación buza a favor de la pendiente, configurando los planos de estratificación como superficies preferenciales de deslizamiento que facilitaron el desprendimiento y transporte del material suprayacente.

La zona de tránsito se extiende a lo largo del cauce de la quebrada, el cual fue aprovechado como canal de transporte del material movilizado. En esta zona se evidencia la destrucción total de las obras de canalización y control de aguas previamente dispuestas, con convergencia de dos afluentes que generan un drenaje continuo y activo con socavación progresiva sobre el cuerpo del depósito. La zona de acumulación se distribuye en los sectores bajos, donde el material transportado fue depositado conformando un cuerpo deposicional de suelo arenoso de grano fino a muy fino, de color café a negro, con presencia

de clastos de cuarzo-areniscas arrancados de la roca parental.

3.3.5.3.8 Flujo de detritos (Dfd)

Corresponde a la unidad geomorfológica asociada a los procesos de remoción en masa de tipo flujo de detritos identificados dentro del área de estudio, de origen gravitacional y desarrollados sobre suelos residuales dispuestos en condición de contrapendiente estructural. A diferencia del flujo de tierras principal, estos flujos movilizan una mezcla de suelo residual y clastos rocosos con mayor proporción de fragmentos gruesos, canalizada por los drenajes naturales de las laderas.

Esta geoforma fue reconocida desde la estación E14 y E16 como se presenta en la Figura 3-89 y la Figura 3-90 con un proceso de 500 m de longitud aproximadamente y en el sector del sendero Santa Ana – La Aguadora como se observa en la Figura 3-91, donde el proceso movilizó suelo y clastos de la Formación Arenisca Dura a lo largo de aproximadamente 70 m de longitud y entre 10 y 15 m de ancho, la mayoría durante el año 2023. Su distribución es localizada y se asocia a los sectores de suelo residual con baja cobertura vegetal, donde la pérdida de anclaje radicular favorece la saturación y la removilización del material ante eventos de precipitación intensa.

3.4 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

3.4.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

El análisis geomorfológico permitió reconocer varios procesos de remoción en masa dentro del área de estudio, agrupados en dos tipologías principales: flujos de tierra y flujos de detritos. El proceso más representativo corresponde a un flujo de tierras principal que afecta la infraestructura vial del sector, acompañado de otros flujos de tierra de menor extensión; adicionalmente se identificaron flujos de detritos desarrollados sobre suelos residuales en condición de contrapendiente estructural. Este proceso se desarrolla mediante el desplazamiento gravitacional de una mezcla de suelo y agua, canalizada a través de los drenajes naturales y con evidencias de acumulación de material en su zona de depósito.

3.4.1.1 Flujo de tierras

En la Estación E3 se estableció un punto de control y monitoreo orientado al seguimiento del principal proceso morfodinámico que representa una condición de amenaza para la infraestructura vial del sector.

El contexto geológico local está constituido por suelos residuales dispuestos sobre areniscas competentes con un grado de meteorización III, los materiales acumulados en la zona de depósito del flujo de tierras presentan condiciones de inestabilidad y evidencias de actividad superficial. Con el fin de incrementar la estabilidad del cuerpo del movimiento y reducir la posibilidad de reactivación, se implementaron estructuras de contención tipo empalizada de madera con funcionamiento similar al de pequeños gaviones, diseñadas para retener suelos movilizados, disminuir la energía de escorrentía superficial y favorecer la consolidación progresiva del depósito.

Figura 3-88 Flujo de tierras presente al sur este del Polígono 3 Estación 3



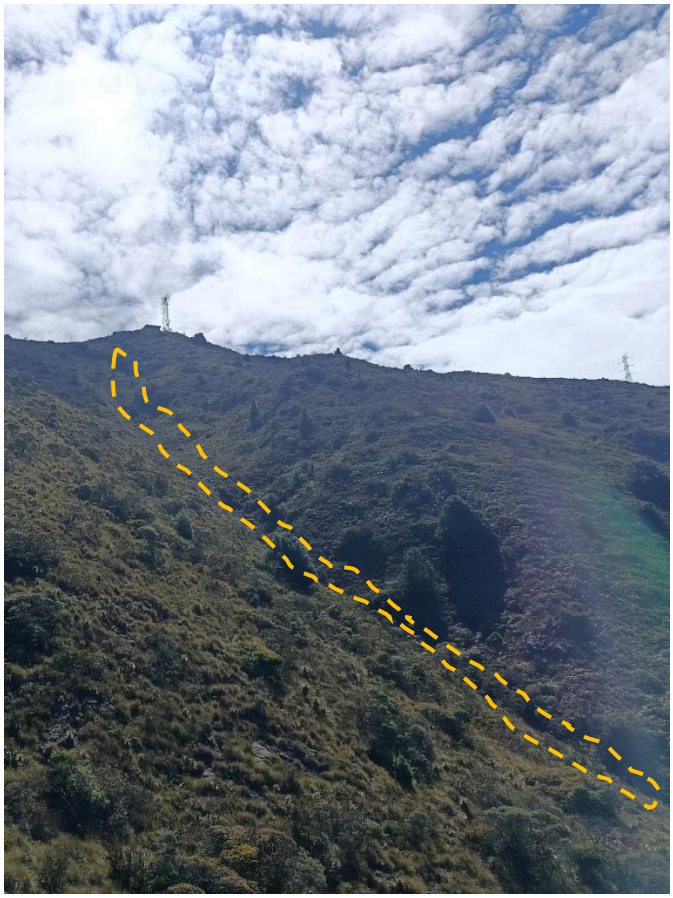
Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2 Flujo de detritos

Adicionalmente, a partir de la estación E14 se identificó un flujo de detritos originado por un deslizamiento de tipo planar desarrollado a lo largo de la superficie de estratificación, sobre rocas de la Formación Labor de grado II. La roca desprendida, junto con la delgada capa de suelo que la cubría, fue encauzada por el drenaje natural, configurando un movimiento de más de 500 m de longitud.

En la estación E22, se identifica otro flujo de detritos de aproximadamente 70 m de longitud, ocurre en contrapendiente estructural producto de la saturación y el desprendimiento del suelo residual el cual se transporta sobre el macizo rocoso, y por consiguiente también moviliza fragmentos de roca, este se encausó sobre el cauce de la quebrada Santa Ana en la parte alta, este flujo se presenta en la Figura 3-91.

Figura 3-89 Vista hacia el flujo Estación 14



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-90 Vista hacia la corona del flujo de detritos



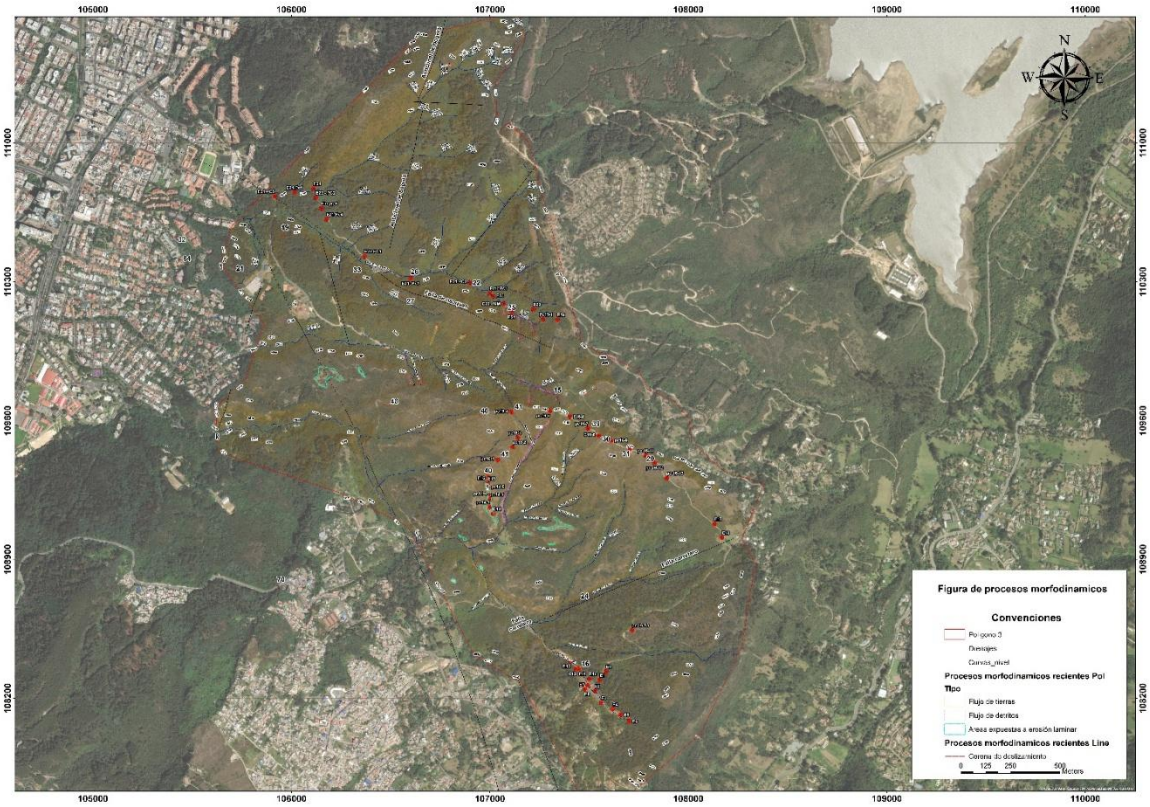
Fuente: Elaboración propia

Figura 3-91 Flujo de detritos Estación 22



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-92 Figura de procesos morfodinámicos recientes



Fuente: Elaboración propia

3.4.2 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA - INFORMACIÓN SECUNDARIA

La fase de recopilación y análisis de información secundaria constituye un pilar fundamental para la caracterización preliminar del medio físico en el Polígono 3. Esta etapa permitió identificar las condiciones geológicas y geotécnicas conocidas del área de estudio, lo cual optimizó la planificación de las campañas de campo y la exploración del subsuelo.

Para este propósito, se consultaron y procesaron fuentes de información provenientes tanto de acervos técnicos privados como de entidades oficiales. La integración de estos datos históricos proporciona un marco de referencia esencial para comprender la evolución del terreno y establecer una línea base comparativa para la evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa.

3.4.2.1 Base de datos JAM Ingeniería y Medio Ambiente

Esta fuente corresponde a una base de datos histórica y estructurada, consolidada a partir de la información técnica disponible de proyectos previos de consultoría e interventoría ejecutados por JAM Ingeniería en años anteriores.

Con el objetivo de lograr una caracterización robusta de las unidades geológicas identificadas en el Polígono 3, se llevó a cabo el procesamiento y análisis de múltiples tablas de resúmenes de ensayos de laboratorio. De este acervo se han extraído, a la fecha, aproximadamente 4000 registros de datos. Cada uno de estos registros corresponde a un punto de toma de muestras e incluye sus respectivos resultados de caracterización física y mecánica.

Para optimizar la extracción masiva de los registros y la consolidación de la base de datos, se implementó una herramienta de automatización mediante un código de programación desarrollado por esta consultoría en lenguaje Python, ejecutado a través del entorno de Google Colab. Este procesamiento algorítmico garantizó la estructuración eficiente y precisa de los parámetros geotécnicos de los materiales predominantes.

A continuación, en la Tabla 3-11 se presenta el listado maestro de revisión de proyectos. En esta tabla se consigna la información más relevante de cada uno de los estudios consultados para la construcción de la base de datos de caracterización geotécnica de las unidades geológicas superficiales.

Para facilitar la comprensión e interpretación del listado maestro de proyectos, la información se ha estructurado en las siguientes categorías principales:

Identificación general: Comprende el identificador único (ID), el nombre del Proyecto, la firma Consultor encargada, el Año de ejecución y la Localidad, lo cual permite contextualizar espacial y temporalmente cada estudio.

Alcance de la exploración: Detalla el volumen de información geotécnica levantada, indicando el número total de perforaciones (# Sondeos) y la Prof. Máx. (m) alcanzada, estableciendo la representatividad en profundidad de cada campaña.

Cantidad de ensayos de laboratorio reportados: Cuantifica el volumen de registros correspondientes a las pruebas de caracterización física e índice de los materiales,

permitiendo identificar rápidamente la densidad de datos paramétricos disponibles por cada proyecto.

Caracterización geológica y geotécnica: Sintetiza las unidades aflorantes o subyacentes (Descripción Geológica) y la clasificación general de los materiales encontrados (Tipo), tales como rellenos, suelos residuales, depósitos transportados o basamento rocoso.

Cabe destacar que la totalidad de la base de datos consolidada de JAM. en su formato original (en bruto) se adjunta como Anexo [Insertar número o letra del Anexo] de este informe. En dicho archivo digital, el revisor podrá consultar las hojas de cálculo correspondientes, las cuales contienen los resúmenes tabulados, los metadatos y la información general de laboratorio que fue procesada y empleada como insumo para el desarrollo del presente entregable.

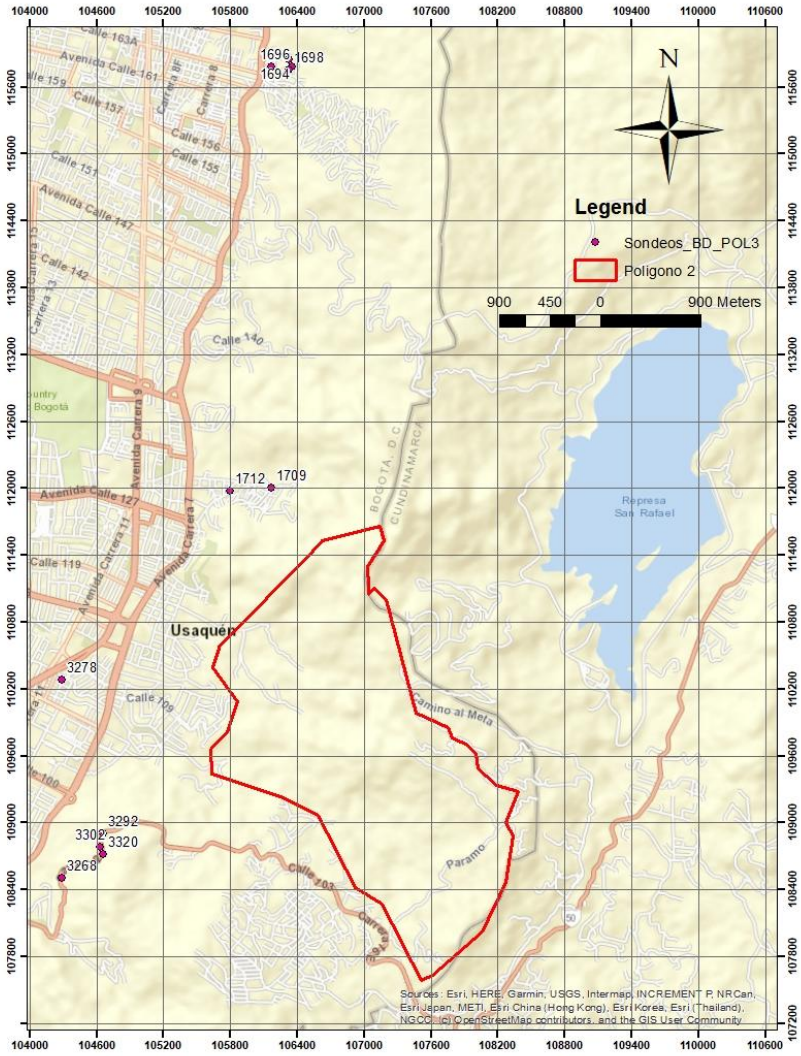
Tabla 3-11 Listado maestro de proyectos incorporados en la base de datos de caracterización geotécnica. Localidad Usaquen

ID	PROYECTO	CONSULTOR	AÑO	LOCALIDAD	# DE SONDEOS	PROF. MAX. REPORTADA (m)	γt	γd	ωn	Limites	Gradacion	DESCRIPCION	TIPO
1693	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, usaquen	INGEOCIM	1998		7	0	15	0	23	19	15	Rellenos Antrópicos - Depósito antrópico de escombros - Formación Arenisca Labor - Tierna - Depósito Fluvioglaciario	Roca - Suelo transportado - Coluvial
2364	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	JAM	2007		39	40	62	41	146	96	62	Formación Sabana, arcillas, turbas	Relleno - Suelo
2562	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	JAM	2018		19	25,45	31	16	36	14	4	Formación Guaduas, Conjunto Medio	Roca - Suelo residual - Suelo residual - Relleno
3268	SITIOS CRITICOS IDU - SC30	JAM	2024		2	20	0	0	1	1	1	Formación Arenisca Labor - Tierna - Formación Sabana, arcillas, turbas	Roca - Suelo
3292	31-SITIOS CRÍTICOS IDU - SC31	JAM	2024		3	25	0	0	35	25	35	Formación Arenisca Labor - Tierna	Relleno - Suelo residual - Roca

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Anexo 1: Listado maestro de proyectos incorporados en la base de datos de caracterización geotécnica.

Figura 3-93 Sondeos de la base de datos JAM. Polígono 3



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Tabla 3-12. Listado de sondeos de base de datos JAM

ID_MAPA	PROYECTO	SONDEO	ESTE	NORTE
1693	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, usaquen	1-1-STA CECILIA B NORTE	106169,0157	115783,0846
1694	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, usaquen	1-2-STA CECILIA B NORTE	106323,0533	115844,5101
1696	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, usaquen	1-3-STA CECILIA B NORTE	106353,9186	115783,1181
1698	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, usaquen	1-4-STA CECILIA B NORTE	106323,07	115752,3583
1700	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, usaquen	1-1-BUENAVISTA	105829,3235	118733,0974

ID_MAPA	PROYECTO	SONDEO	ESTE	NORTE
1709	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, usaquen	1-1-UNICERROS	106169,6926	112003,3168
1712	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, usaquen	1-2-UNICERROS	105799,6522	111972,4976
2364	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	174-AU-1	103431,4066	117508,079
2384	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	174-AU-2	103557,8212	117478,3389
2403	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	PERFORACIÓN-1	103442,7279	117501,3325
2415	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	PERFORACIÓN-2	103468,3648	117503,2168
2430	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	PERFORACIÓN-3	103514,8681	117494,9266
2444	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	PERFORACIÓN-4	103542,9481	117487,1869
2457	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	PERFORACIÓN-5	103505,2957	117685,9768
2467	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	PERFORACIÓN-6	103494,5433	117596,5892
3	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-1	103432,3056	117430,9726
460	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-2	103437,5146	117480,7552
615	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-3	103448,2702	117548,6813
617	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-4	103469,2344	117628,8884
624	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-5	103514,6041	117783,4399
630	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-6	103439,0857	117360,9472
642	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-7	103443,0804	117365,8153
2495	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-8	103451,0626	117425,7759
644	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-9	103459,3802	117468,147
646	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-10	103483,4535	117537,9557
648	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-11	103477,3426	117584,971
312	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-12	103505,3052	117620,9286
326	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-13	103507,5145	117692,1722
332	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-14	103483,7874	117531,4288
342	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-15	103469,9429	117335,7289
350	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-16	103506,31	117579,997
355	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-17	103513,406	117627,678
369	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-19	103536,1434	117724,7005
375	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-20	103471,4876	117397,7904
666	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-21	103487,1423	117356,6397
386	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-22	103499,2301	117421,4685

ID_MAPA	PROYECTO	SONDEO	ESTE	NORTE
392	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-23	103510,3184	117490,6115
403	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-24	103516,4172	117526,8978
408	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-25	103527,5012	117625,1356
672	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-26	103578,9748	117780,0199
2545	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-27	103562,6604	117779,4644
2548	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-28	103547,5666	117779,7941
2550	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-29	103545,1474	117626,1338
2553	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-30	103554,3728	117532,4347
2556	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-31	103538,0511	117580,6654
2559	303-ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN PUENTE PEATONAL CALLE 174	S-32	103593,8554	117719,5095
2562	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-01	90172,35998	98485,52401
254	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-02	90165,58756	98456,65092
261	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-03	90144,94118	98513,18116
275	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-04	90213,98786	98447,68894
282	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-05	90145,16318	98512,5174
298	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-07	90034,81999	98550,02258
303	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-08	90159,37019	98427,77781
307	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-09	90188,01446	98560,19586
648	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-11	90192,34253	98510,7461
287	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-06	90119,96394	98516,27936
646	259-ESTUDIO DE RIESGO POR MOVIMENTOS DE MASA Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN EN EL BARRIO EL PEÑON DEL CORTIJO III	S-10	90100,75489	98364,39098
3268	SITIOS CRITICOS IDU - SC30	30-S1	104289,48	108499,9179
3278	SITIOS CRITICOS IDU - SC30	30-S2	104289,2066	110282,2146
3292	31-SITIOS CRÍTICOS IDU - SC31	31-S1	104659,3681	108899,4462
3302	31-SITIOS CRÍTICOS IDU - SC31	31-S2	104628,6416	108776,5357
3320	31-SITIOS CRÍTICOS IDU - SC31	31-S3	104659,3973	108715,0325

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Algunos sondeos no alcanzan a entrar en el tramo de la imagen, sin embrago se dejan en la tabla dado que están cercanos a la zona de estudio.

La ubicación de los registros e investigaciones extraídas de la base de datos de JAM se ilustra en las Figura 3-93 En estos planos se espacializan los puntos de exploración previa en relación con los límites correspondientes al Polígono 3.

Es importante destacar que, en la representación gráfica, se ha conservado intencionalmente la ubicación de múltiples sondeos que se encuentran por fuera del área estricta de los polígonos de estudio. La inclusión de estos registros externos tiene como propósito evidenciar la magnitud y cobertura de la base de datos cruda disponible para este sector. Visualizar la totalidad de estos puntos permite dimensionar la robustez de la información de referencia y resulta fundamental para establecer correlaciones estratigráficas, facilitando una comprensión más amplia del modelo geotécnico y del comportamiento de los materiales en el entorno regional del proyecto.

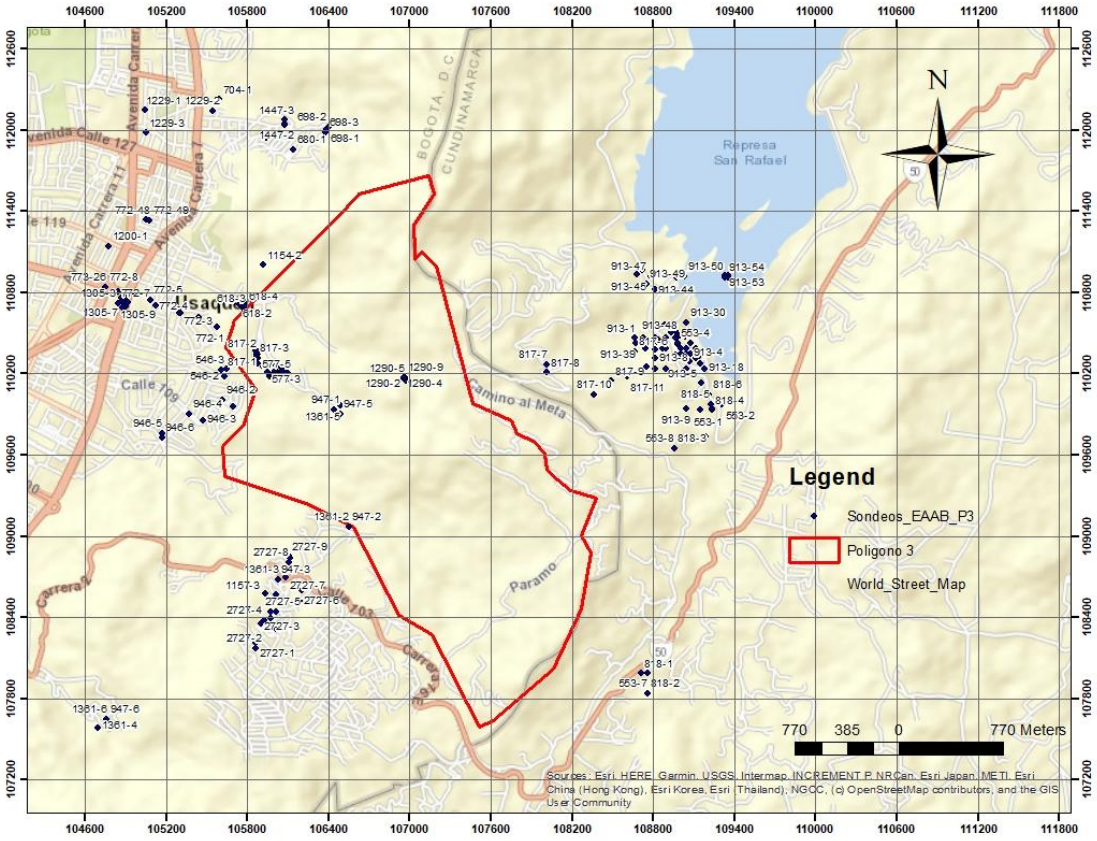
3.4.2.2 Base de datos EAAB

Como parte integral de la recopilación de información secundaria, se llevó a cabo la consulta y revisión del Sistema de Información de Exploraciones Geotécnicas (SISGEO), administrado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). Esta plataforma oficial constituye un repositorio técnico de gran valor para la identificación de registros históricos de exploración del subsuelo y perfiles estratigráficos en el Distrito Capital.

La metodología de recopilación consistió en realizar una búsqueda espacial detallada enfocada en las áreas de influencia directa e indirecta del Polígono 3. A partir de esta consulta, se filtraron, seleccionaron y descargaron los expedientes técnicos (en formato PDF) que resultaron pertinentes para el alcance del presente estudio. La información extraída de estos documentos oficiales fue procesada para complementar el modelo geológico-geotécnico preliminar, aportando datos adicionales sobre la sucesión de los depósitos, las características de los materiales y los niveles freáticos reportados históricamente en el sector.

La localización espacial de los puntos de exploración obtenidos de la base de datos de la EAAB se presenta en la Figura 3-94. La visualización cartográfica de estos registros, en conjunto con la delimitación del área de estudio, permite fortalecer la densidad de la información disponible, facilitando la correlación de los hallazgos de la EAAB con las demás fuentes secundarias y optimizando el análisis del comportamiento geotécnico del terreno.

Figura 3-94 Sondeos de base de datos del EAAB. Polígono 3



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Anexo 2: *PDF de lo consultado en la plataforma del acueducto.*

Tabla 3-13 Listado maestro de proyectos incorporados en la base de datos de caracterización geotécnica. SISGEO EAAB

ID_PROYECT	NUMERO	COORDENADA	COORDENA_1
913	51	110928	109354
913	52	110914	109354
913	53	110923	109336
913	54	110914	109336
913	55	110515	108965
913	56	110465	108978
913	57	110420	108987
913	58	110485	108989
546	1	110238	105648
546	2	110177	105631
546	3	110231	105608
913	23	110238	108820
913	24	110312	108820
913	25	110314	108896
913	26	110312	108970

ID_PROYECT	NUMERO	COORDENADA	COORDENA_1
913	27	110388	109120
913	28	110426	109082
913	29	110470	109040
913	30	110578	109046
913	31	110538	108970
913	32	110558	108886
913	33	110502	108934
913	34	110466	108894
913	35	110345	109082
913	36	110332	109138
913	1	110462	108668
913	2	110462	108820
913	3	110462	108970
913	4	110289	109070
913	5	110132	109161

ID_PROYECT	NUMERO	COORDENADA	COORDENA_1
913	6	109933	109151
913	7	109738	109189
913	8	110382	108820
913	37	110350	109046
913	38	110388	109008
913	39	110428	108670
913	40	110386	108746
913	41	110466	108730
913	42	110342	108970
913	43	110910	108979
913	44	110826	108813
913	45	110932	108684
913	46	110967	108719
913	47	110919	108785
913	48	110484	109010
913	49	110862	108750
913	50	110919	109032
913	9	109941	109050
913	10	110430	108894
913	11	110386	108894
913	12	110388	108870
913	13	110350	109008
913	14	110388	109046
1229	1	112146	105044
1229	2	112145	105544
1229	3	111980	105050
913	15	110312	109120
913	16	110276	109146
913	17	110238	109184
913	18	110238	109184
913	19	110350	109158
913	20	110238	109044
913	21	110338	108970
913	22	110238	108894
1200	1	111142	104776
772	46	110810	104888
772	47	110800	104966
772	48	111337	105054
772	49	111332	105078
1157	5	108441	105977
773	21	110645	105304
773	22	110705	105123
773	23	110745	105084
773	24	110796	104971
773	25	110805	104846
773	26	110839	104752
773	19	110547	105575
773	20	110618	105440
698	1	112004	106389
698	2	112023	106400
698	3	111984	106381
680	1	111856	106140
553	1	109932	109234
553	2	109973	109311
553	3	110047	109214
553	4	110430	108980
553	5	110434	108840
553	6	107985	108757
553	7	107838	108757
553	8	109647	108957
577	1	110161	105997

ID_PROYECT	NUMERO	COORDENADA	COORDENA_1
577	2	110166	106015
577	3	110214	105950
577	4	110249	105918
577	5	110274	105878
946	1	109960	105700
946	2	110005	105620
946	3	109852	105476
946	4	109906	105370
946	5	109760	105170
946	6	109729	105170
947	1	109935	106440
947	2	109070	106551
947	3	108682	106028
947	5	109906	106487
947	6	107649	104762
1154	1	111942	105944
1154	2	111002	105916
1157	1	108566	106010
1157	2	108311	106011
1157	3	108574	105931
1157	4	108391	105974
772	1	110546	105576
772	2	110620	105439
772	3	110649	105302
772	4	110707	105122
772	5	110746	105083
772	6	110800	104966
772	7	110805	104844
772	8	110839	104751
618	1	110732	105752
618	2	110710	105742
618	3	110685	105765
618	4	110700	105787
2727	1	108210	105863
2727	2	108175	105863
2727	3	108353	105901
2727	4	108378	105926
2727	5	108444	106013
2727	6	108520	106190
2727	7	108699	106085
2727	8	108806	106107
2727	9	108852	106106
2727	10	108840	106115
2727	11	108886	106093
1447	1	112040	106075
1447	2	112049	106075
1447	3	112075	106075
704	1	112226	105596
817	14	110350	105875
817	15	110314	105877
817	16	110339	105869
817	17	110365	105892
818	1	107985	108710
818	2	107838	108757
818	3	109647	108957
818	4	109938	109234
818	5	109973	109231
818	6	110047	109214
818	8	110434	108831
817	1	110369	105862
817	2	110352	105871

ID_PROYECT	NUMERO	COORDENADA	COORDENA_1
817	3	110316	105864
817	4	110453	108838
817	5	110450	108785
817	6	110362	108669
817	7	110271	108013
817	8	110210	108015
817	9	110145	108492
817	10	110049	108364
817	11	110183	108610
817	12	110250	108750
817	13	110372	105873
1290	13	110263	106015
1290	14	110222	106053
1290	15	110223	106076
1361	1	109935	106440
1361	2	109070	106551
1361	3	108682	106028
1361	4	107585	104698
1361	5	109966	106487
1361	6	107649	104762
1361	21	108454	105818
1361	22	108598	106204
1428	11	110201	106100
1428	12	110277	106031
1428	13	110281	106013
1428	14	110244	106056
1428	15	110243	106055
1428	16	110208	106051
1428	8	110191	105968
1428	9	110208	106051
1428	10	110162	106101
1428	17	110162	106101
1428	18	110201	106100

ID_PROYECT	NUMERO	COORDENADA	COORDENA_1
1305	1	110780	104920
1305	2	110770	104890
1305	3	110760	104870
1305	4	110750	104900
1305	5	110735	104910
1305	6	110735	104890
1305	7	110735	104870
1305	8	110720	104895
1305	9	110725	104920
1305	10	110700	104900
1305	11	110690	104880
1305	12	110720	104850
1428	1	110151	106000
1290	1	110150	106975
1290	2	110170	106968
1290	3	110172	106007
1290	4	110161	106956
1290	5	110169	106968
1290	6	110151	106023
1290	7	110266	106006
1290	8	110269	106006
1290	9	110171	106959
1290	10	110251	106025
1290	11	110218	106012
1290	12	110222	106009
1428	2	110190	105987
1428	3	110195	106015
1428	4	110178	105965
1428	5	110188	105985
1428	6	110188	106047
1428	7	110190	105987

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

La distribución espacial de estos registros históricos se ilustra en la Tabla 3-13, donde se espacializan los puntos de exploración respecto a los límites de los polígonos de estudio. En la cartografía generada, se evidencia una alta concentración de puntos en el entorno circundante, manteniendo de manera intencional la visualización de los sondeos que se encuentran en la periferia de las áreas de interés directo.

Anexo 2: *PDF base de datos EAAB*

3.4.3 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA INFORMACIÓN PRIMARIA

3.4.3.1 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 3.8 m a 7.5 m, se recuperaron muestras alteradas en tubos de cuchara partida, las cuales se utilizaron para ensayos de caracterización. En la Tabla 3-14 se muestra la relación de las cantidades de perforación.

Tabla 3-14 Relación de cantidad de perforación CTM12

Perforación	Profundidad (m)	Coordinada X	Coordinada Y
S1	4.10	4888100.594	2074116.041
S2	3.82	4888078.176	2074162.120
S3	7.5	4888031.687	2074175.387

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-95 Localización sondeos



Fuente: Elaboración propia

3.4.3.2 Nivel freático

Tabla 3-15 Profundidad nivel freático

Perforación	Profundidad (m)	Nivel freático
S1	4.10	NR
S2	3.82	NR
S3	7.5	1.30

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-96 se presenta los materiales encontrados en las perforaciones realizadas en el polígono. De manera general se presenta un perfil de suelo con una capa (M1) de limo arcilloso orgánico de 2.0 m de espesor (Stflo), seguido se encuentra un material (M2) conformado por arena de grano fino de compacidad media (Stft), luego se encuentra un material (M3) areniscas cuarzosas con alto grado de alteración (Rblt -IV).

Figura 3-96 Columnas sondeos S1, S2 y S3

<table>
<tr><th colspan="2">PROFUNDIDAD</th><th>S1</th><th>S2</th><th>S3</th></tr>
<tr><td>INICIAL</td><td>FINAL</td><td rowspan="2">Stflo : suelo limo arcilloso carmelito orgánico de color café a negro</td><td rowspan="2">Stflo : suelo limo arcilloso carmelito orgánico de color café a negro</td><td rowspan="2">Stflo : suelo limo arcilloso carmelito orgánico de color café a negro</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>0.5</td><td>1</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>1</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>1.65</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="3">Sftt : suelo arenoso de grano fino a muy fino, de color café a negro, no plástico, con compacidad media y humedad media</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>1.65</td><td>1.85</td></tr>
<tr><td>1.85</td><td>2</td><td rowspan="6">Sftt : suelo arenoso de grano fino a muy fino, de color café a negro, no plástico, con compacidad media y humedad media</td><td>Sftt</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2.42</td><td rowspan="14"></td><td rowspan="14">Rblt - IV: areniscas cuarzosas de grano fino con alto grado de alteración</td></tr>
<tr><td>2.42</td><td>3</td></tr>
<tr><td>3</td><td>3.5</td></tr>
<tr><td>3.5</td><td>3.82</td></tr>
<tr><td>3.82</td><td>4</td></tr>
<tr><td>4</td><td>4.1</td></tr>
<tr><td>4.1</td><td>5</td><td rowspan="8"></td></tr>
<tr><td>5</td><td>5.5</td></tr>
<tr><td>5.5</td><td>6</td></tr>
<tr><td>6</td><td>6.5</td></tr>
<tr><td>6.5</td><td>7</td></tr>
<tr><td>7</td><td>7.5</td></tr>
</table>

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.3 Exploración indirecta

En el área de estudio del Polígono 3 se realizaron tres (3) tomografías de resistividad eléctrica y dos (2) líneas sísmicas de refracción, con el propósito de caracterizar las

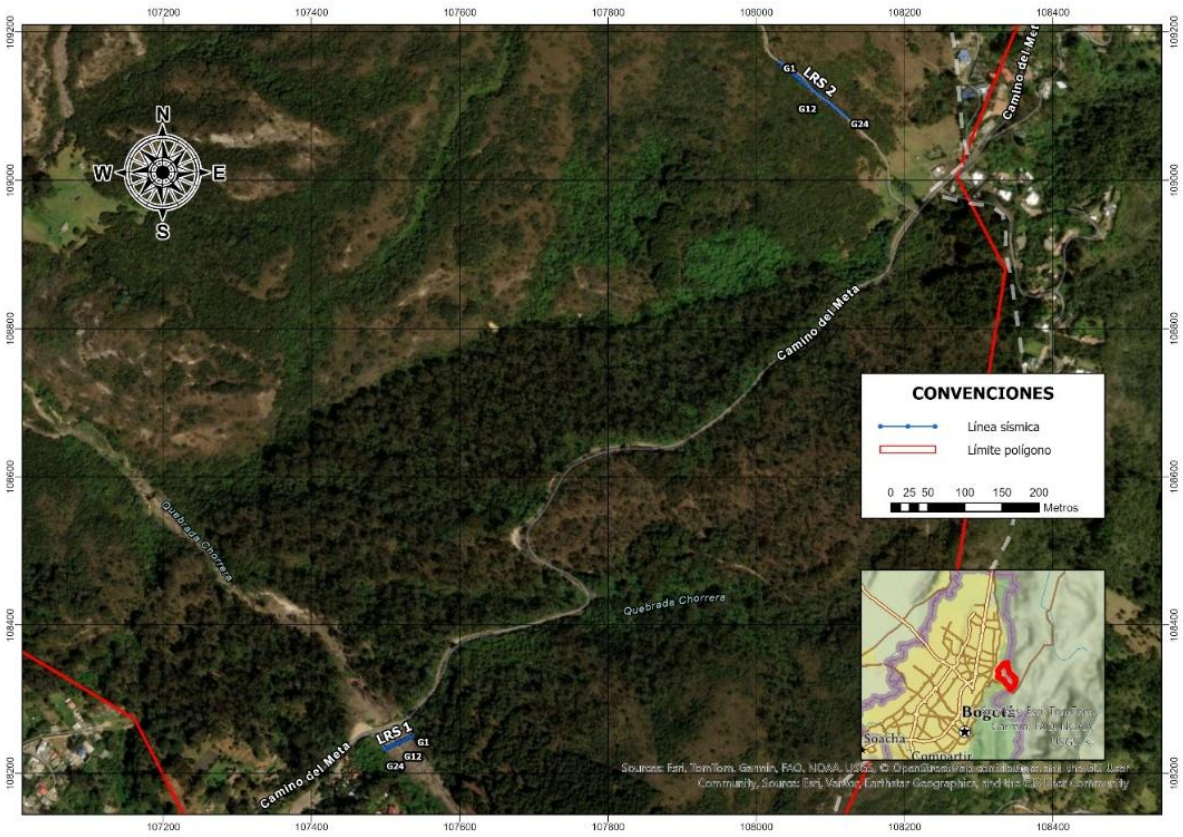
condiciones del subsuelo mediante métodos geofísicos.

Figura 3-97 Figura de localización de tomografías de resistividad eléctrica Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-98 Figura de localización de ensayos de líneas sísmicas de refracción Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

Las coordenadas de inicio y fin de los ensayos de tomografía de resistividad eléctrica realizados se presentan en la Tabla 3-16 y Tabla 3-17.

Tabla 3-16 Ubicación y longitud Ensayos tomografía de resistividad Polígono 3

Ensayo	Coordenada X-INICIO	Coordenada Y-INICIO	Coordenada X-FIN	Coordenada Y-FIN	Longitud
TMR-1	4888144,7	2073988,6	4888038,1	2074101,8	155
TMR-2	4888044,7	2074066,9	4888081,2	2074093,6	45
TMR-3	4888033	2074147,3	4887925,4	2074262,9	155

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-17 Ubicación y longitud Ensayo de línea sísmica de refracción Polígono 3

Ensayo	Coordenada X-INICIO	Coordenada Y-INICIO	Coordenada X-FIN	Coordenada Y-FIN	Longitud
LRS-1	4888063,8	2074110,4	4888025,3	2074093,3	46
LRS-2	4888557,3	2075018,9	4888648,3	2074943,4	115

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.3.1 Resultados de ensayo tomografía eléctrica

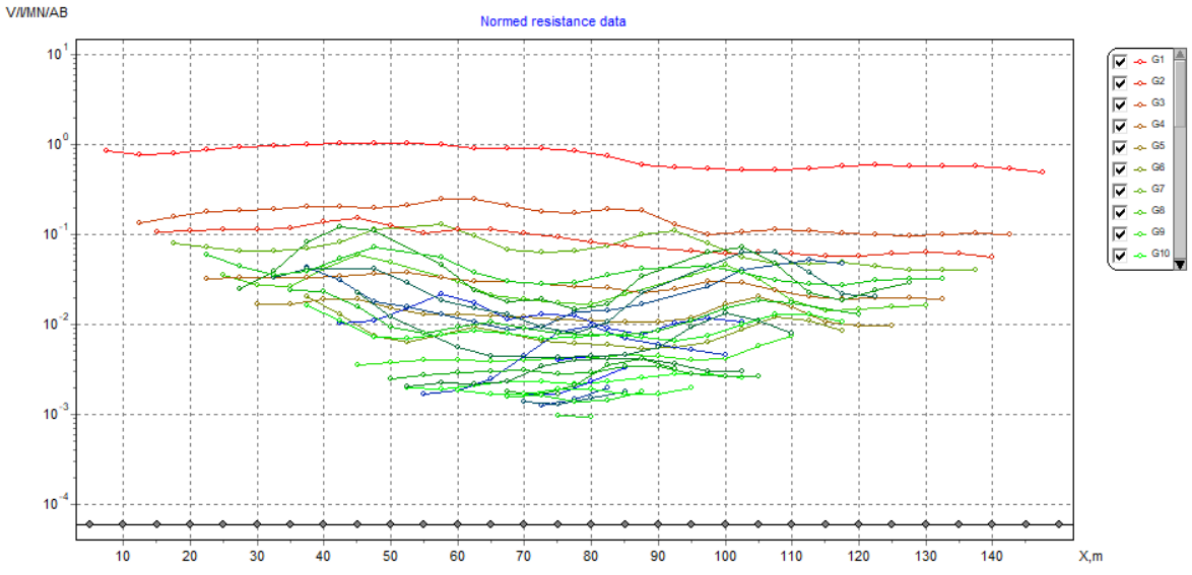
TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 1

SCHLUMBERGER

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

En la Figura 3-99 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.

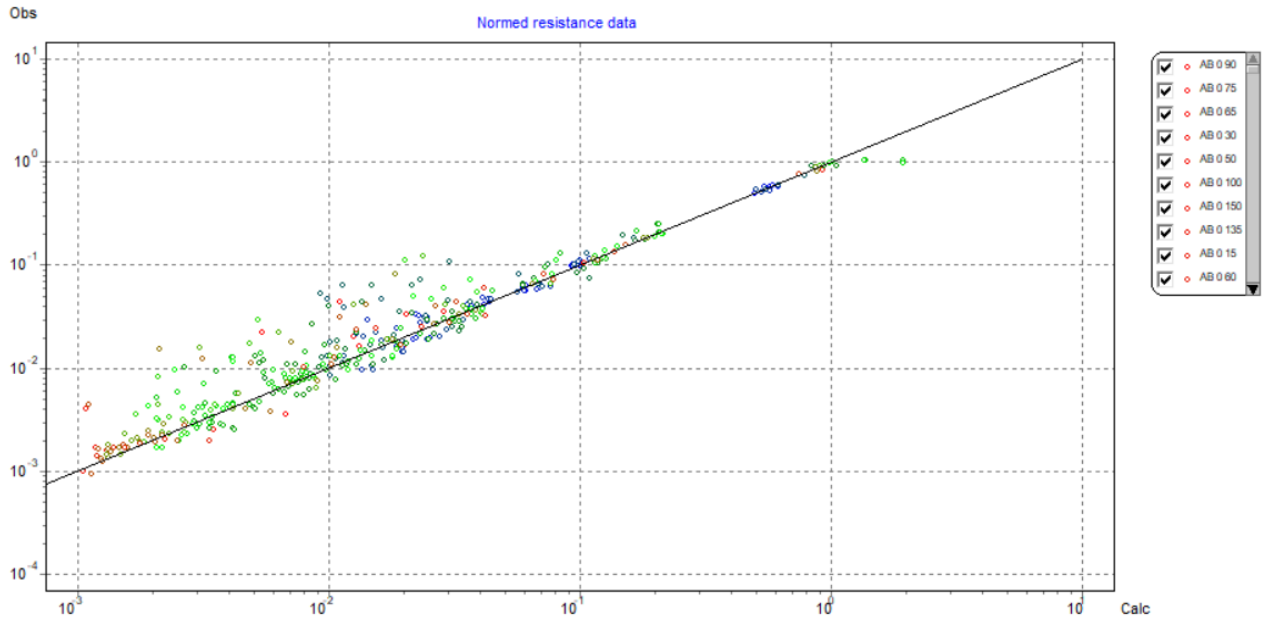
Figura 3-99 Gráfica de relación de Rho aparente (resistividad aparente) Vs Distancia. Grafica de datos adquiridos posteriormente filtrados



Fuente: Elaboración propia

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 3-100.

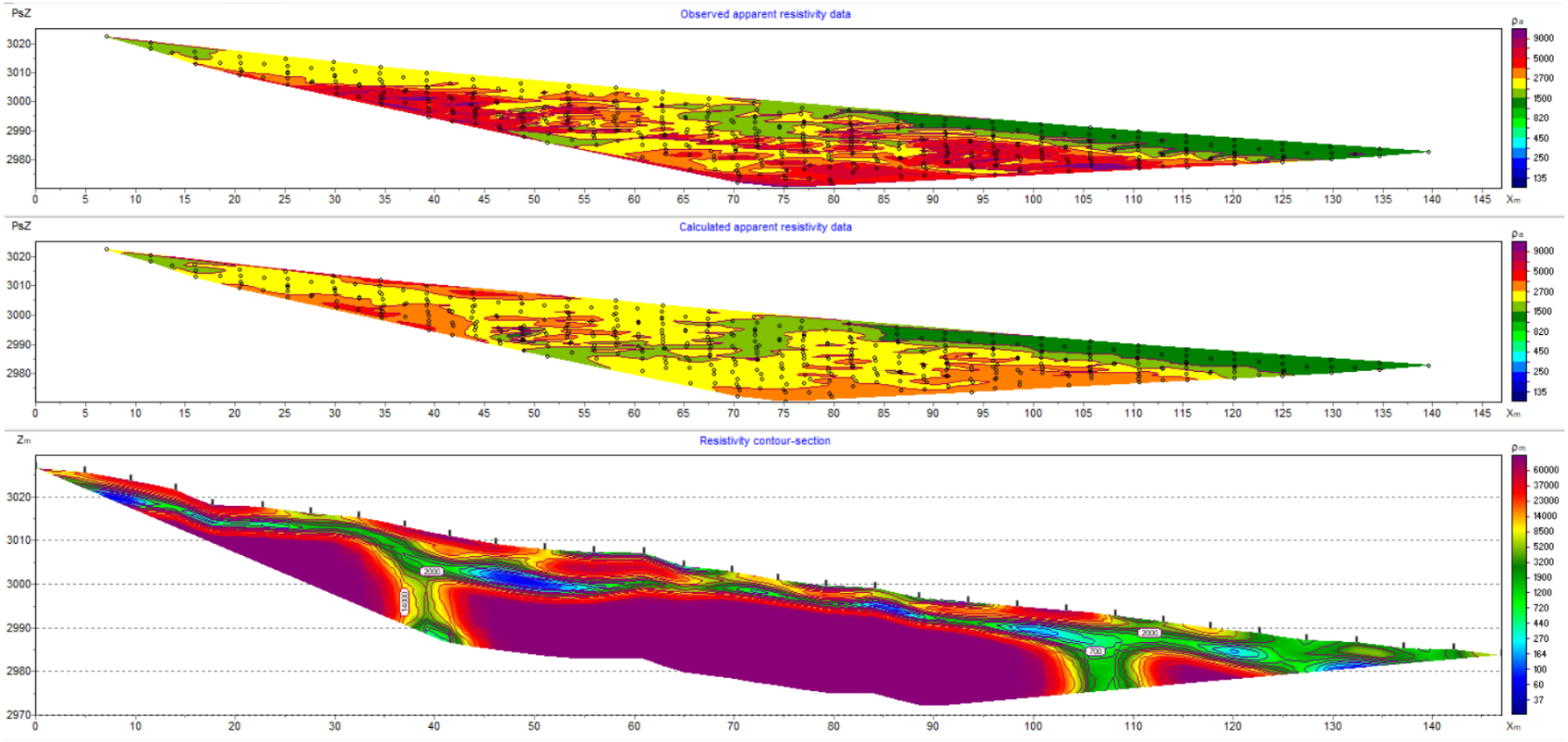
Figura 3-100 Diagrama de dispersión de datos



Fuente: Elaboración propia

La Figura 3-101 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 30 ohm-m hasta 37000 ohm-m.

Figura 3-101 Pseudosecciones teórica y Sección Calculada Tomografía



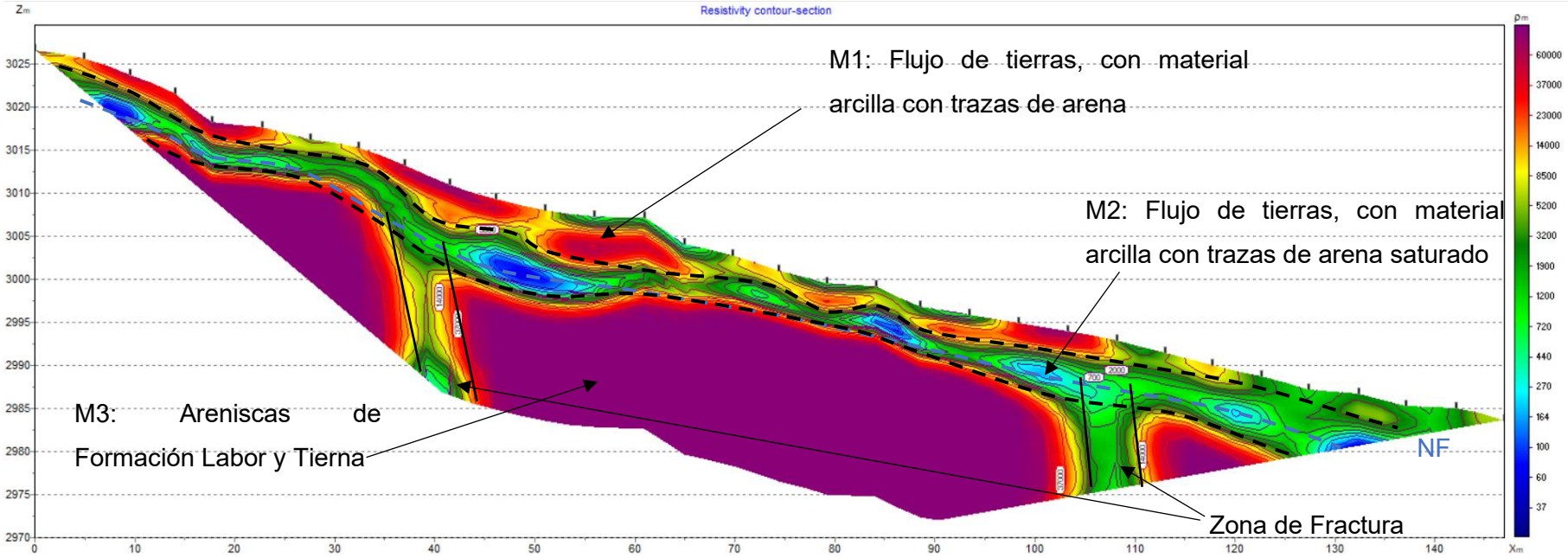
Fuente: Elaboración propia

La Figura 3-102 presenta la interpretación de los resultados de la tomografía eléctrica 1 en el método Schlumberger.

En esta se interpreta el material M1: Arcilla arenosa correspondiente al flujo de tierras M2: Arcilla arenosa saturada, M3: Arenisca de la Formación Labor y Tierna

El nivel freático se interpreta a una profundidad aproximada de 4 a 6 m.

Figura 3-102 Sección calculada



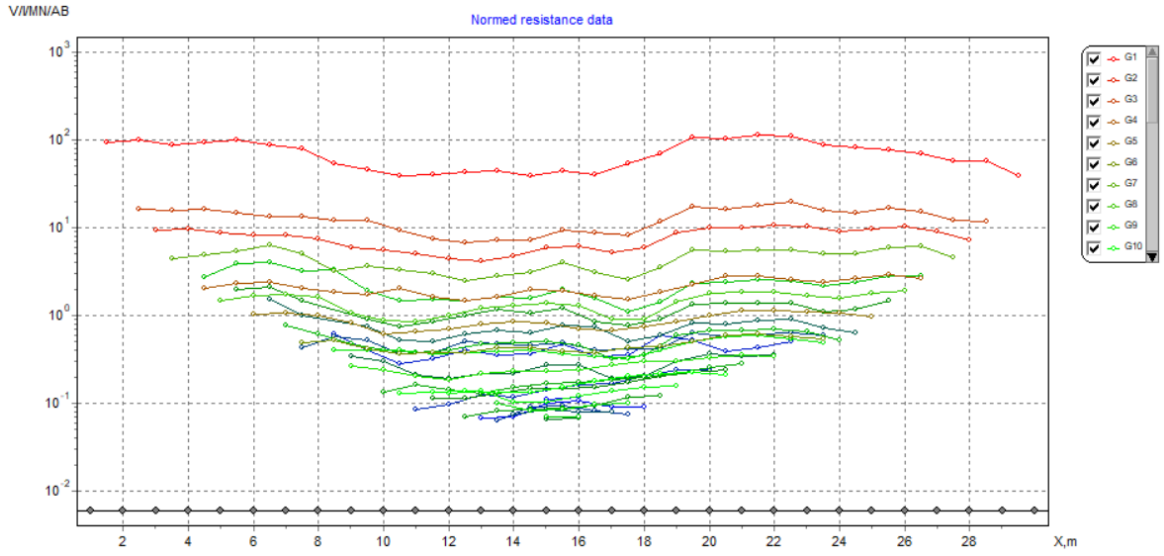
Fuente: Elaboración propia

TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2

SCHLUMBERGER

En la Figura 3-103 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.

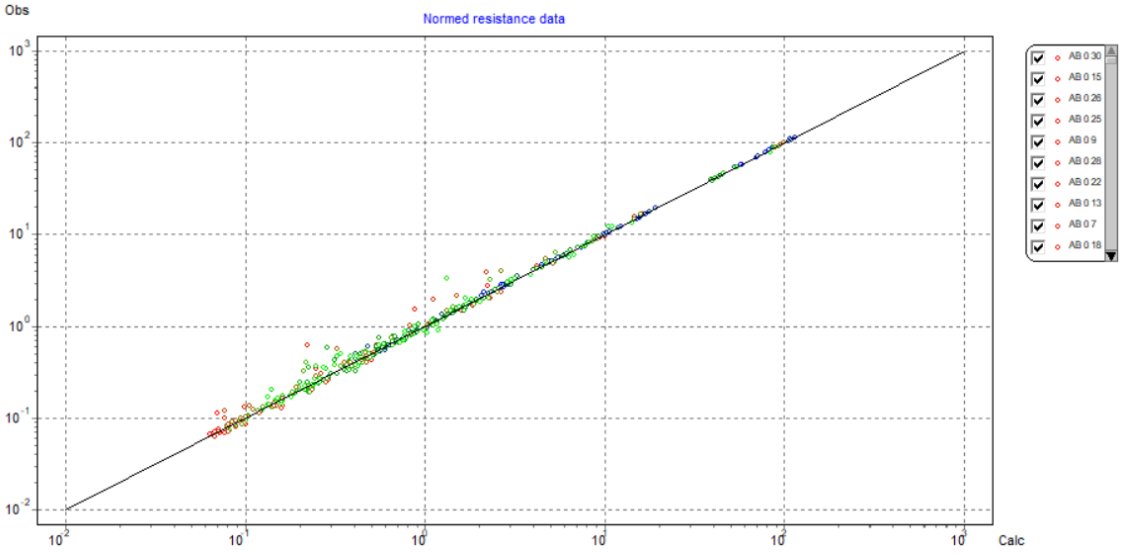
Figura 3-103 Gráfica de relación de Rho aparente (resistividad aparente) Vs Distancia. Grafica de datos adquiridos posteriormente filtrados



Fuente: Elaboración propia

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 3-104.

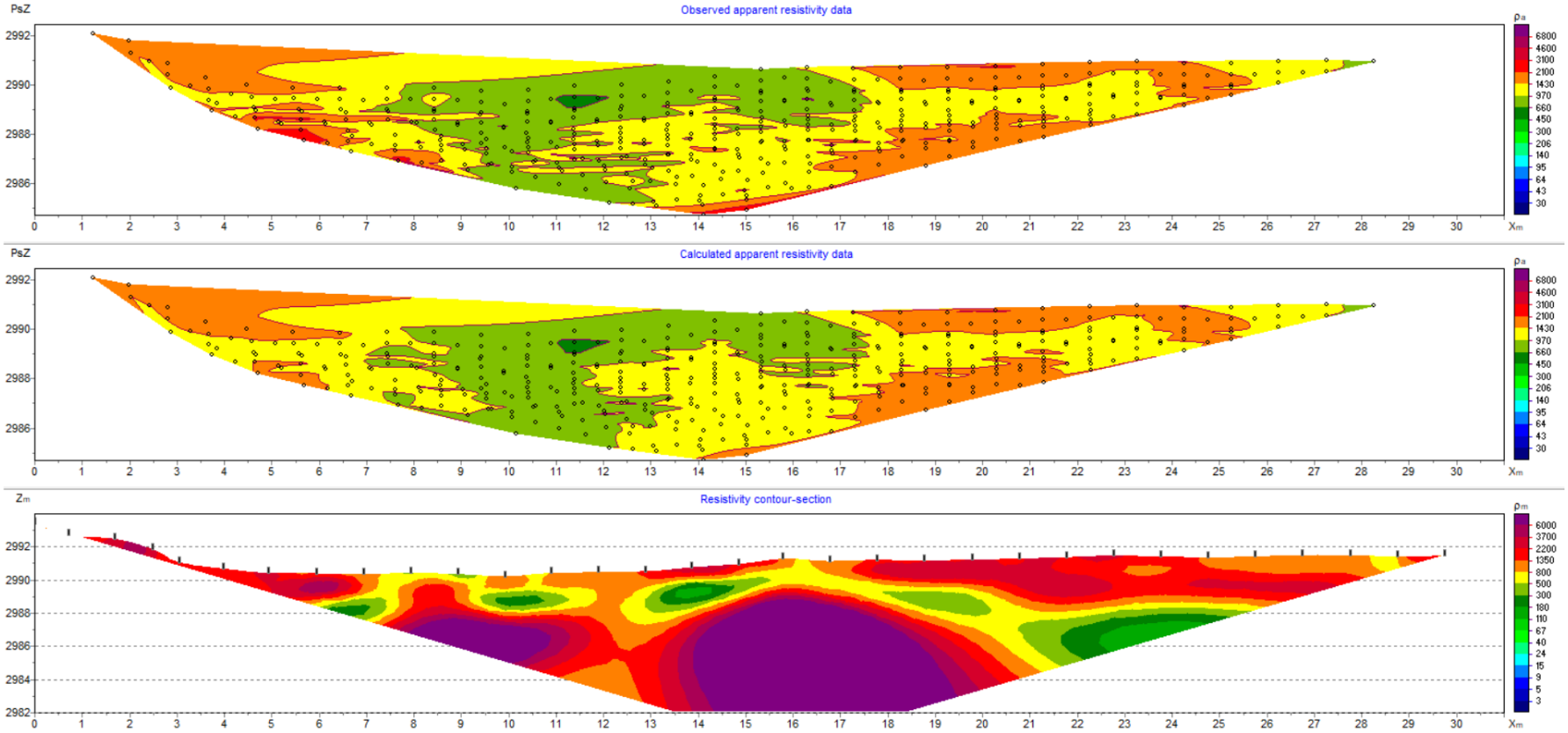
Figura 3-104 Diagrama de dispersión de datos



Fuente: Elaboración propia

La Figura 3-105 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 160 ohm-m hasta 6000 ohm-m.

Figura 3-105 Pseudosecciones teórica y Sección Calculada Tomografía

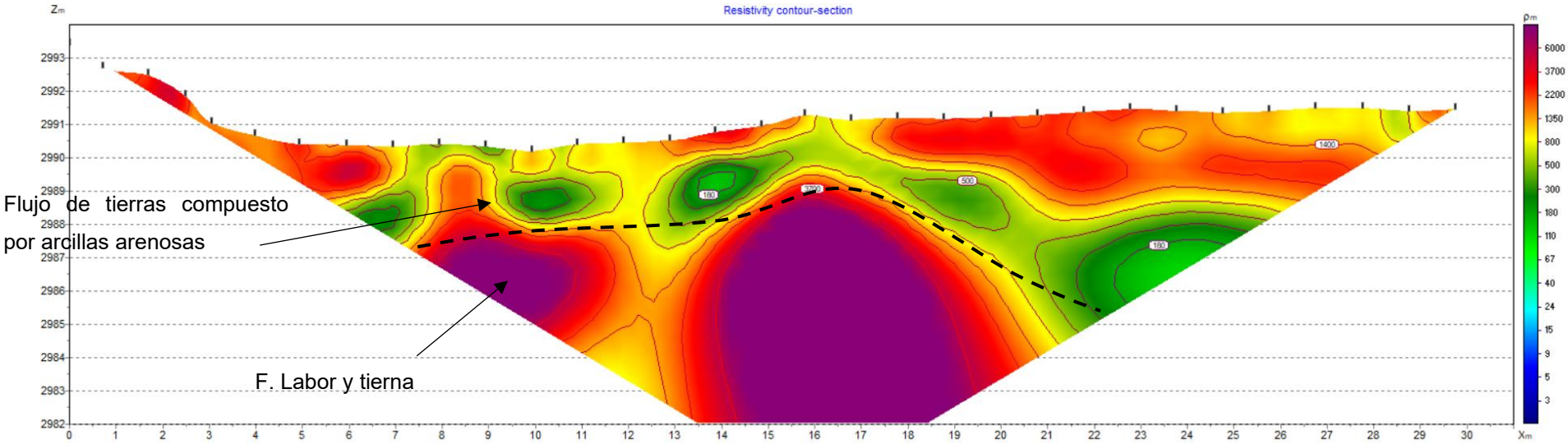


Fuente: Elaboración propia

La Figura 3-106 presenta la interpretación de los resultados de la tomografía eléctrica 2 en el método Schlumberger.

En esta se interpreta el material M1: Material del flujo de tierras compuesto por arcillas arenosas, M2: Arenisca de la Formación Labor y Tierna. En la zona central del arreglo se identifica un espesor del flujo de 2 m y en la zona este del arreglo un espesor de 6 m.

Figura 3-106 Sección calculada TMR 2

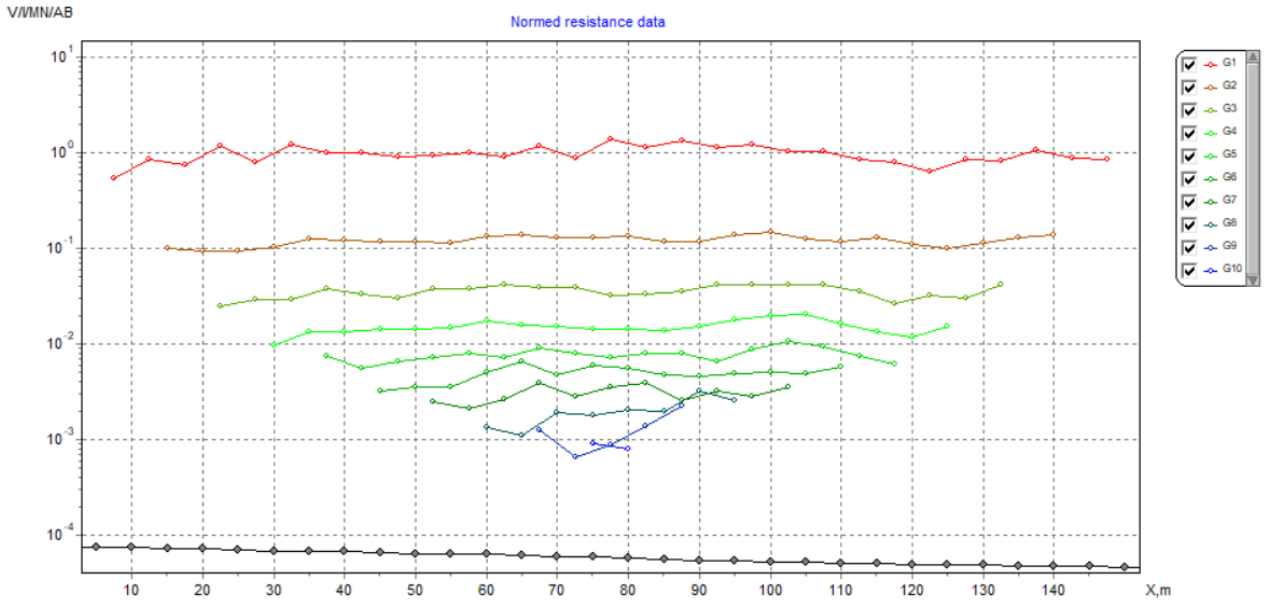


Fuente: Elaboración propia

TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 3

En la Figura 3-107 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.

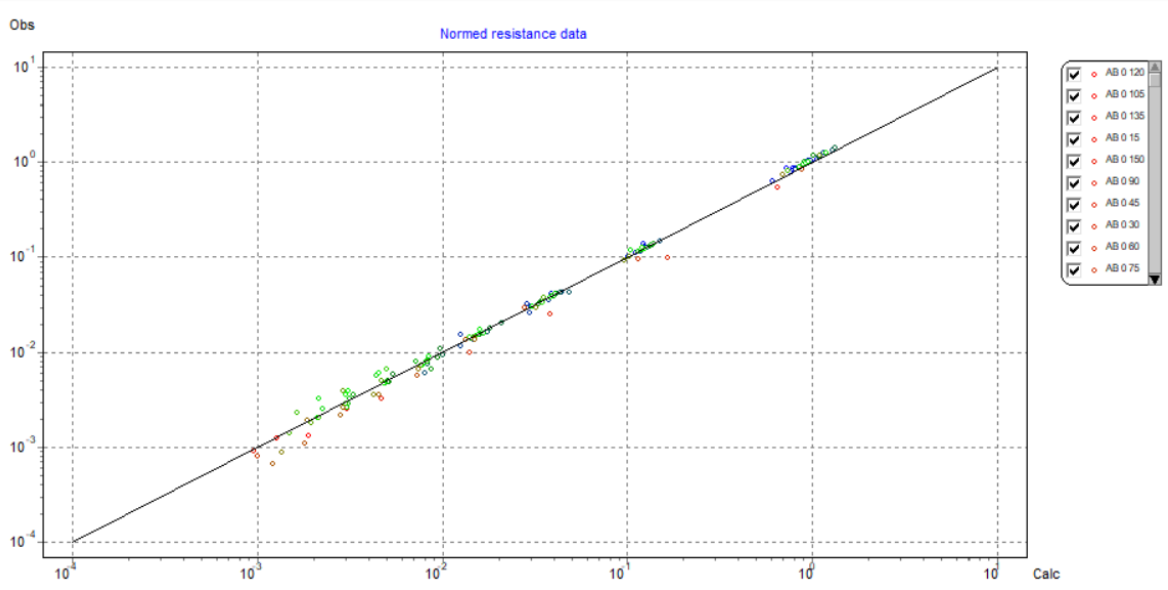
Figura 3-107 Gráfica de relación de Rho aparente (resistividad aparente) Vs Distancia. Grafica de datos adquiridos posteriormente filtrados



Fuente: Elaboración propia

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 3-108.

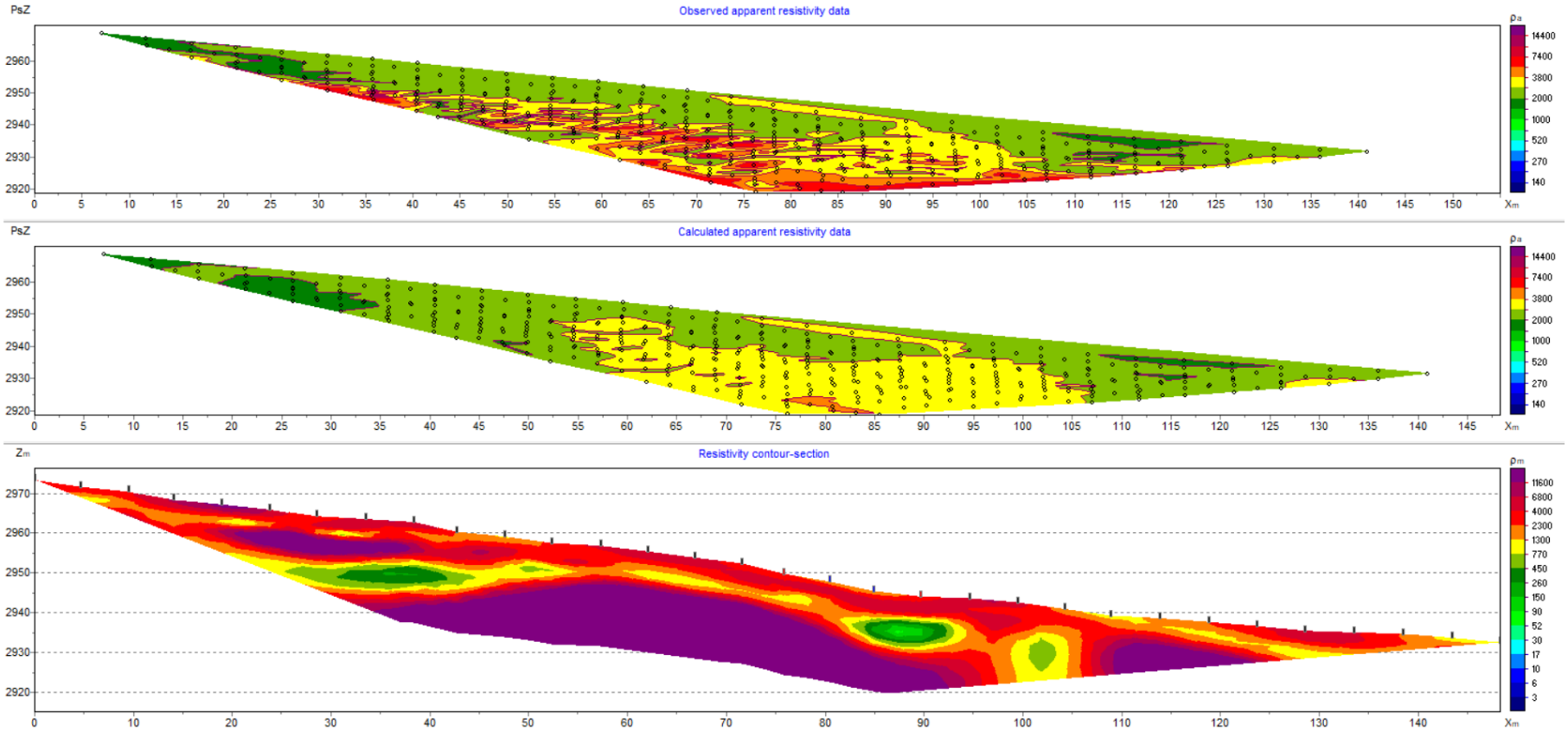
Figura 3-108 Diagrama de dispersión de datos



Fuente: Elaboración propia

La Figura 3-109 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 260 ohm-m hasta 7000 ohm-m.

Figura 3-109 Pseudosecciones teórica y Sección Calculada Tomografía.

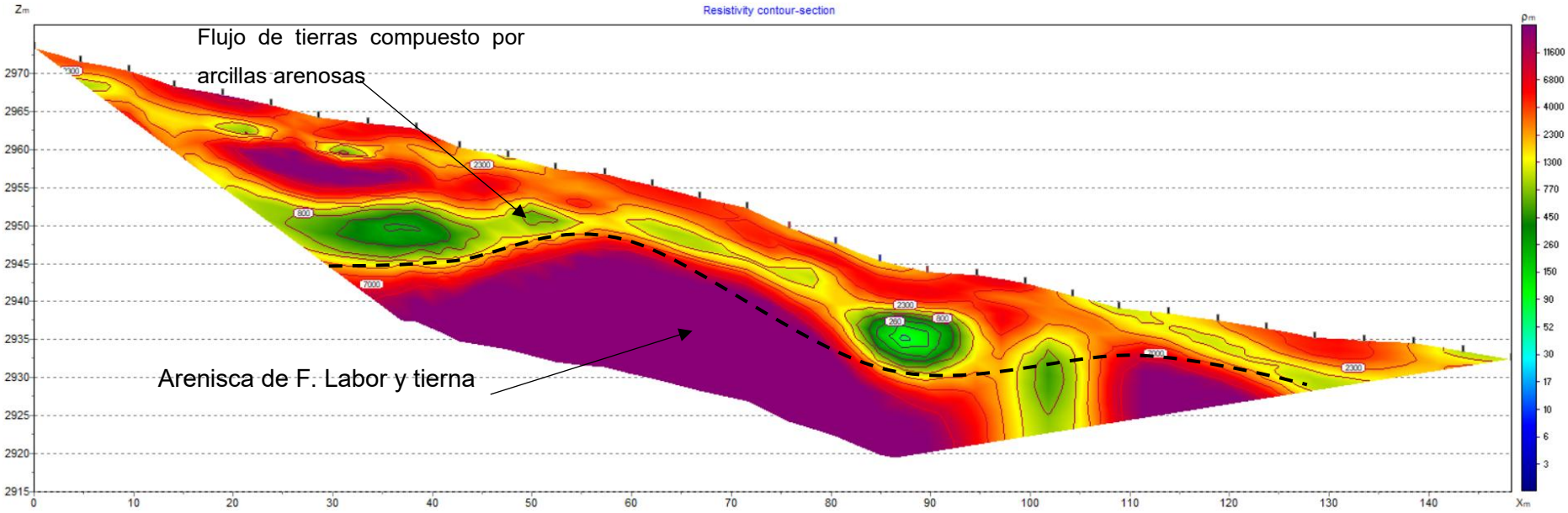


Fuente: Elaboración propia

La Figura 3-110 presenta la interpretación de los resultados de la tomografía eléctrica 3 en el método Schlumberger.

En esta se interpreta el material M1: Material del flujo de tierras compuesto por arcillas arenosas, M2: Arenisca de la Formación Labor y Tierna.

Figura 3-110 Sección calculada TMR 3



Fuente: Elaboración propia

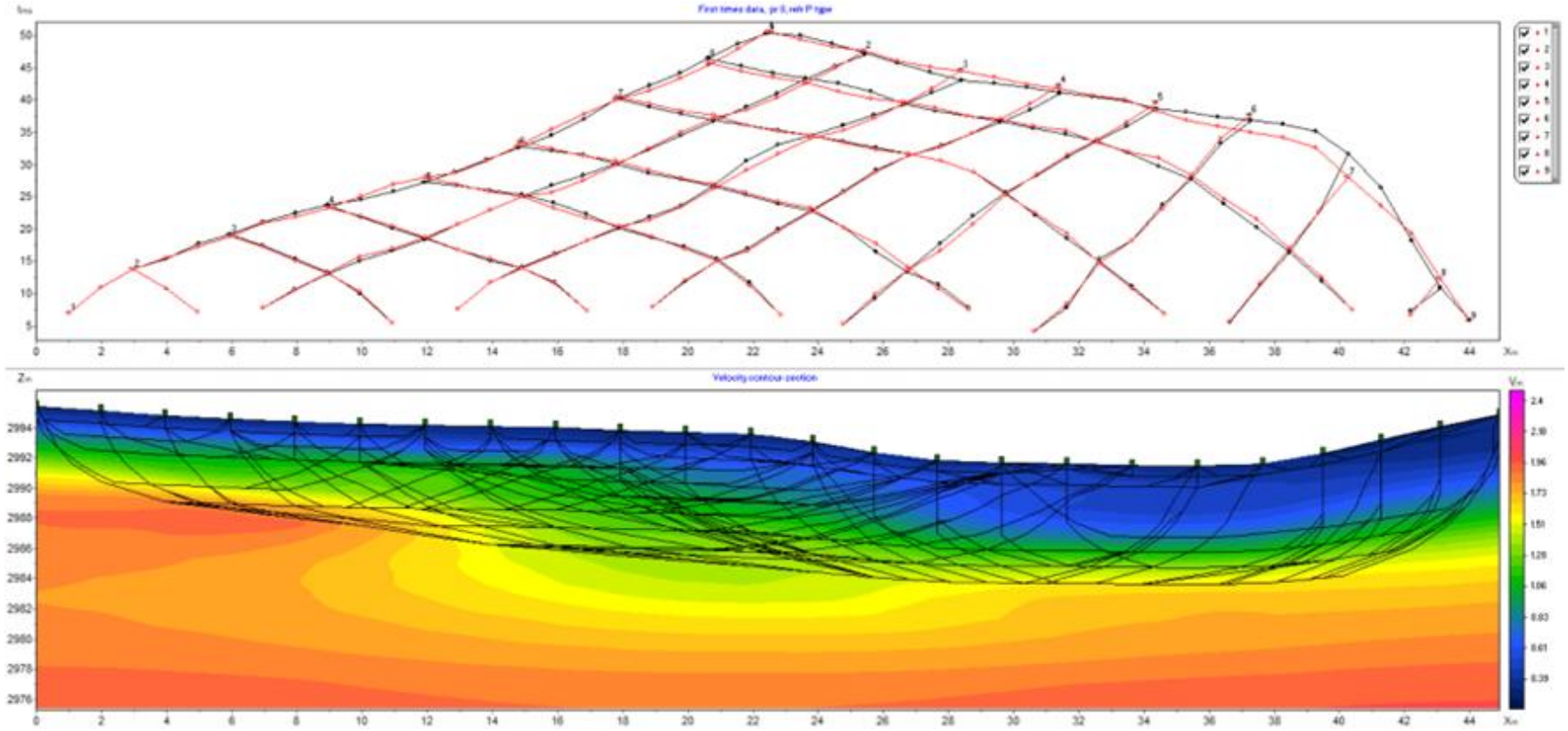
3.4.3.3.2 Resultados ensayo sísmica de refracción

LÍNEA SÍSMICA DE REFRACCIÓN 1

Se realizó un arreglo con 46 m de longitud, un distanciamiento entre geófonos de 2.5 m, con los tiempos de arribo se construyó la tomografía de ondas compresionales Vp, la cual se presenta en la Figura 3-111. Del modelo y la geología regional de la zona se pueden inferir las siguientes características del suelo:

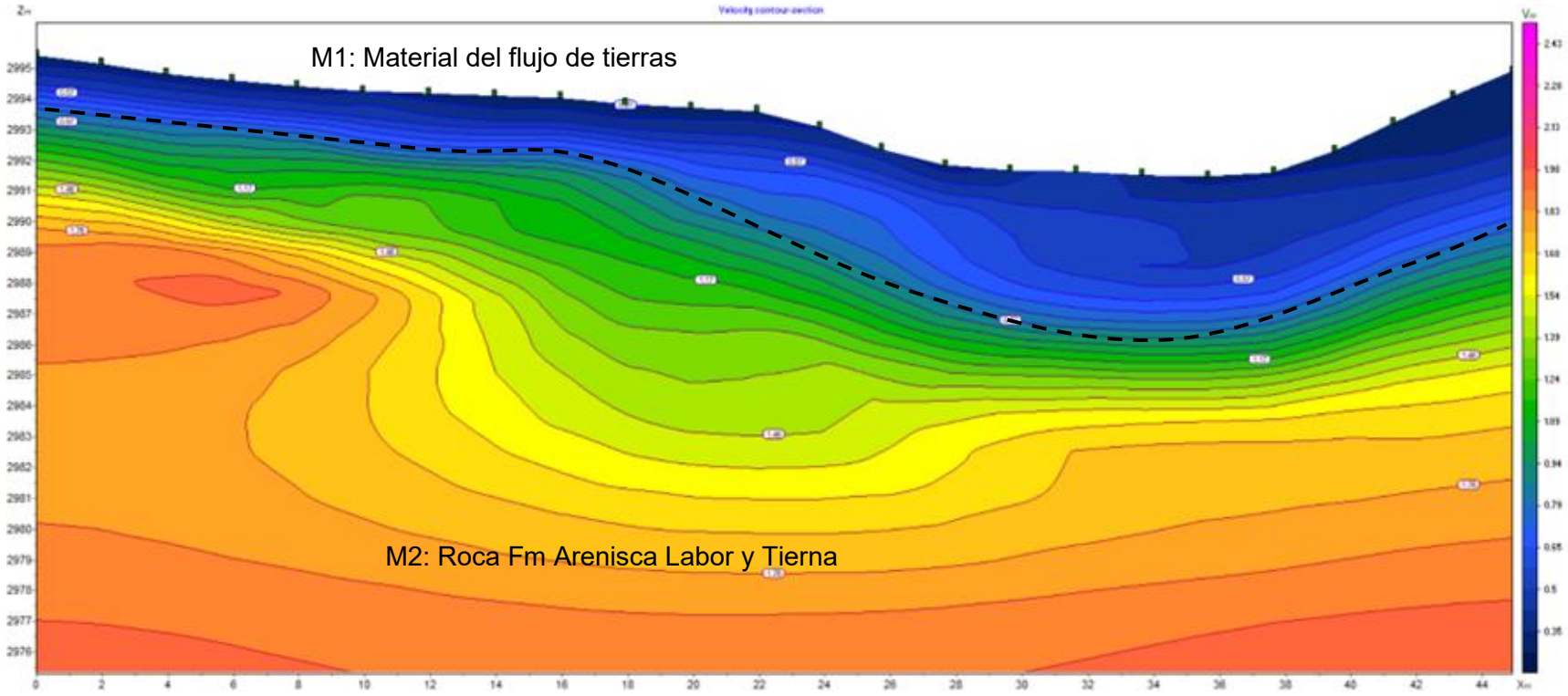
- Se identifica un perfil de velocidad de onda de compresión que aumenta desde 270 m/s hasta 1780 m/s.
- Se identifica un primer material (M1), con un espesor de 1.5 – 5.0 metros aproximadamente a partir desde superficie, con velocidad de onda P de 570 m/s aproximadamente, se asocia a suelo del flujo de tierras compuesto por arenas y arcillas.
- Se identifica un segundo material (M2), a partir de 5 hasta los 19 metros de espesor, con velocidades de onda P de 1760m/s, se interpreta como Roca Fm Arenisca Labor y Tierna.

Figura 3-111 Tomografía Vp



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-112 Perfil del suelo interpretado resultados sísmica de refracción LSR1



Fuente: Elaboración propia

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:

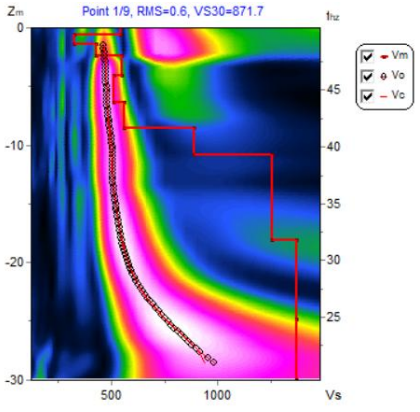
- Según el cálculo del Vs30 se tiene que el suelo se clasifica como Tipo C con un Vs de 455 m/s, el cual se describe como perfil de Suelos muy densos o roca blanda.
- Se identificó una capa M1 con una velocidad Vs de 133 a 247 m/s, con un espesor de 1.5-5 metros aproximadamente a partir desde superficial, se asocia al flujo de tierras.
- Una segunda capa M2 con una velocidad Vs superior de 725 m/s a 1087 m/s, la cual va a partir de los 5 metros de profundidad y se extiende hasta los 30 metros de profundidad, se interpreta como Roca Fm Arenisca Labor y Tierna

Tabla 3-18 Perfil Vs30 LSR-1

Desde (m)	Hasta (m)	Espesor (m)	Vs (m/s)
0,0	0,6	0,6	208,3
0,6	0,8	0,2	145,8
0,8	1,5	0,7	67,6
1,5	3,2	1,7	203,7
3,2	7,9	4,7	241,6
7,9	8,3	0,4	272,0
8,3	10,0	1,7	735,9
10,0	16,5	6,5	1062,0
16,5	24,9	8,4	998,4
24,9	30,0	5,1	982,0
Vs30 (m/s)			**455**

Fuente: Elaboración propia

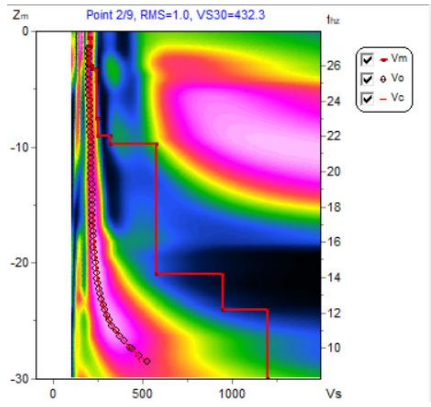
Figura 3-113 Perfil Vs-1 LSR-1



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	541.70	0.33	1.8	0	0.6
2	318.78	0.33	1.8	0.6	0.8
3	427.75	0.33	1.8	1.4	1.0
4	548.67	0.33	1.8	2.4	1.7
5	506.17	0.33	1.8	4.1	2.3
6	559.60	0.33	1.8	6.4	2.2
7	888.57	0.33	1.9	8.6	2.2
8	1257.82	0.33	1.9	10.8	7.2
9	1373.47	0.33	1.9	18.0	6.8
10	1372.03	0.33	1.9	24.9	*

Fuente: Elaboración propia

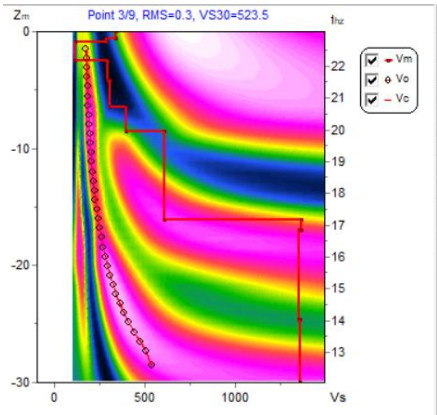
Figura 3-114 Perfil Vs-2 LSR-1



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	196.82	0.32	1.8	0	0.6
2	212.51	0.31	1.8	0.6	0.7
3	193.93	0.33	1.8	1.3	1.7
4	220.19	0.32	1.8	3.0	0.2
5	246.59	0.32	1.8	3.2	4.3
6	252.84	0.32	1.8	7.5	1.5
7	318.28	0.31	1.9	9.1	0.7
8	577.70	0.32	1.9	9.7	11.3
9	952.71	0.31	1.9	21.0	3.0
10	1203.06	0.32	1.9	24.0	*

Fuente: Elaboración propia

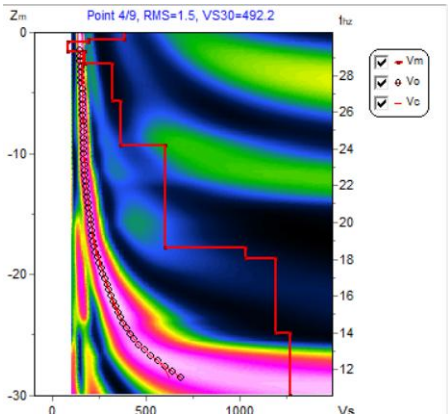
Figura 3-115 Perfil Vs-3 LSR-1



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	343.11	0.30	1.8	0	0.6
2	292.04	0.30	1.8	0.6	0.3
3	115.85	0.27	1.8	0.9	1.6
4	296.49	0.27	1.8	2.5	1.6
5	309.90	0.27	1.8	4.2	2.3
6	395.71	0.30	1.8	6.5	2.0
7	609.19	0.35	1.9	8.5	7.6
8	1368.73	0.37	1.9	16.1	0.8
9	1357.80	0.38	1.9	17.0	7.6
10	1361.47	0.39	1.9	24.6	*

Fuente: Elaboración propia

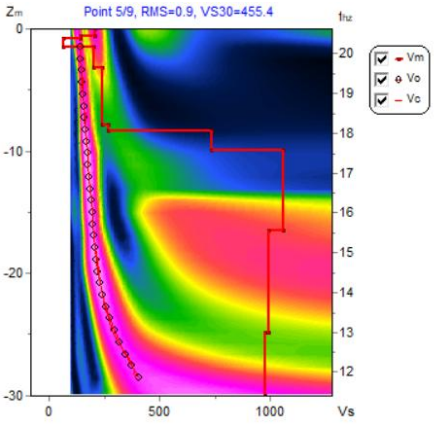
Figura 3-116 Perfil Vs-4 LSR-1



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	386.52	0.36	1.8	0	0.6
2	192.71	0.31	1.8	0.6	0.2
3	84.74	0.25	1.8	0.8	0.8
4	171.61	0.25	1.8	1.6	1.0
5	324.09	0.30	1.8	2.5	3.1
6	368.78	0.34	1.8	5.7	3.6
7	606.20	0.36	1.9	9.3	8.5
8	1032.31	0.35	1.9	17.8	0.9
9	1195.23	0.32	1.9	18.7	6.1
10	1271.56	0.31	1.9	24.8	*

Fuente: Elaboración propia

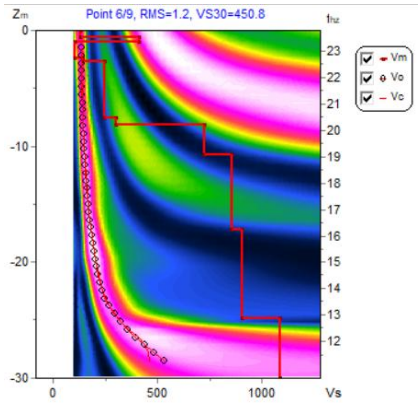
Figura 3-117 Perfil Vs-5 LSR-1



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	208.28	0.33	1.8	0	0.6
2	145.83	0.33	1.8	0.6	0.2
3	67.63	0.32	1.8	0.8	0.7
4	203.73	0.32	1.8	1.5	1.7
5	241.61	0.33	1.8	3.2	4.7
6	271.98	0.34	1.8	7.9	0.5
7	735.93	0.34	1.9	8.3	1.6
8	1061.98	0.34	1.9	10.0	6.5
9	998.35	0.34	1.9	16.5	8.4
10	981.97	0.34	1.9	24.9	*

Fuente: Elaboración propia

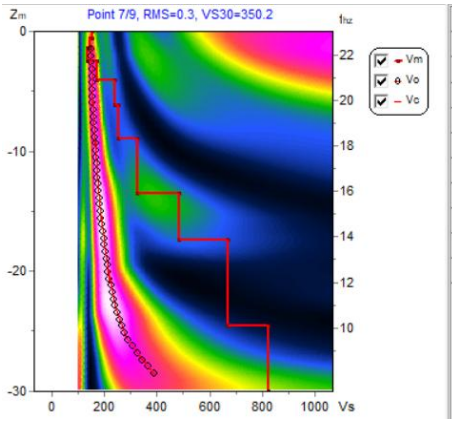
Figura 3-118 Perfil Vs-6 LSR-1



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	133.48	0.32	1.8	0	0.6
2	411.34	0.32	1.8	0.6	0.4
3	104.87	0.31	1.8	1.0	1.4
4	141.82	0.32	1.8	2.4	0.3
5	247.15	0.33	1.8	2.7	4.9
6	301.68	0.34	1.8	7.6	0.6
7	725.54	0.34	1.9	8.2	2.5
8	858.01	0.34	1.9	10.7	6.5
9	905.98	0.34	1.9	17.2	7.7
10	1087.84	0.34	1.9	24.8	*

Fuente: Elaboración propia

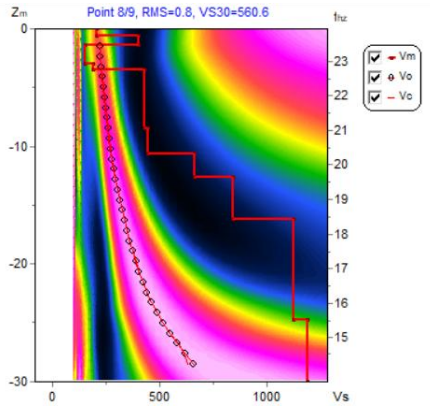
Figura 3-119 Perfil Vs-7 LSR-1



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	155.70	0.34	1.8	0	0.6
2	144.94	0.33	1.8	0.6	0.8
3	134.62	0.33	1.8	1.4	1.1
4	171.90	0.33	1.8	2.5	1.6
5	239.63	0.33	1.8	4.1	2.1
6	255.32	0.34	1.8	6.1	2.8
7	326.52	0.34	1.9	9.0	4.6
8	482.28	0.34	1.9	13.5	3.8
9	671.25	0.33	1.9	17.3	7.2
10	824.40	0.33	1.9	24.5	*

Fuente: Elaboración propia

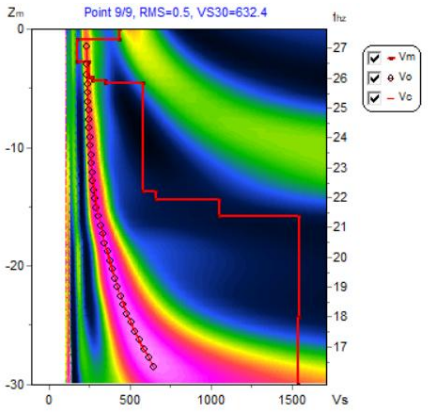
Figura 3-120 Perfil Vs-8 LSR-1



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	207.12	0.33	1.8	0	0.6
2	400.75	0.34	1.8	0.6	0.8
3	151.15	0.34	1.8	1.4	1.6
4	191.53	0.34	1.8	3.0	0.5
5	431.49	0.35	1.8	3.4	5.0
6	446.27	0.34	1.8	8.4	2.2
7	663.92	0.34	1.9	10.6	1.9
8	844.28	0.33	1.9	12.6	3.6
9	1122.07	0.33	1.9	16.2	8.6
10	1187.94	0.33	1.9	24.8	*

Fuente: Elaboración propia

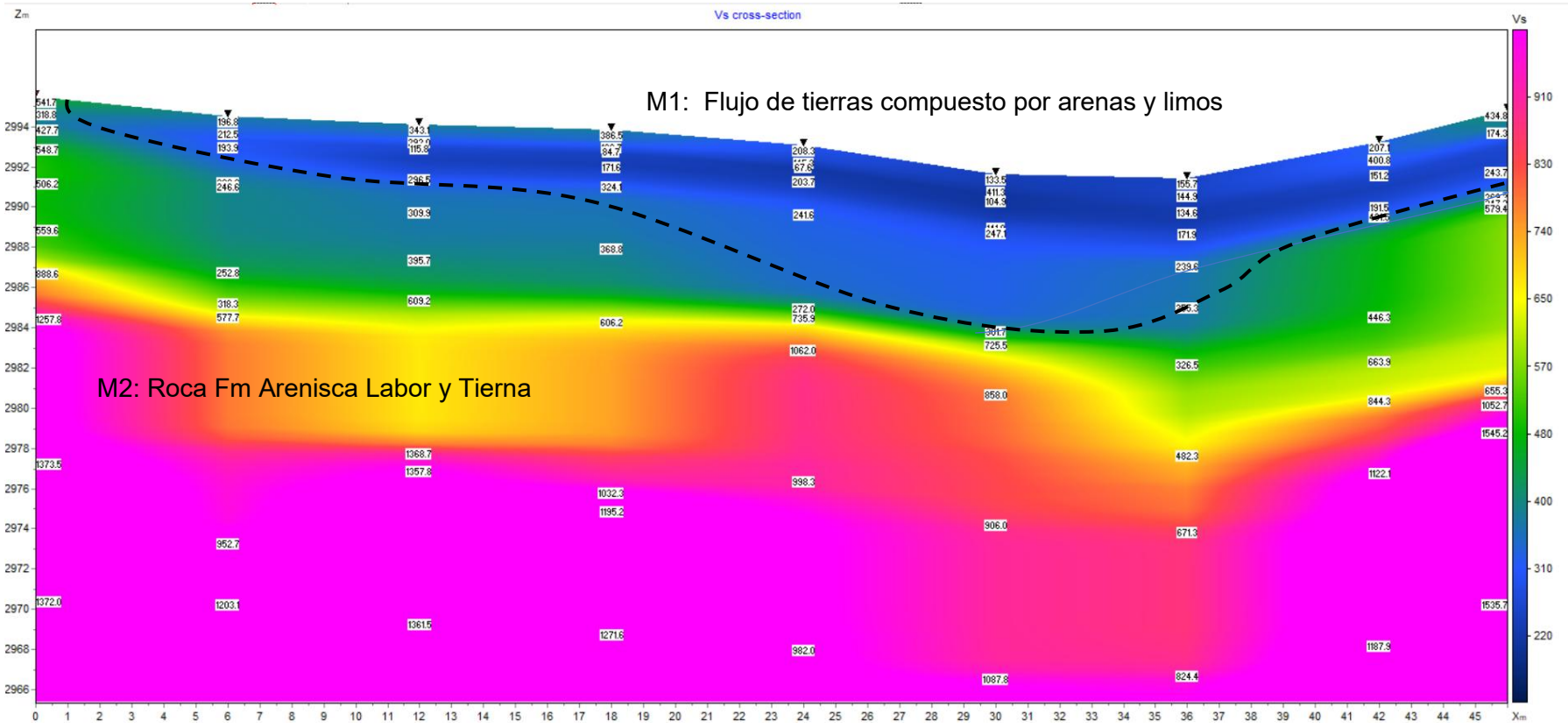
Figura 3-121 Perfil Vs-9 LSR-1



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	434.80	0.33	1.8	0	0.9
2	174.29	0.33	1.8	0.9	1.9
3	243.69	0.33	1.8	2.8	1.3
4	269.23	0.33	1.8	4.1	0.3
5	347.17	0.33	1.8	4.4	0.2
6	579.38	0.33	1.8	4.6	9.1
7	655.29	0.33	1.9	13.7	0.7
8	1052.67	0.33	1.9	14.4	1.4
9	1545.24	0.33	1.9	15.8	8.6
10	1535.69	0.33	1.9	24.4	*

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-122 Perfil 2D Velocidad de onda de corte (Unidades en m/s y m) – LSR-1



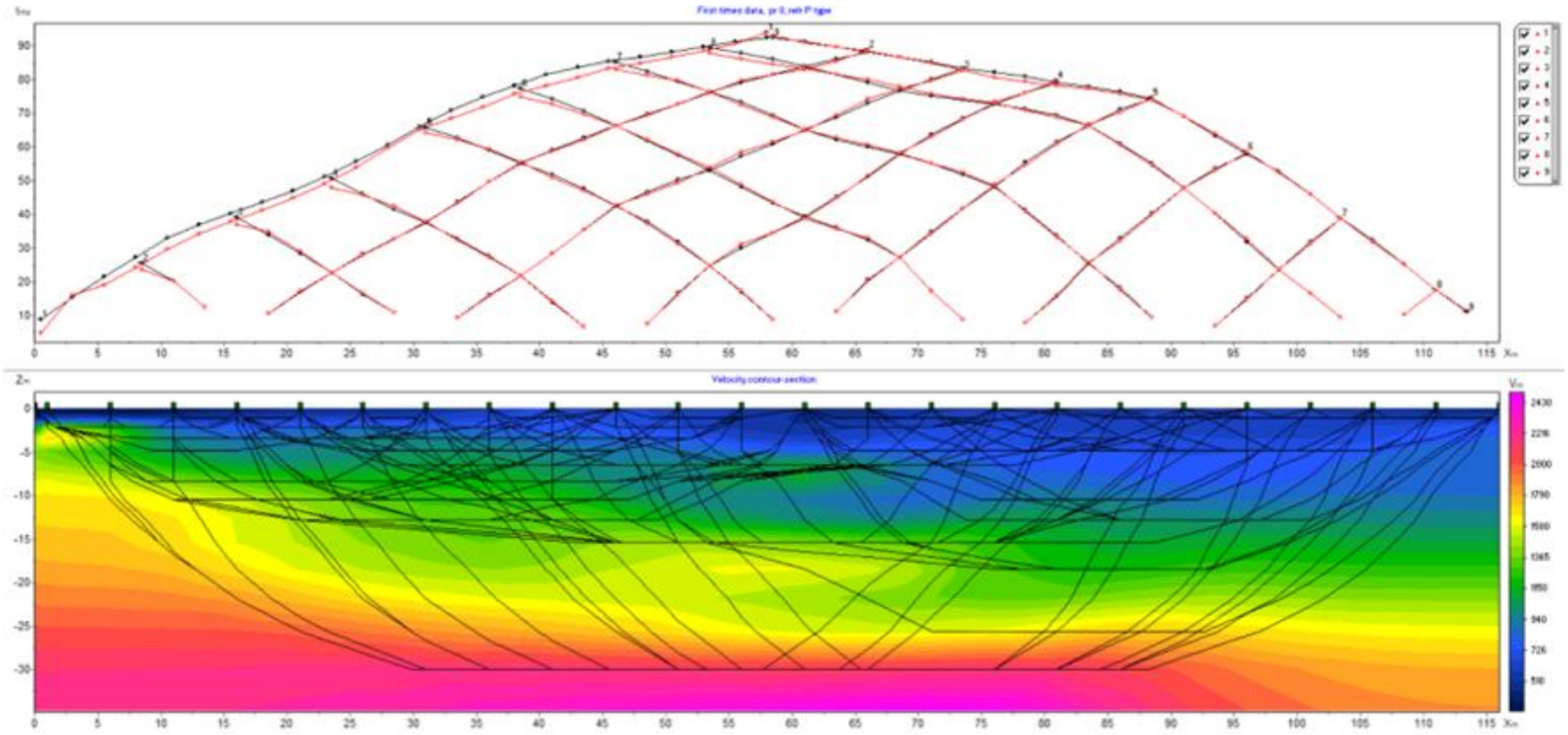
Fuente: Elaboración propia

LÍNEA SÍSMICA DE REFRACCIÓN 2

Se realizó un arreglo con 115 m de longitud, un distanciamiento entre geófonos de 5 m, con los tiempos de arribo se construyó la tomografía de ondas compresionales Vp, la cual se presenta en la Figura 3-123. Del modelo y la geología regional de la zona se pueden inferir las siguientes características del suelo:

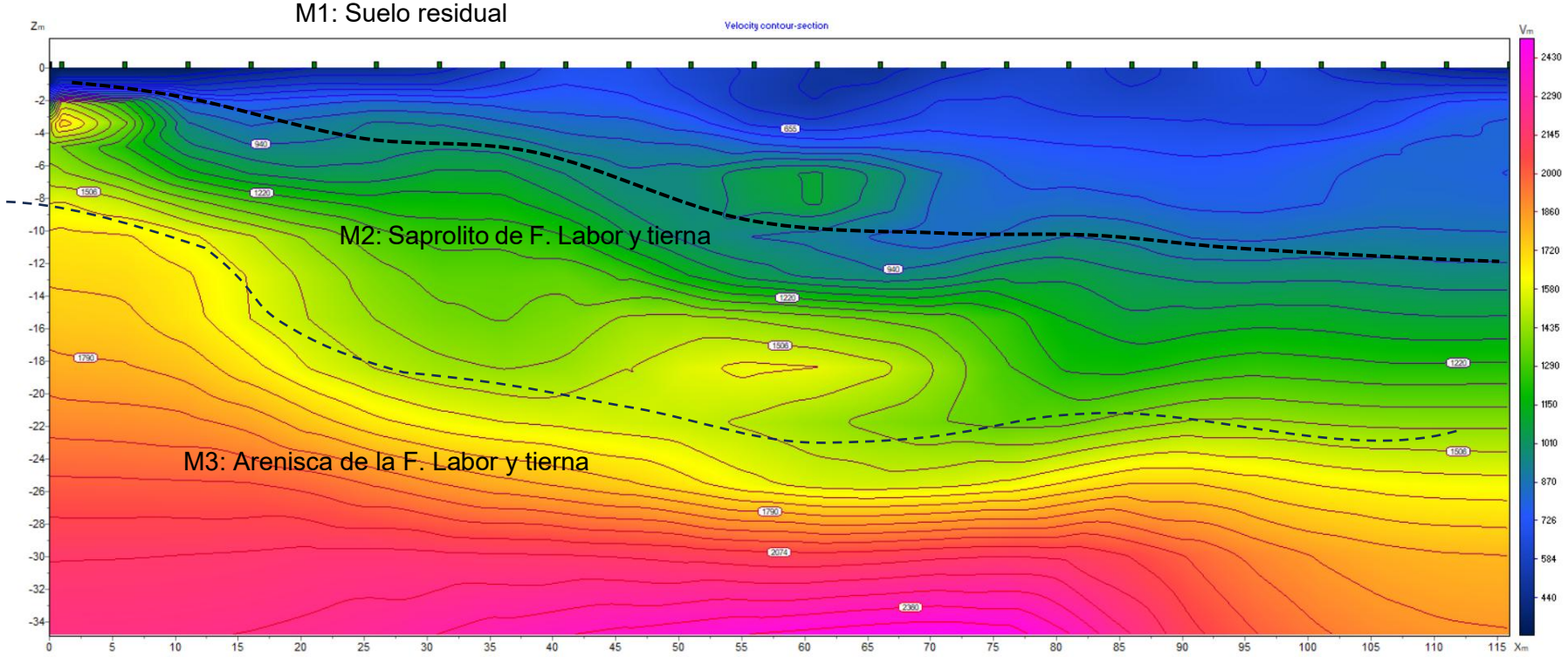
- Se identifica un perfil de velocidad de onda de compresión que aumenta desde 650 m/s hasta 2360 m/s.
- Se identifica un primer material (M1), con un espesor 2-12 metros aproximadamente a partir de la superficie, con velocidad de onda P de 665 m/s, se asocia al suelo residual de la arenisca.
- Se identifica un segundo material (M2), a partir de 2/12 hasta los 9/24 metros de profundidad, con velocidades de onda P de 1500 m/s, se interpreta como el saprolito de la Formación labor y tierna.
- Se identifica un tercer material (M3), a partir de los 9/24 metros de profundidad hasta los 30 m, con velocidades de onda P de 2000 m/s, se interpreta como la arenisca de la formación labor y tierna.

Figura 3-123 Tomografía Vp



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-124 Perfil del suelo interpretado resultados sísmica de refracción LSR2



Fuente: Elaboración propia

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:

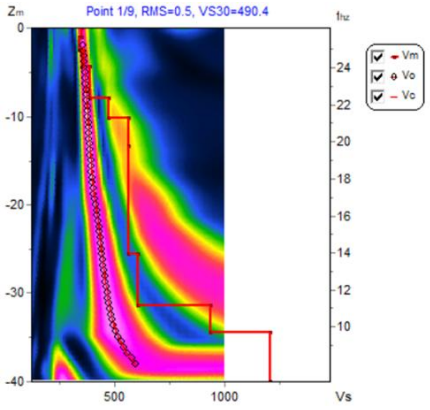
- Según el cálculo del Vs30 se tiene que el suelo se clasifica como Tipo C con un Vs de 431 m/s, el cual se describe como perfil de Suelos muy densos o roca blanda.
- Se identificó una capa M1 con una velocidad Vs de 185 a 350 m/s, con un espesor de 2 a 5 metros aproximadamente a partir desde superficial, se asocia a suelo residual de arenisca.
- Una segunda capa M2 con una velocidad Vs de 350 a 500 m/s, la cual va a partir de 2/5 metros de profundidad y se extiende hasta los 22 metros de profundidad aproximadamente, se interpreta como el saprolito o la roca muy alterada de Arenisca de la formación Labor y Tierna.
- Una tercera capa M3 con una velocidad Vs superior de 750 m/s, la cual va a partir de los 22 metros de profundidad y se extiende hasta los 30 metros de profundidad, se interpreta como le basamento rocoso de la Arenisca de formación Labor y Tierna.

Tabla 3-19 Perfil Vs30 LSR-2

Desde (m)	Hasta (m)	Espesor (m)	Vs (m/s)
0.0	1.1	1.10	185.638
1.1	2.5	1.42	224.924
2.5	4.5	1.97	233.366
4.5	5.7	1.18	311.65
5.7	10.3	4.62	401.715
10.3	15.2	4.94	386.921
15.2	16.3	1.02	477.47
16.3	29.3	13.05	724.846
29.3	30.0	0.70	999.075
Vs30 (m/s)			**431**

Fuente: Elaboración propia

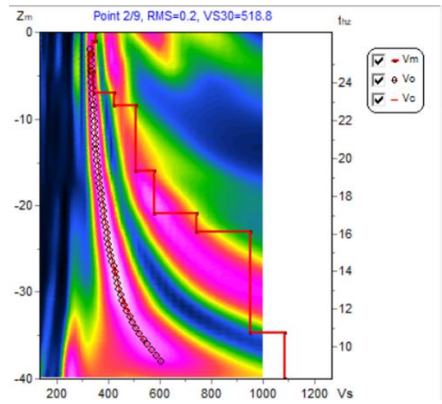
Figura 3-125 Perfil Vs-1 LSR-2



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	349.11	0.28	1.9	0	1.1
2	336.77	0.28	1.9	1.1	1.4
3	352.28	0.27	1.9	2.5	1.8
4	387.00	0.27	1.9	4.3	3.6
5	469.91	0.27	1.9	7.9	2.3
6	565.09	0.28	1.9	10.2	3.2
7	563.94	0.28	2.0	13.4	12.2
8	607.30	0.28	2.0	25.6	5.8
9	934.33	0.28	2.0	31.4	3.0
10	1207.55	0.27	2.0	34.4	*

Fuente: Elaboración propia

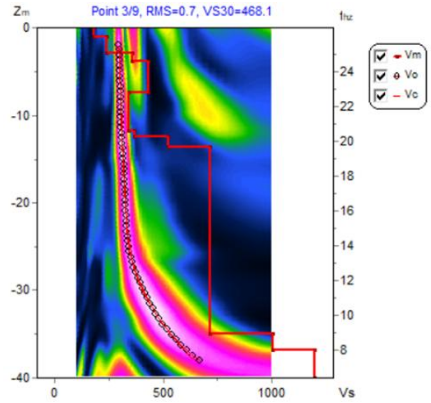
Figura 3-126 Perfil Vs-2 LSR-2



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	352.47	0.28	1.9	0	1.1
2	337.91	0.28	1.9	1.1	1.4
3	323.47	0.28	1.9	2.5	2.1
4	342.94	0.28	1.9	4.7	2.3
5	420.41	0.28	1.9	7.0	1.5
6	506.12	0.28	1.9	8.5	7.5
7	577.86	0.28	2.0	16.0	4.9
8	743.74	0.28	2.0	20.9	2.1
9	951.03	0.28	2.0	23.0	11.6
10	1082.53	0.28	2.0	34.7	*

Fuente: Elaboración propia

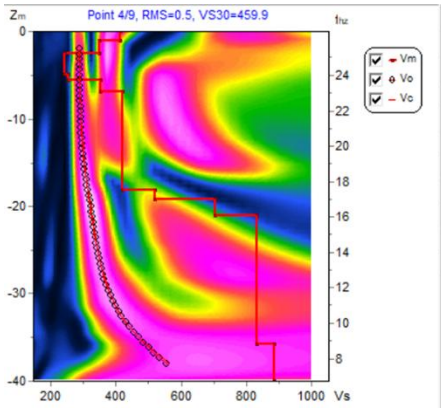
Figura 3-127 Perfil Vs-3 LSR-2



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	183.49	0.28	1.9	0	1.1
2	240.10	0.27	1.9	1.1	1.7
3	358.61	0.27	1.9	2.8	1.0
4	434.28	0.28	1.9	3.9	3.5
5	340.43	0.28	1.9	7.4	4.4
6	367.74	0.28	1.9	11.8	0.6
7	521.60	0.28	2.0	12.4	1.1
8	714.49	0.27	2.0	13.6	21.4
9	1004.81	0.27	2.0	35.0	1.8
10	1194.67	0.28	2.0	36.8	*

Fuente: Elaboración propia

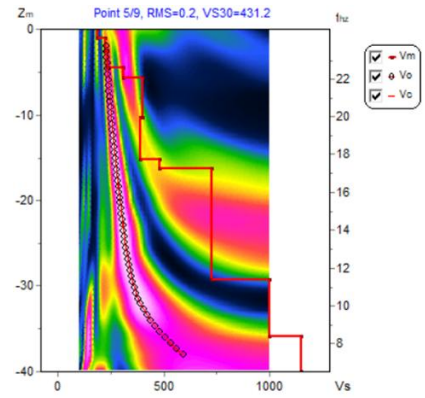
Figura 3-128 Perfil Vs-4 LSR-2



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	412.33	0.27	1.9	0	1.1
2	350.20	0.28	1.9	1.1	1.4
3	242.91	0.28	1.9	2.5	2.4
4	253.77	0.28	1.9	4.9	0.7
5	351.50	0.28	1.9	5.6	1.3
6	419.96	0.27	1.9	6.9	11.3
7	519.89	0.27	2.0	18.2	1.0
8	704.35	0.27	2.0	19.2	1.9
9	831.72	0.28	2.0	21.0	14.7
10	886.22	0.28	2.0	35.8	*

Fuente: Elaboración propia

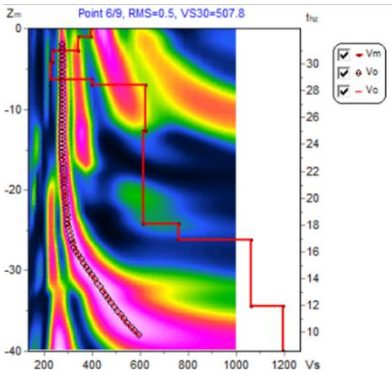
Figura 3-129 Perfil Vs-5 LSR-2



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	185.64	0.28	1.9	0	1.1
2	224.92	0.28	1.9	1.1	1.4
3	233.37	0.28	1.9	2.5	2.0
4	311.65	0.28	1.9	4.5	1.2
5	401.71	0.28	1.9	5.7	4.6
6	386.92	0.28	1.9	10.3	4.9
7	477.47	0.28	2.0	15.2	1.0
8	724.85	0.28	2.0	16.3	13.0
9	999.08	0.28	2.0	29.3	6.6
10	1146.67	0.27	2.0	35.9	*

Fuente: Elaboración propia

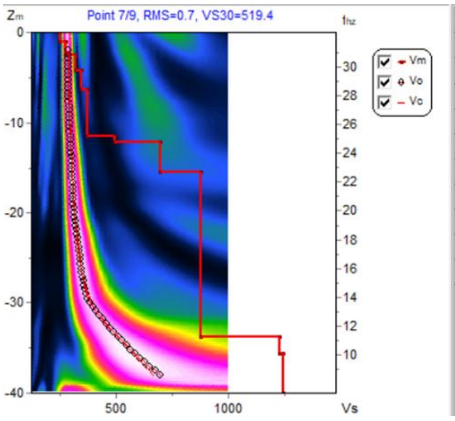
Figura 3-130 Perfil Vs-6 LSR-2



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	394.18	0.26	1.9	0	1.1
2	344.07	0.27	1.9	1.1	1.7
3	237.47	0.29	1.9	2.8	1.4
4	226.16	0.30	1.9	4.2	2.2
5	400.18	0.29	1.9	6.4	0.6
6	623.52	0.28	1.9	7.0	5.8
7	611.73	0.27	2.0	12.8	11.4
8	758.01	0.27	2.0	24.2	2.1
9	1062.66	0.27	2.0	26.3	8.1
10	1194.34	0.28	2.0	34.4	*

Fuente: Elaboración propia

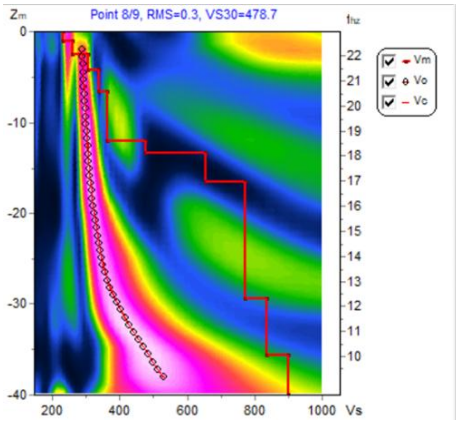
Figura 3-131 Perfil Vs-7 LSR-2



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	246.50	0.30	1.9	0	1.1
2	272.47	0.28	1.9	1.1	1.4
3	317.75	0.26	1.9	2.5	1.8
4	346.62	0.25	1.9	4.2	2.1
5	369.85	0.26	1.9	6.3	5.2
6	495.33	0.29	1.9	11.6	0.6
7	697.35	0.31	2.0	12.2	3.3
8	877.38	0.30	2.0	15.4	18.4
9	1228.27	0.27	2.0	33.8	1.7
10	1245.33	0.25	2.0	35.6	*

Fuente: Elaboración propia

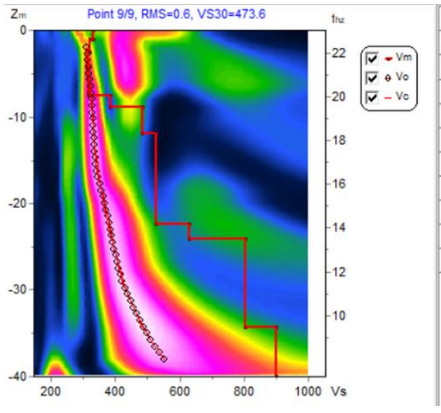
Figura 3-132 Perfil Vs-8 LSR-2



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	233.19	0.28	1.9	0	1.1
2	262.06	0.28	1.9	1.1	1.5
3	305.61	0.28	1.9	2.6	1.7
4	339.15	0.28	1.9	4.2	2.3
5	364.69	0.28	1.9	6.6	5.5
6	475.85	0.28	1.9	12.1	1.3
7	653.37	0.28	2.0	13.3	3.2
8	771.79	0.28	2.0	16.5	12.8
9	835.64	0.28	2.0	29.3	6.3
10	900.30	0.28	2.0	35.6	*

Fuente: Elaboración propia

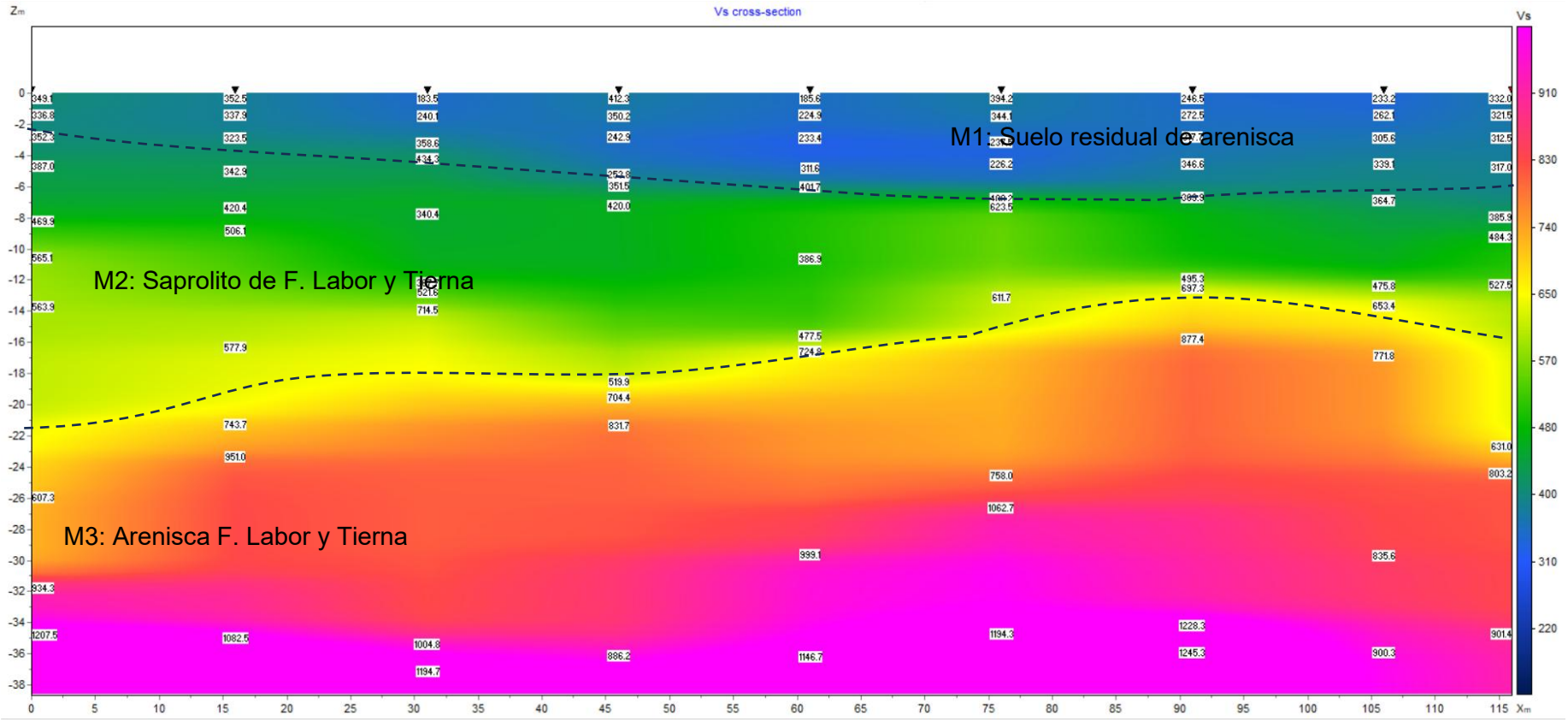
Figura 3-133 Perfil Vs-9 LSR-2



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	332.01	0.28	1.9	0	1.1
2	321.45	0.28	1.9	1.1	1.4
3	312.49	0.28	1.9	2.5	1.9
4	317.05	0.28	1.9	4.4	3.2
5	385.89	0.28	1.9	7.6	1.3
6	484.30	0.28	1.9	8.9	3.1
7	527.53	0.28	2.0	12.0	10.3
8	630.95	0.28	2.0	22.3	1.8
9	803.23	0.28	2.0	24.1	10.2
10	901.37	0.28	2.0	34.3	*

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-134 Perfil 2D Velocidad de onda de corte (Unidades en m/s y m) – LSR-2



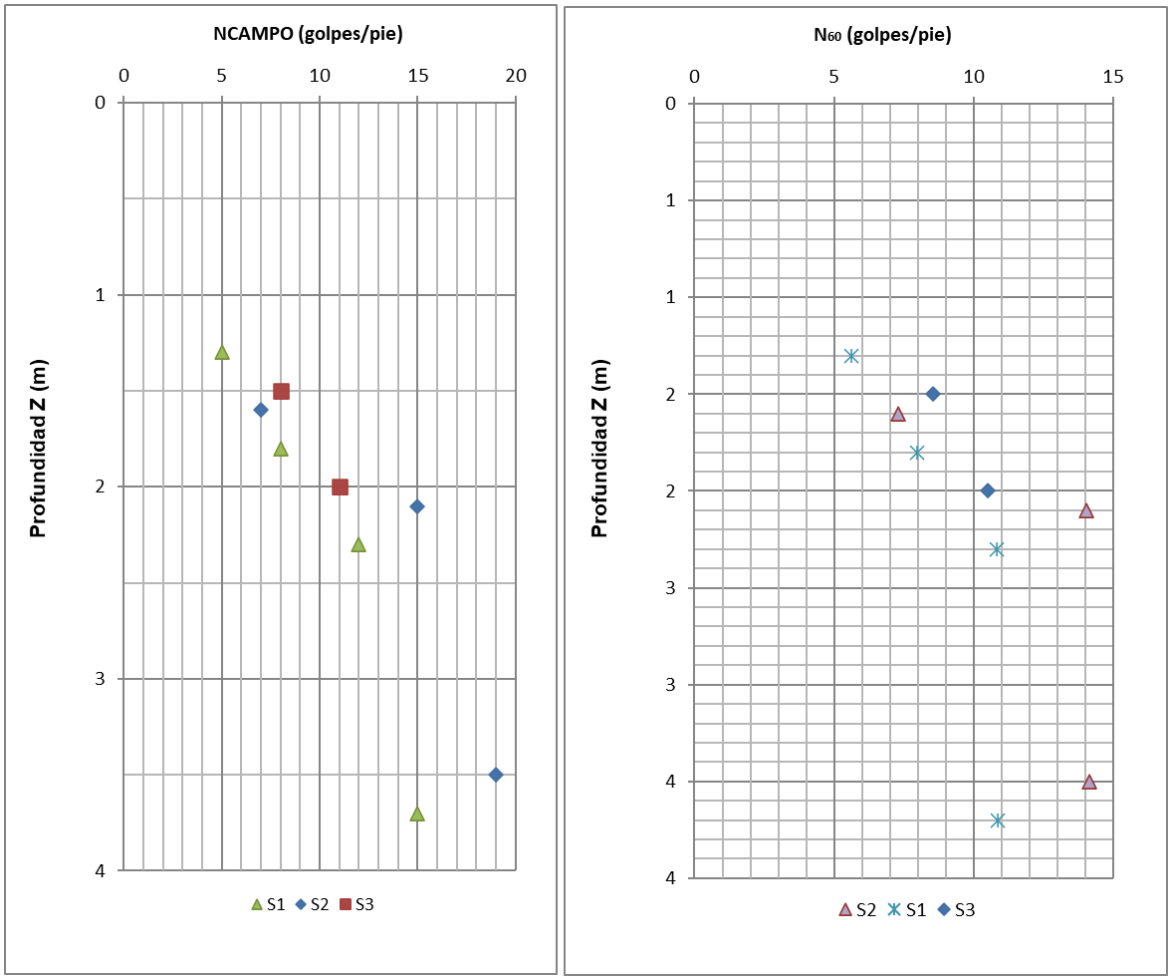
Fuente: Elaboración propia

3.4.3.4 Ensayos de campo

Ensayo de penetración estándar (SPT)

Se realizó el ensayo de SPT en las perforaciones realizadas. En la Figura 3-135, se presentan los valores de Ncampo en profundidad, de acuerdo con los resultados se tiene un material de limo orgánico con espesor de 2.0 m en profundidad con valores de 5 a 8 golpes/pie corregido con un valor promedio de 7 golpes/pie correspondiente a un suelo de consistencia suelta, luego se encuentra el mismo material de arena fina a partir de una profundidad de 2.0-4.0m con valores de 11 a 22 golpes/pie corregido con un valor promedio de 14 golpes/pie correspondiente a un suelo de consistencia media.

Figura 3-135 Variación SPT SC



Fuente: Elaboración propia

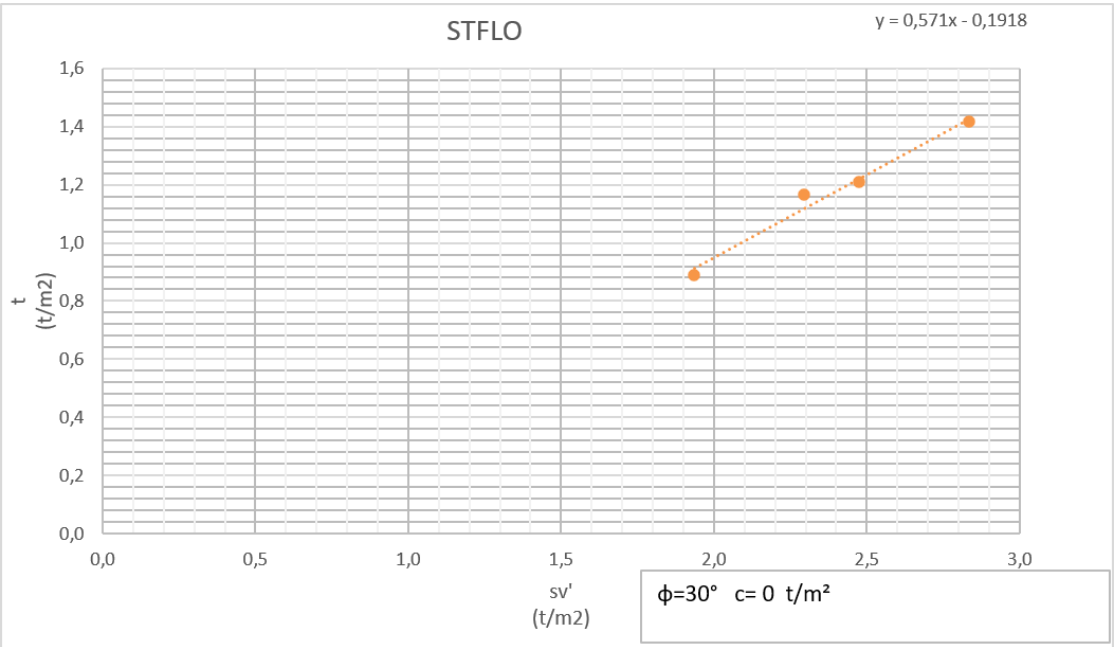
Para estimar los valores de ángulo de fricción del material se utilizó la correlación en el ensayo de SPT calculando el ángulo de fricción equivalente (ϕ_{equiv}), para ello se utilizó la siguiente expresión:

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

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}.

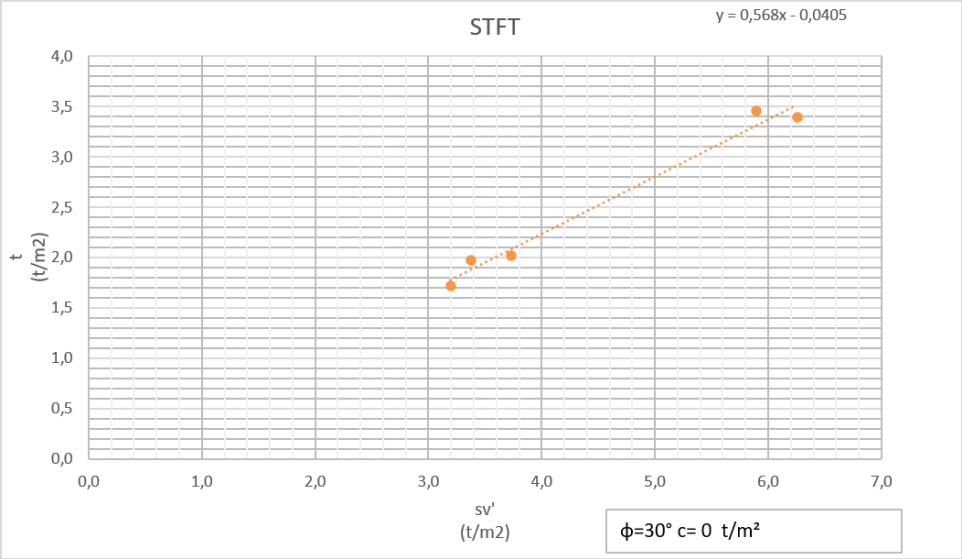
De esta manera, se obtienen los parámetros de resistencia para el material Stflo y Stft del sitio crítico a partir de los sondeos 1, 2 y 3.

Figura 3-136 Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal. Stflo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-137 Diagrama de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal. Stft

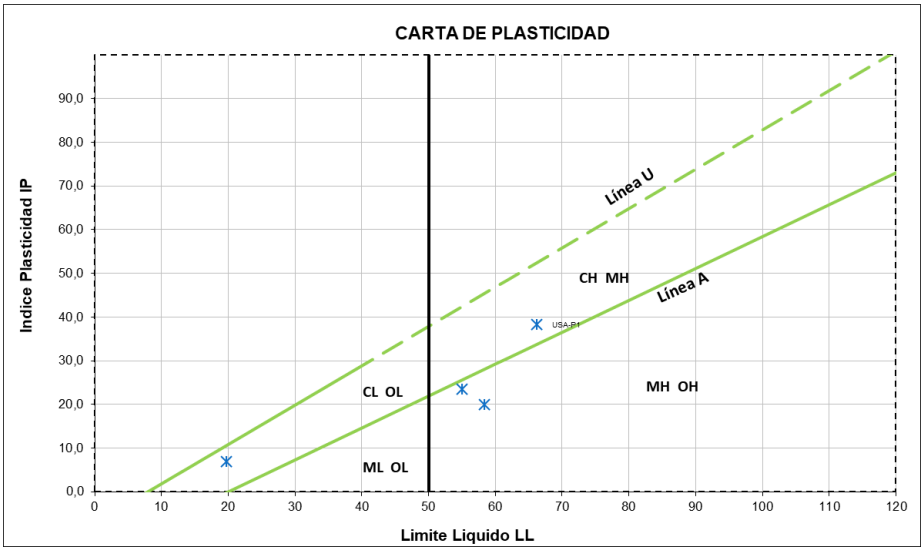


Fuente: Elaboración propia

Parámetros índices

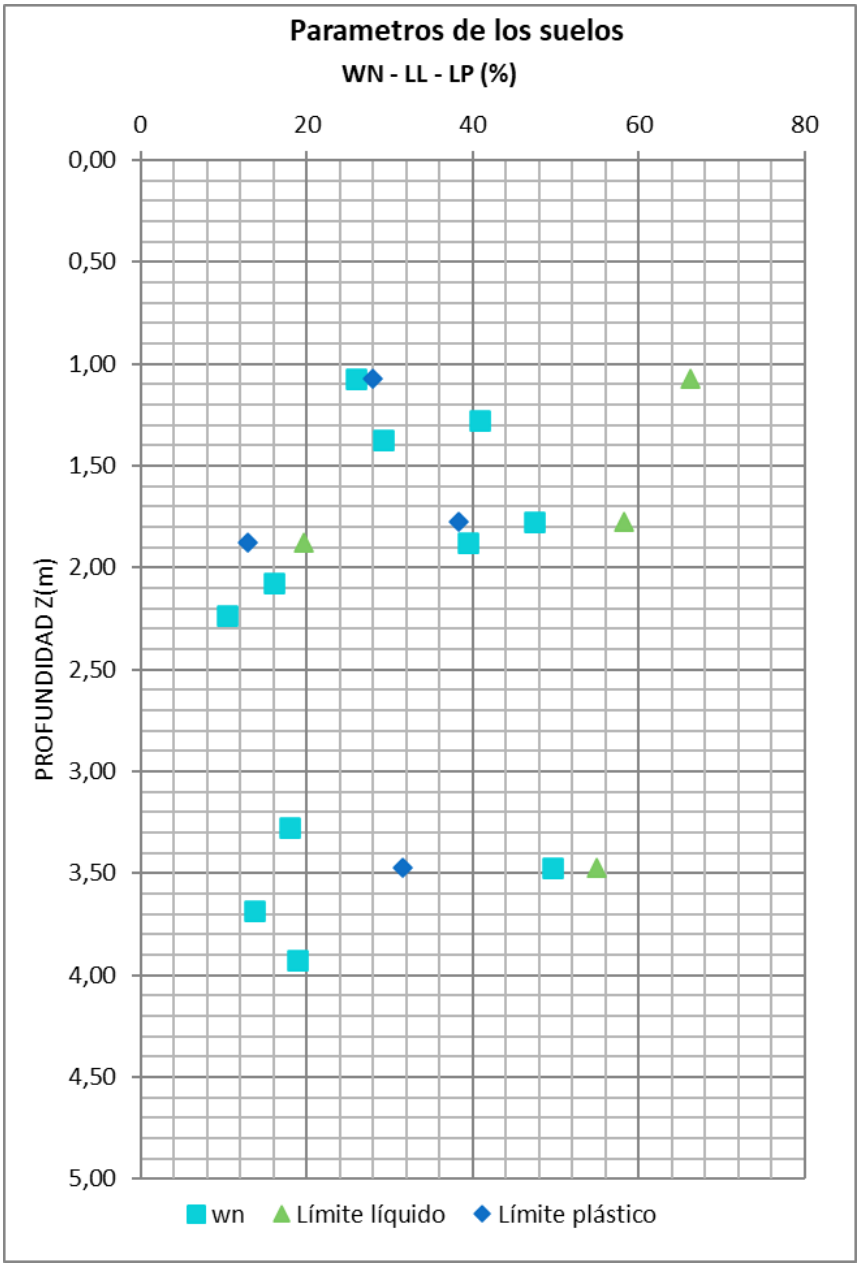
Se graficaron los resultados en profundidad del contenido de humedad y límites de consistencia realizados en los materiales encontrados en la zona de estudio, en su mayoría los materiales son de tipo finos.

Figura 3-138 Carta de plasticidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-139 Variación de parámetros índice muestras de sondeos

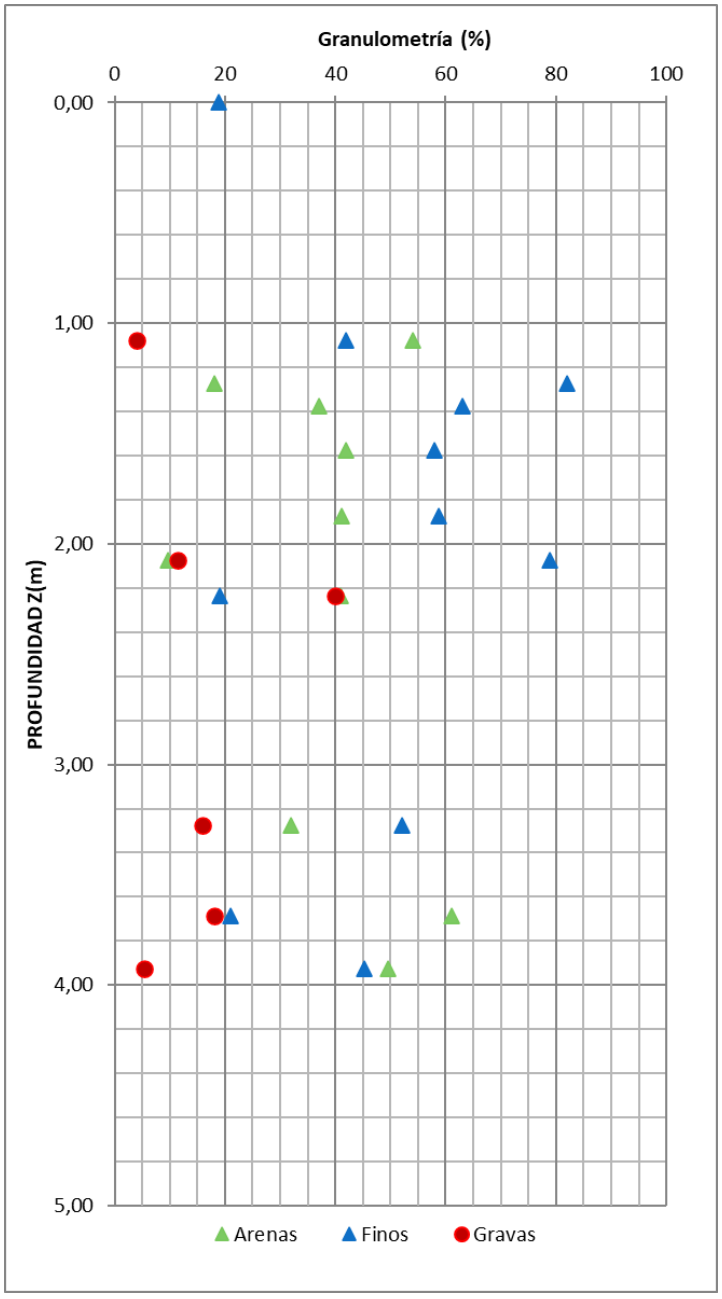


Fuente: Elaboración propia

Granulometría

En la Figura 3-140 se presenta los resultados de los ensayos de granulometría realizados en la totalidad de las muestras.

Figura 3-140 Variación granulometría

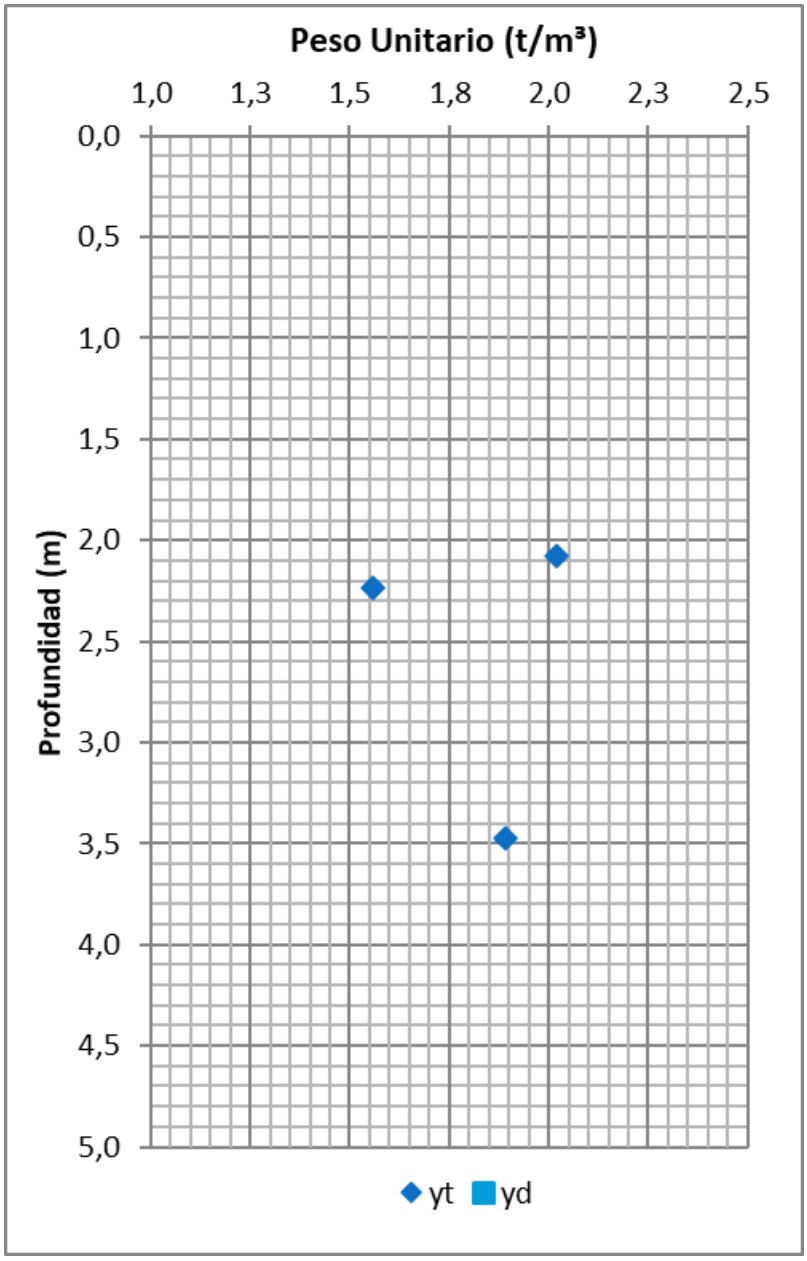


Fuente: Elaboración propia

Peso unitario

En la Figura 3-141 se presenta los resultados del ensayo de peso unitario en las muestras obtenidas.

Figura 3-141 Variación peso unitario



Fuente: Elaboración propia

Carga puntual

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de laboratorio para la muestra analizada.

Tabla 3-20 Resultados de carga puntual

SONDEO	Prof. prom. [m]	MATERIAL	Carga puntual [t/m2]
USA-P3-7	6,65	Rblt – IV	140

Fuente: Elaboración propia

Compresión simple

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de laboratorio para la muestra analizada.

Tabla 3-21 Resultados de compresión simple

SONDEO	Prof. prom. [m]	MATERIAL	Compresión simple [t/m2]
USA-P3-6	4,90	Rblt – IV	6073,6

Fuente: Elaboración propia

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 3-22 Modulo de Young sitio crítico

MATERIAL	E [MPa]
Stflo	13.0
Stft	23.3
Rblt – IV	37.5
Rdlt III - II	596.2

Fuente: Elaboración propia

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 3-23 Coeficiente de Poisson sitio crítico

MATERIAL	μ (-)
Stflo	0.46
Stft	0.48
Rblt – IV	0.49
Rdlt III - II	0.46

Fuente: Elaboración propia

3.4.4 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO GENERAL

Con el fin de representar adecuadamente las condiciones del subsuelo del Polígono 3 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: Stflo

Corresponde al horizonte superficial del terreno, conformado por un suelo limo arcilloso orgánico de color café a negro, producto de la acumulación de materia orgánica y sedimentos finos. Se caracteriza por presentar una consistencia blanda, humedad media y un comportamiento compresible. Este estrato constituye la cobertura superficial del perfil geotécnico, con un espesor aproximado de 2 m, apoyándose sobre materiales de origen arenoso.

- Peso Unitario: 1.78 t/m3 Se tomó de la correlación del Vs.
- Resistencia al corte
    - Angulo de fricción: 27° Se tomó del promedio de la correlación de SPT y Vs
    - Cohesión: 0.0 t/m^2 Se tomó de la correlación de SPT

M2: Stft

Estrato subyacente al horizonte orgánico, conformado por un suelo arenoso de grano fino a muy fino, de color café a negro, no plástico con humedad media. Presenta una compacidad media y corresponde a un suelo transportado.

- Peso Unitario: 1.86t/m3 Se tomó de la correlación del Vs.

- Resistencia al corte
    - Angulo de fricción: 30° Se tomó de la correlación de SPT
    - Cohesión: 0.00 t/m^2 Se tomó de la correlación de SPT

M3: Rbl – IV

Corresponde a una unidad de roca blanda perteneciente a la Formación Labor y Tierna, conformada por areniscas cuarzosas de grano fino con un alto grado de meteorización (Grado IV). Aunque conserva parcialmente la estructura original de la roca, presenta una importante pérdida de resistencia debido a los procesos de alteración física y química. Se caracteriza por un macizo intensamente fracturado, con bloques de pequeñas dimensiones y alta permeabilidad a través de las discontinuidades, lo que favorece la infiltración de agua y la evolución hacia suelos residuales. Desde el punto de vista geotécnico, constituye una unidad de transición entre el suelo residual y la roca competente, con baja calidad geomecánica y elevada susceptibilidad a procesos de inestabilidad cuando la estratificación buza en el sentido de la pendiente.

- GSI:25
- Resistencia a la compresión uniaxial: 60.9 MPa Se tomó de la correlación de lectura del martillo Schmidt (esclerómetro).

M4: Rdl III - II

Corresponde al macizo rocoso competente de la Formación Labor y Tierna, conformado por areniscas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas de grano fino, con buena cementación y un grado de meteorización entre moderado y ligero (Grados III–II). Esta unidad conserva en gran medida su estructura y fábrica original, presentando un macizo moderadamente fracturado, con discontinuidades bien definidas y bloques de mayores dimensiones. Se caracteriza por una elevada resistencia mecánica y buenas condiciones geomecánicas, constituyendo el sustrato rocoso competente sobre el cual descansan las unidades más meteorizadas y actuando como base resistente frente a los procesos de remoción en masa.

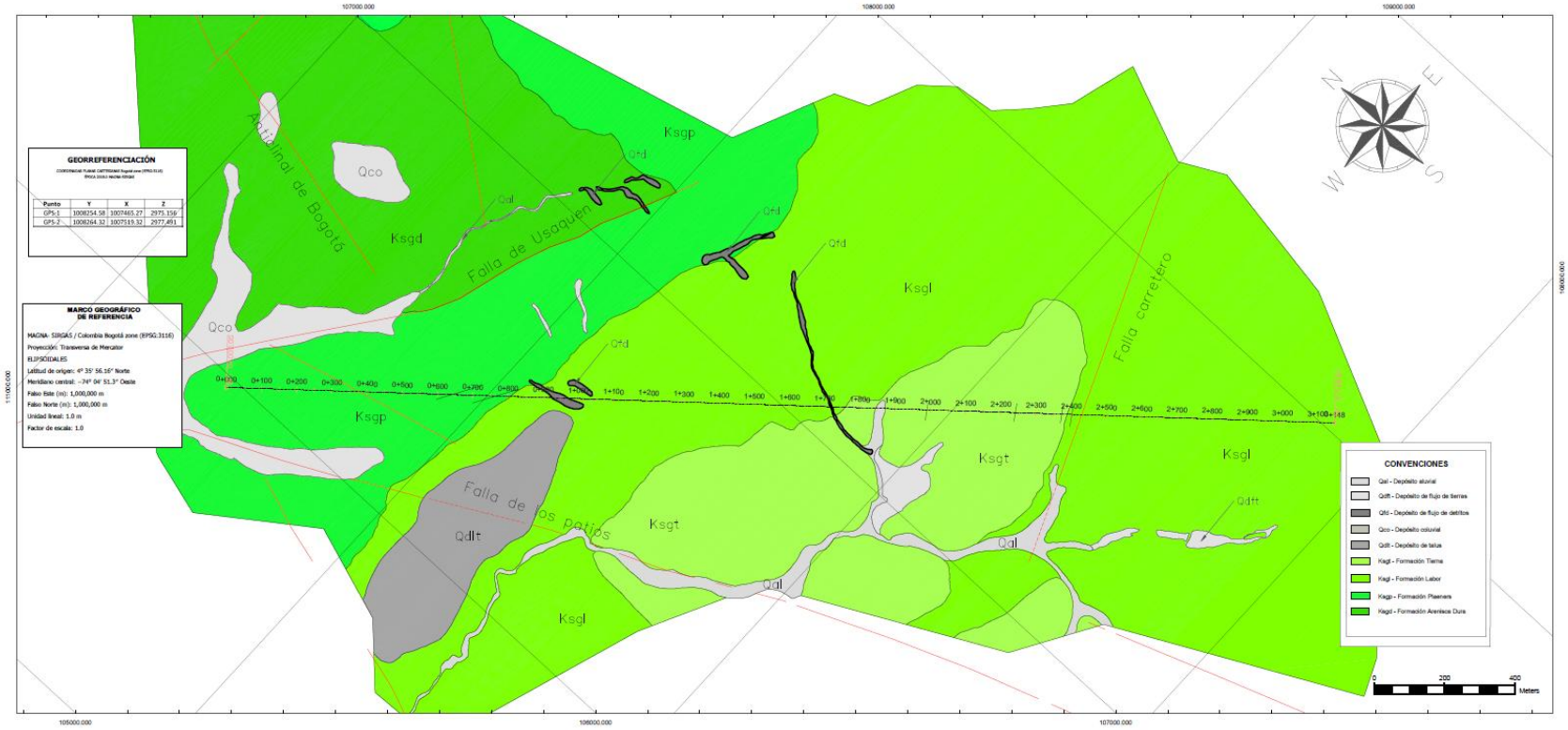
- GSI:45
- Resistencia a la compresión uniaxial: 81.8 MPa Se tomó de la correlación de lectura del martillo Schmidt (esclerómetro).

M5: SrIt-VI

Estrato presenta en la corona del talud, conformado por suelo arenoso de color café, de grano fino, que presenta un grado mayor de meteorización sin fragmentos reconocibles de la roca parental. Tomado de información secundaria del Contrato de obra IDU-No 1773 de 2023 sitio crítico 30.

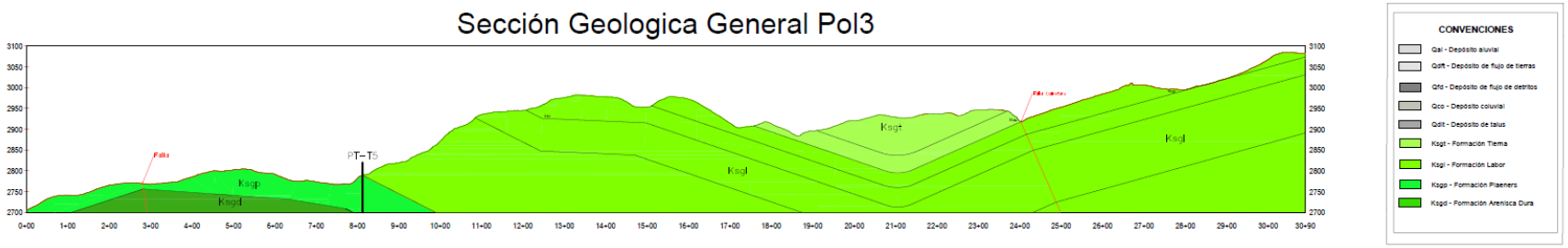
- Peso Unitario: 1.8t/m3 Tomado de información secundaria.
- Resistencia al corte
    - Angulo de fricción: 27° Tomado de información secundaria.
    - Cohesión: 7.0 t/m^2 Tomado de información secundaria.

Figura 3-142 Planta - Modelo geológico geotécnico general



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-143 Perfil - Modelo geológico geotécnico general



Fuente: Elaboración propia

3.5 CONCLUSIONES

- El área de estudio se encuentra desarrollada principalmente sobre materiales de la Formación Labor y Tierna, representados por areniscas cuarzosas, niveles de limolitas y materiales residuales altamente meteorizados, cuyas características geomecánicas condicionan el comportamiento de las laderas y la susceptibilidad a procesos de inestabilidad.
- La caracterización geológica y geotécnica permitió identificar una marcada heterogeneidad en la calidad del macizo rocoso, con índices GSI que varían desde condiciones pobres hasta moderadas, asociadas principalmente al grado de fracturamiento, meteorización y espaciamiento de discontinuidades.
- Los trabajos de campo evidenciaron la presencia de materiales residuales arenosos de baja cohesión y alta susceptibilidad a la erosión, así como zonas de transición suelo-roca altamente meteorizadas, que presentan un comportamiento mecánico desfavorable frente a procesos de saturación hídrica y remoción en masa.
- El análisis estructural permitió establecer que la disposición de los estratos y discontinuidades ejerce un control significativo sobre la estabilidad de las laderas. Particularmente, se identificaron sectores donde el buzamiento de la estratificación se encuentra a favor de la pendiente, condición que favorece el desarrollo de superficies potenciales de falla y la ocurrencia de movimientos en masa.
- El análisis multitemporal evidenció que la zona ha estado sometida históricamente a procesos erosivos activos, asociados a la acción combinada de la dinámica fluvial, las condiciones geomorfológicas del terreno y las intervenciones antrópicas, generando una degradación progresiva de las laderas.
- Se identificó una expansión progresiva de la actividad antrópica, reflejada en el crecimiento urbano, la construcción de infraestructura vial y la explotación de materiales de construcción, factores que han modificado las condiciones naturales del relieve y alterado los patrones de drenaje superficial.
- Entre los años 2016 y 2023 se observó un incremento de las superficies erosionadas, acompañado por el desarrollo y ampliación de surcos, cárcavas y drenajes disectados, lo que evidencia una evolución activa de los procesos de degradación geomorfológica y una tendencia creciente hacia la inestabilidad del

terreno.

- El evento más representativo identificado en la evaluación reciente corresponde a un flujo de detritos ocurrido durante 2023 y registrado en la imagen satelital del año 2024, cuyo origen se relaciona con la saturación de materiales residuales altamente meteorizados, la presencia de pendientes pronunciadas, la concentración de escorrentía en drenajes naturales y la baja resistencia de los materiales superficiales.
- La morfología canalizada del flujo y su desarrollo a través de un drenaje preexistente demuestran que la red hidrográfica local constituye un factor de control fundamental en la generación, dirección y propagación de los procesos de remoción en masa dentro del área de estudio.
- Las condiciones geomorfológicas, geológicas, estructurales e hidrológicas identificadas indican que el sector presenta una susceptibilidad alta a la reactivación de movimientos en masa, especialmente ante eventos de precipitación intensa que incrementen la saturación de los materiales superficiales y favorezcan los procesos erosivos activos.
- En términos generales, la evolución geomorfológica observada evidencia una tendencia continua hacia la degradación de las laderas y la propagación de zonas inestables, por lo que resulta indispensable implementar medidas de manejo de aguas superficiales, control de erosión y estabilización de taludes para reducir el riesgo asociado a futuros eventos de remoción en masa.

3.6 EVALUACIÓN SISMOLÓGICA

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 3, localizado en la localidad de Usaquén.

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.

3.6.1 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 Vs30 = 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.

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

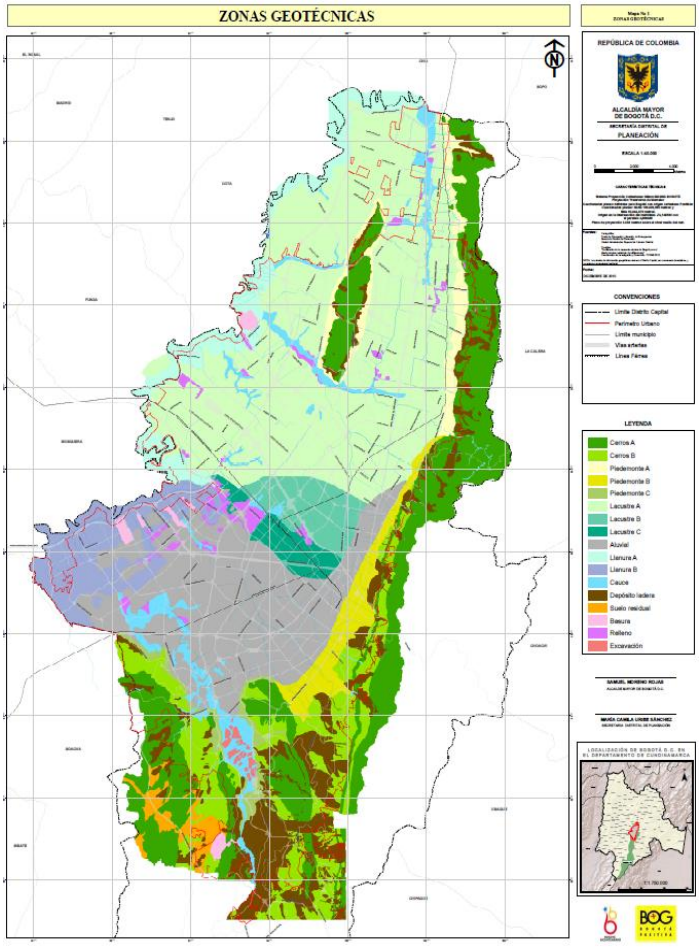
En este documento se presenta el proceso de análisis, las fuentes de información primaria y secundaria, los convenios Inter administrativos firmados para el desarrollo del estudio de Microzonificación sísmica, la información relevante sobre la amenaza sísmica y las señales de diseño compatibles con la 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 sismológica de los polígonos de estudio:

3.6.2.1 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 isoprofundidades 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 3-144. Este plano es empleado para la caracterización de la zona de estudio.

Figura 3-144 Zonificación geotécnica de la ciudad de Bogotá - Decreto 523 de 2010.

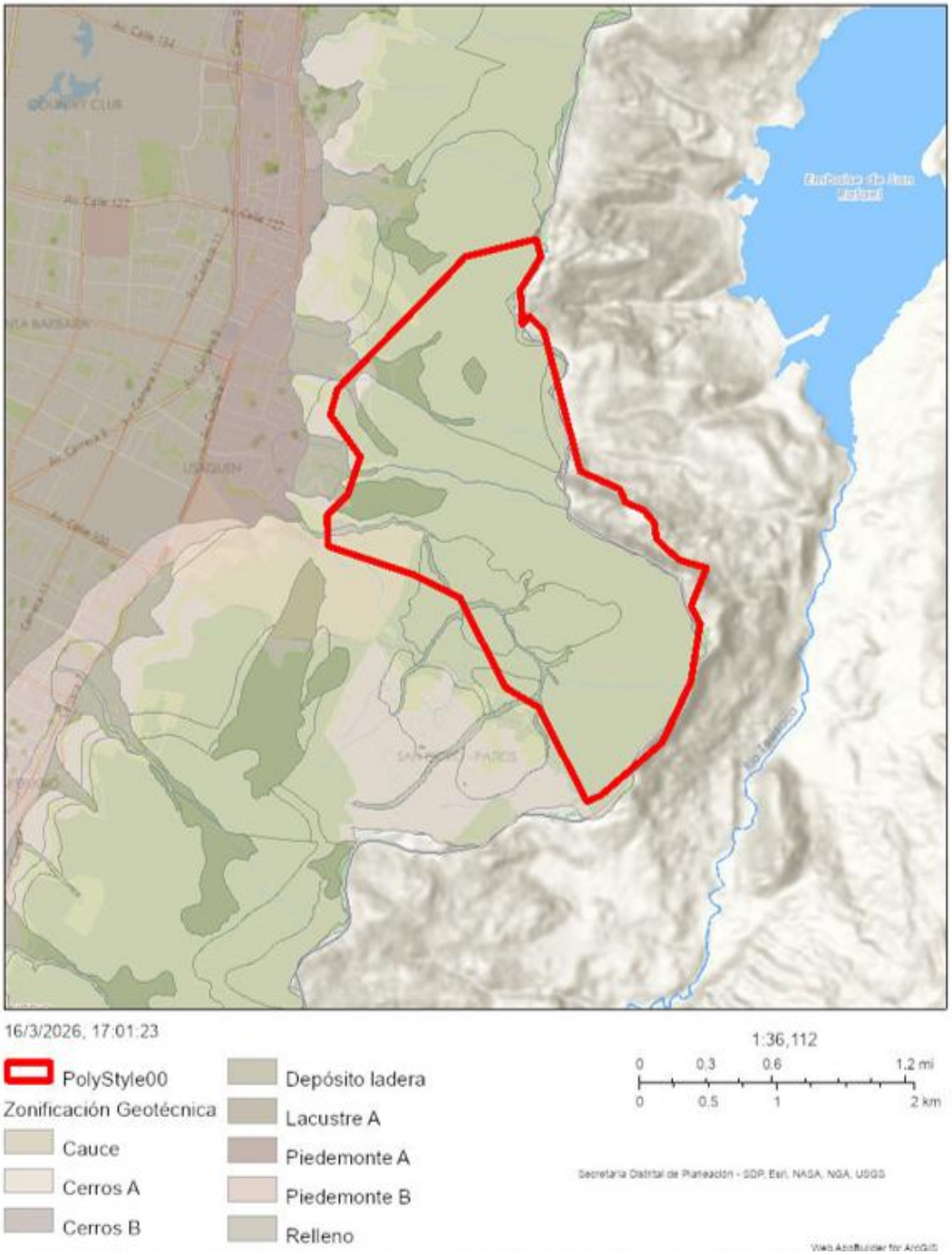


Fuente: Extraído del Decreto 523 de 2010

A partir del análisis de la cartografía de zonificación geotécnica establecida para el Distrito Capital, se determinó que el Polígono 3 (Figura 3-145 y Tabla 3-24) se ubica principalmente en unidades correspondientes a Cerros A y Cerros B, asociadas a las laderas de los Cerros Orientales, así como en sectores de depósitos de ladera y piedemonte (Piedemonte A y B) en las zonas de transición hacia el área urbana de Usaquén.

Estas unidades geotécnicas se caracterizan por pendientes pronunciadas, suelos residuales derivados de rocas sedimentarias y presencia de materiales coluviales, lo que favorece procesos de erosión, inestabilidad de taludes y remoción en masa. En las zonas bajas cercanas a los cauces de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara se identifican además sectores asociados a cauces y depósitos aluviales, donde la dinámica hídrica puede generar socavación y transporte de sedimentos. En conjunto, estas condiciones reflejan una susceptibilidad geotécnica media a alta a procesos de inestabilidad, particularmente en laderas intervenidas o en áreas cercanas a los drenajes naturales.

Figura 3-145 Zonificación Geotécnica - Polígono 3



Fuente: Elaboración propia a partir de Decreto 523 de 2010

Tabla 3-24 Características de las unidades Geotécnicas - Polígono 3

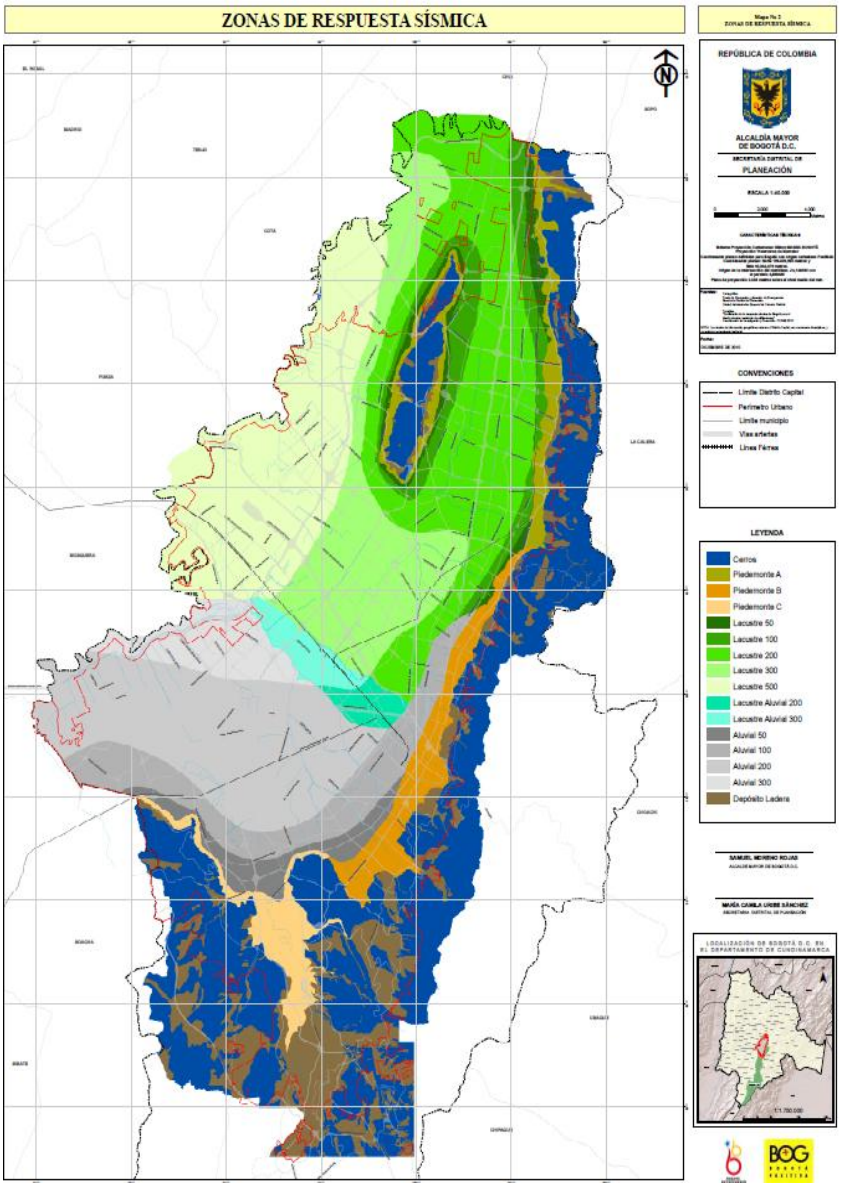
UNIDAD GEOTÉCNICA	COMPOSICIÓN PRINCIPAL	COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO GENERAL
Cerros A	Areniscas duras.	Rocas competentes y resistentes a la meteorización. Pueden presentarse problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando el macizo se encuentra fracturado o presenta intercalaciones de arcillolitas blandas.
Cerros B	Arcillolitas blandas.	Rocas de moderada competencia y susceptibles a la meteorización. Pueden presentar problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, especialmente cuando el macizo se encuentra fracturado.
Piedemonte A	Gravas arcillo-arenosas compactas de origen coluvial y aluvial.	Suelos de alta capacidad portante que pueden presentar problemas de inestabilidad durante excavaciones abiertas. Corresponden principalmente a depósitos coluviales y aluviales del sector norte del piedemonte.
Piedemonte B	Gravas areno-arcillosas compactas de origen coluvial y aluvial.	Depósitos de bloques, cantos y gravas en matriz areno-arcillosa o arcillo-arenosa. Presentan, en general, buenas condiciones de rigidez; sin embargo, deben evaluarse las condiciones de estabilidad en excavaciones y laderas de acuerdo con la geometría y las características locales del depósito.

Fuente: Elaboración propia a partir de Decreto 523 de 2010

3.6.2.2 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 3-146). 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 3-146 Zonificación de respuesta sísmica de la ciudad de Bogotá - Decreto 523 de 2010

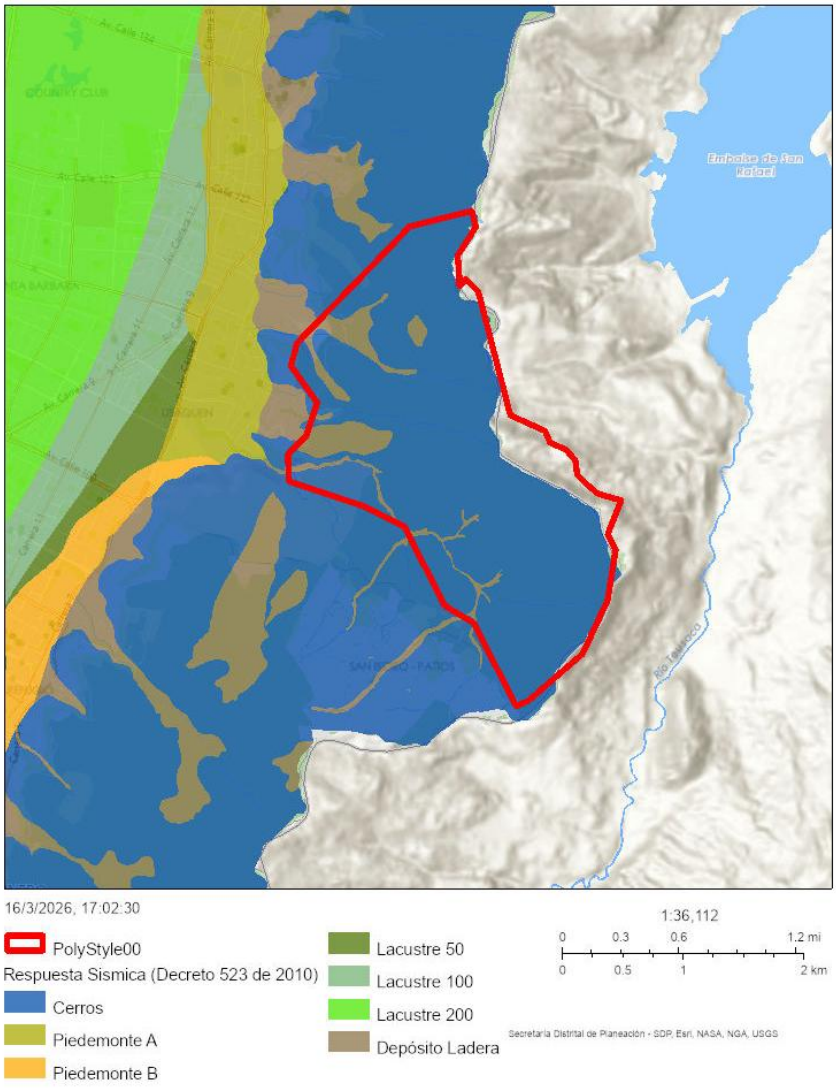


Fuente: Extraído del Decreto 523 de 2010

De acuerdo con la zonificación de respuesta sísmica definida en el Decreto 523 de 2010, el Polígono 3 se localiza predominantemente en la unidad Cerros, correspondiente a los sectores montañosos de los Cerros Orientales. Estas zonas se caracterizan por la presencia de materiales rocosos o suelos residuales derivados de rocas sedimentarias, los cuales generalmente presentan mayor rigidez y menor amplificación de ondas sísmicas en comparación con depósitos blandos de origen lacustre. En los sectores de transición hacia

la zona urbana se identifican además áreas clasificadas como Piedemonte A y Piedemonte B, así como pequeños sectores asociados a depósitos de ladera, donde las condiciones geotécnicas pueden generar variaciones locales en la respuesta del terreno ante un evento sísmico. En conjunto, la distribución de estas unidades refleja un comportamiento sísmico dominado por condiciones de ladera y piedemonte, con potenciales efectos de amplificación local en zonas con acumulación de materiales coluviales o en áreas intervenidas antrópicamente.

Figura 3-147 Zonificación de Respuesta Sísmica - Polígono 3



Fuente: Decreto 523 de 2010

Tabla 3-25 Parámetros Sísmicos de Diseño - Polígono 3

Zona de Respuesta Sísmica	Fa (475)	Fv (475)	Tc (s)	Tl (s)	Ag (g)
Cerros	1.35	1.30	0.62	3.0	0.18
Depósito de Ladera	1.65	1.70	0.66	3.0	0.22

Fuente: Elaboración propia a partir del Decreto 523 de 2010

3.7 COBERTURA Y USO DEL SUELO

3.7.1 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 (1:300), aproximadamente.

Es importante mencionar, que, dependiendo del polígono a interpretar, se recurrió a escalas de interpretación mayor (1:250 o 1:200).

La Tabla 3-26, muestra la relación de los sensores remotos que se utilizaron para la interpretación de la cobertura de la tierra para cada uno de los polígonos de estudio.

Tabla 3-26 Relación de los insumos de los sensores remotos utilizados en la etapa de interpretación

Año	Fuente
2021	• Ortofotomosaico Bogotá Urbano y Soacha. enero de 2021. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP; con Gsd de 8cm; a partir de fotografías aéreas tomadas con la cámara DMCIII. Todo esto regido bajo las especificaciones técnicas mínimas que deben cumplir los productos de la cartografía básica oficial de Colombia consignados en la Resolución 471 de 2020 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Norma Técnica NS-030 Versión 5.4 del 1 de agosto de 2020, expedida por el EAAB

Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

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).

3.7.1.1 Unidad mínima de mapeo (UMM)

Con base en lo mencionado, la superficie más pequeña que se delimitó y se representó cartográficamente como unidad mínima de mapeo (UMM), fue de 5,0 m^2. (Tamaño de vivienda en el área de estudio).

NOTA: Es importante mencionar que, dependiendo del polígono interpretado, se realizaron algunas excepciones a la UMM; ya que, debido a su importancia, dentro del contexto del objeto del estudio, se dejaron cartografiados dichos polígonos.

Por ejemplo: presencia de construcciones en zonas declaradas de alto riesgo.

3.7.1.2 Insumo de apoyo en la interpretación

De igual manera, para aquellos sitios en donde se presentaron dudas en la interpretación del polígono definido o donde la accesibilidad al terreno fue limitada (vías, topografía o conflicto social, entre otras) el apoyo a la interpretación se realizó mediante:

- Google Maps. Imágenes © 2026. Airbus CNES / Airbus. Landsat / Copernicus, Maxar Tecnologies.
- Recorrido de campo;

Asociado al recorrido de campo, el Anexo 1, muestra la planilla de verificación de coberturas de la tierra y usos del suelo, utilizada como insumo de apoyo para la identificación de unidades al interior del área de estudio.

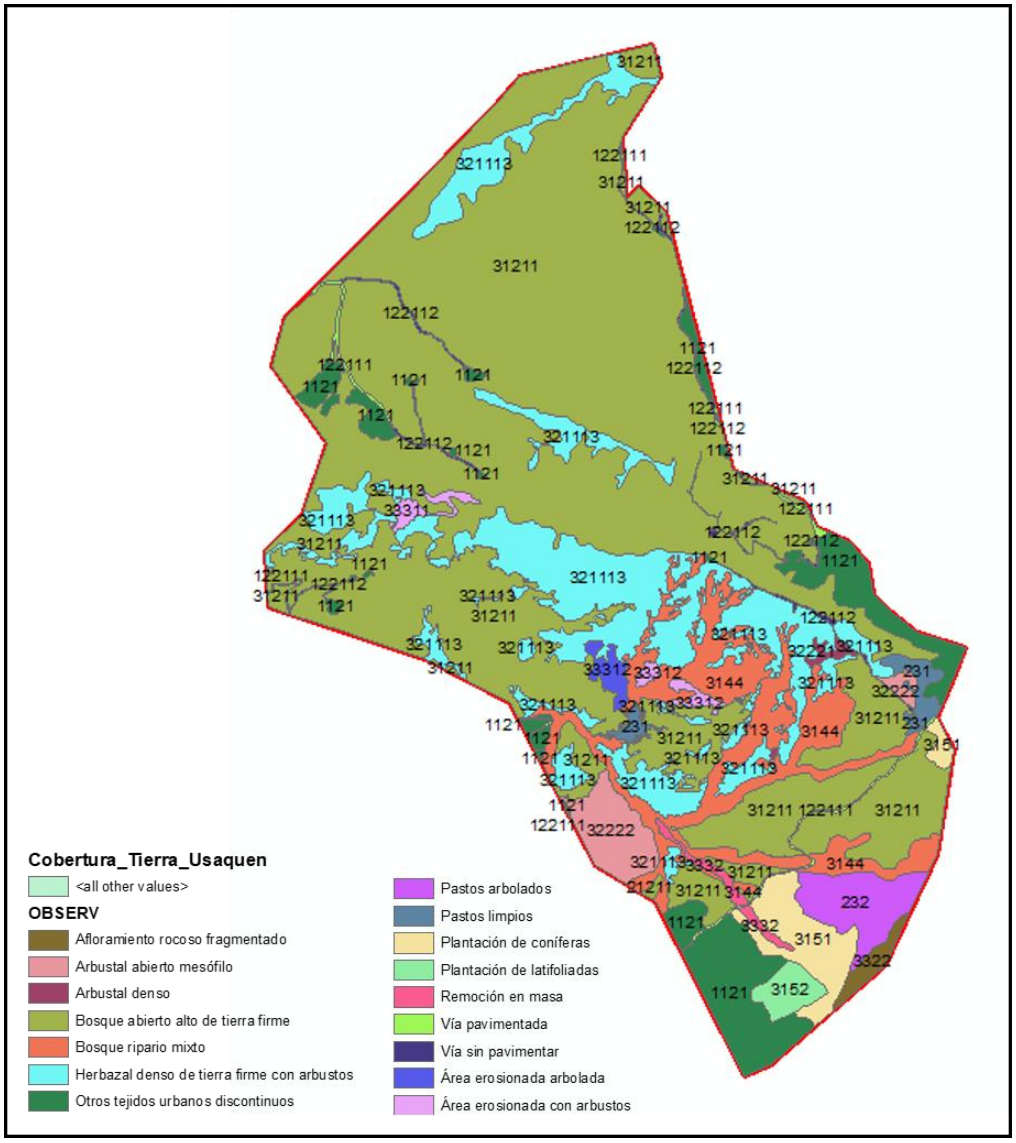
3.7.2 COBERTURA DE LA TIERRA

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.

3.7.2.1 Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – Quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara

Con base en lo mencionado, la Figura 3-148 muestra la distribución geográfica de las unidades de cobertura de la tierra identificadas para el Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara.

Figura 3-148 Cobertura de la tierra Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara



Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

A partir de los resultados obtenidos en la interpretación, la Tabla 3-27 presenta la leyenda de cobertura de la tierra, obtenida para el área de estudio.

Tabla 3-27 Leyenda cobertura de la tierra Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	ÁREA (ha)	%
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.2 Tejido urbano discontinuo	1.1.2.1 Otros tejidos urbanos discontinuos	-	-	34,70	6,31
	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	1.2.2.1.1.1. Vía pavimentada	2,92	0,53
					1.2.2.1.1.2. Vía sin pavimentar	3,36	0,61
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.3 Pastos	2.3.1. Pastos limpios	-	-	-	4,34	0,79
		2.3.2. Pastos arbolados	-	-	-	10,45	1,90
3. 3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1 Bosques	3.1.2 Bosque abierto	3.1.2.1. Bosque abierto alto	3.1.2.1.1 Bosque abierto alto de tierra firme	-	332,96	60,56
		3.1.4 Bosque de galería o ripario	3.1.4.4 Bosque de galería mixto	-	-	43,54	7,92
		3.1.5 Plantación forestal	3.1.5.1 Plantación de coníferas	-	-	12,71	2,31
			3.1.5.2 Plantación de latifoliadas	-	-	3,95	0,72
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1 Herbazal	3.2.1.1 Herbazal denso	3.2.1.1.1 Herbazal denso de tierra firme	3.2.1.1.1.3 Herbazal denso de tierra firme con arbustos	79,20	14,41
		3.2.2 Arbustales	3.2.2.1 Arbustal denso	-	-	1,02	0,19
			3.2.2.2 Arbustal abierto	3.2.2.2.2 Arbustal abierto mesófilo	-	10,11	1,84
	3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.2 Afloramientos rocosos	3.3.2.2 Afloramiento rocoso fragmentado	-	-	2,32	0,42
		3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	3.3.3.1 Áreas erosionadas	-	-	2,44	0,44

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	ÁREA (ha)	%
			3.3.3.1.2 Áreas erosionadas con arbustos	-	-	3,62	0,66
			3.3.3.2 Remoción en masa	-	-	2,14	0,39
TOTAL						549,77	100,00 %

Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

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

3.7.2.1.1 Otros tejidos urbanos discontinuos (1.1.2.1.)

Corresponde a espacios de territorios artificializados donde las edificaciones, las vías y la infraestructura no forman un bloque denso ni continuo. Las construcciones se alternan de manera significativa con superficies de vegetación o suelo desnudo, cubriendo entre el 30% y el 80% de la superficie total.

3.7.2.1.2 Vía pavimentada (1.2.2.1.1.1.)

Son las vías que tienen en su última capa de conformación materiales, como: asfalto, lozas de cemento, adoquines, entre otros materiales. Por lo general, corresponde a las vías que conectan los diferentes sectores del área de estudio.

3.7.2.1.3 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.

3.7.2.1.4 Pastos limpios (2.3.1.)

Esta cobertura, comprende las tierras ocupadas por pastos limpios; donde la realización de prácticas de manejo (poda, limpieza, fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas.

3.7.2.1.5 Pastos arbolados (2.3.2.)

Atañe a la cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han

estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a dos metros, distribuidos en forma dispersa.

3.7.2.1.6 Boque abierto alto de tierra firme (3.1.2.1.1.)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior mayor a 5 metros.

3.7.2.1.7 Boque de galería mixto (3.1.4.4.)

Cobertura de la tierra que describe formaciones vegetales lineales dispuestas a lo largo de los cauces de agua. Se caracteriza por poseer una estructura heterogénea y combinada de árboles, arbustos y vegetación herbácea que no muestra un solo estrato dominante.

3.7.2.1.8 Plantación de coníferas (3.1.5.1.)

Área de terreno con árboles de hojas en forma de aguja y semillas en conos, como pinos o abetos, que fueron sembrados por el hombre con propósito de restauración o recuperación.

3.7.2.1.9 Plantación de latifoliadas (3.1.5.2.)

Áreas con árboles cultivados de hoja ancha, como eucaliptos, robles o tecas, que son plantados por el hombre con fines comerciales, de restauración o protección ambiental, diferenciándose de los bosques nativos o naturales.

3.7.2.1.10 Herbazal denso de tierra firme con arbustos (3.2.1.1.1.3.)

Corresponde a superficies no inundables dominadas por vegetación herbácea continua, con una presencia dispersa de arbustos; por lo general, menor a 1 o 2 metros en su estrato es herbáceo, con arbustos dispersos pueden alcanzar entre 1 y 3 metros de altura.

3.7.2.1.11 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.

3.7.2.1.12 Afloramiento rocoso fragmentado (3.3.2.2.)

Describe a las superficies donde la roca madre o los bloques líticos están expuestos, pero

se encuentran partidos, divididos en bloques o separados por grietas, escombros o una cobertura vegetal muy dispersa.

3.7.2.1.13 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.

3.7.2.1.14 Áreas erosionadas con arbustos (3.3.3.1.2.)

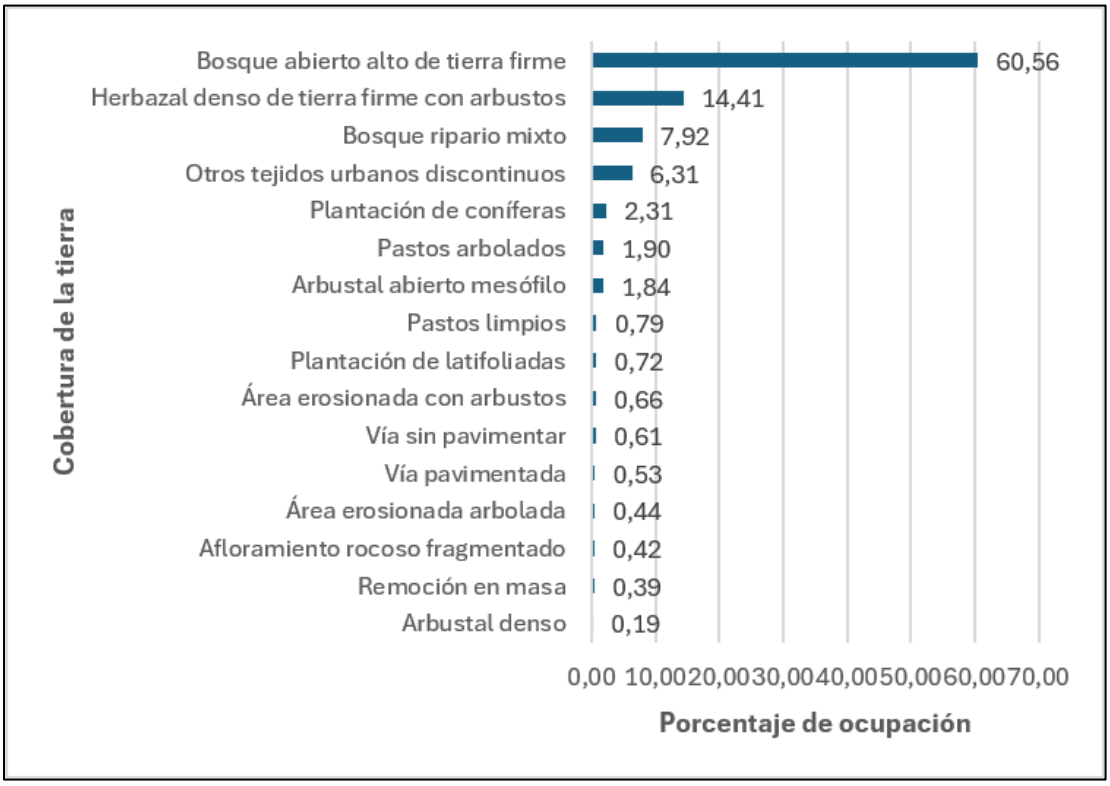
Corresponden a superficies degradadas donde la capa superficial del suelo ha sido afectada por procesos de pérdida de suelo (hídrica o eólica), pero que mantienen una cobertura vegetal rala o dispersa de tipo arbustivo.

3.7.2.1.15 Remoción en masa (3.3.3.2.)

Se refiere al desplazamiento de material pendiente hacia abajo por acción de la gravedad, que puede incluir rocas, suelo y otros materiales. Este proceso, ocurre cuando el material se moviliza por laderas o cauces, y puede ser influenciado por factores geológicos, topográficos y climáticos

De acuerdo con lo mencionado, la Figura 3-149, 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 3-149 Distribución porcentual de la cobertura de la tierra Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara



Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

Con base en lo presentado, se identifica un paisaje con muy baja fragmentación donde el desarrollo humano es menos a la vegetación natural que se presenta al interior del área de estudio. Se aprecia que el 6,31% del área de estudio, está representada por otros tejidos urbanos discontinuos, cifra que es prácticamente igualada por el arbustal denso (0,19%), plantación de latifoliadas (0,72%), pastos limpios (0,79%), arbustal abierto mesófilo (1,84%), pastos arbolados (1,90%) y plantación de coníferas (2,31%).

Esta cercanía, sugiere que la zona donde la expansión urbana está en contacto directo y constante con áreas de vegetación.

A esta huella humana, se le debe añadir el componente de infraestructura de transporte, compuesto por vías sin pavimentar (0,61%) y vías pavimentadas (0,53%), lo que eleva el impacto antrópico directo a casi un 7,45% del polígono total. Por otro lado, el uso del suelo, es evidente a través de los pastos, los cuales suman un 2,69% de la superficie; sin embargo,

es satisfactorio notar que, un 1,49% del área total, de los suelos presentan procesos morfodinámicos.

El estado de conservación del terreno muestra señales de conservación, protección, producción y restauración natural, ya que el bosque abierto alto y los herbazales densos de tierra firme con arbustos, registra el 74,97% del área de estudio.

3.7.3 USO ACTUAL DEL SUELO

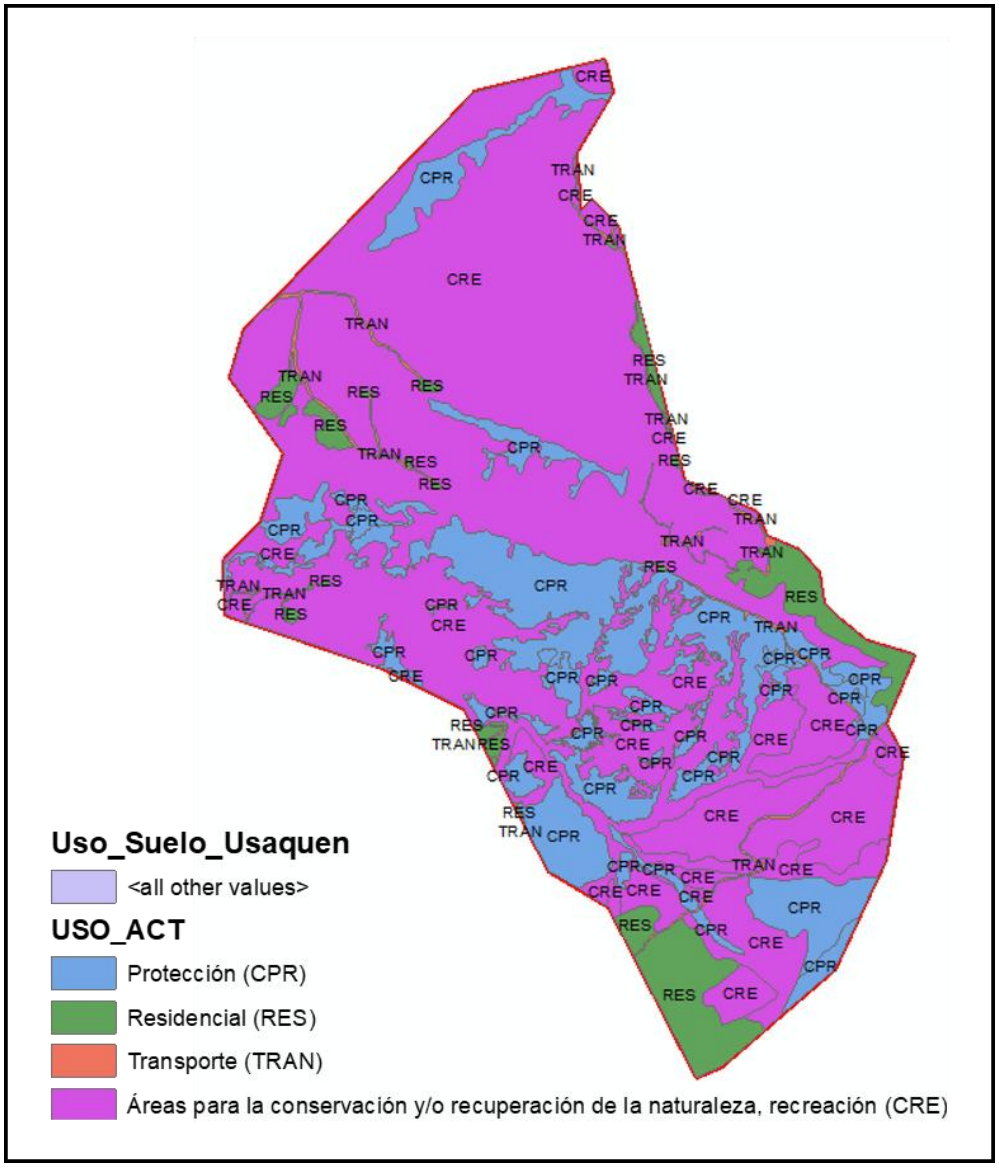
El uso actual del suelo corresponde al uso efectivo y concreto a que se está destinando la superficie o cobertura de la tierra, debido a la intervención antrópica, ya sea cíclica o permanente, con el fin de satisfacer las necesidades básicas, sobre los recursos naturales que hacen parte tanto de la superficie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

3.7.3.1.1 Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara

La Figura 3-150, muestra la distribución espacial del uso del suelo, para el área de estudio.

Figura 3-150 Uso actual del suelo Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara



Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

A partir de los resultados obtenidos en la interpretación, la Tabla 3-28 presenta la leyenda de uso actual del suelo obtenida para el área de estudio.

Tabla 3-28 Leyenda uso actual del suelo Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara

Cobertura de la tierra	Grupo uso	Uso actual	Símbolo	Área (ha)	%
Otros tejidos urbanos discontinuos	Asentamiento	Residencial (RES)	RES	34,70	6,31
Bosque abierto alto de tierra firme	Conservación	Áreas para la conservación o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	CRE	332,96	60,56
Bosque ripario mixto				43,54	7,92
Plantación de coníferas				12,71	2,31
Plantación de latifoliadas				3,95	0,72
Arbustal abierto mesófilo	Conservación	Protección (CPR)	CPR	10,11	1,84
Arbustal denso				1,02	0,19
Herbazal denso de tierra firme con arbustos				79,20	14,41
Pastos arbolados				10,45	1,90
Pastos limpios				4,34	0,79
Área erosionada arbolada				2,44	0,44
Área erosionada con arbustos				3,62	0,66
Remoción en masa				2,14	0,39
Afloramiento rocoso fragmentado				2,32	0,42
Vía pavimentada	Infraestructura	Transporte (TRAN)	TRAN	2,92	0,53
Vía sin pavimentar				3,36	0,61
TOTAL				549,77	100,00

Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

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

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.

Áreas para la conservación o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)

Hace alusión a espacios territoriales definidos y orientados a proteger ecosistemas, restaurar zonas degradadas y permitir actividades humanas compatibles con el entorno.

Protección (CPR)

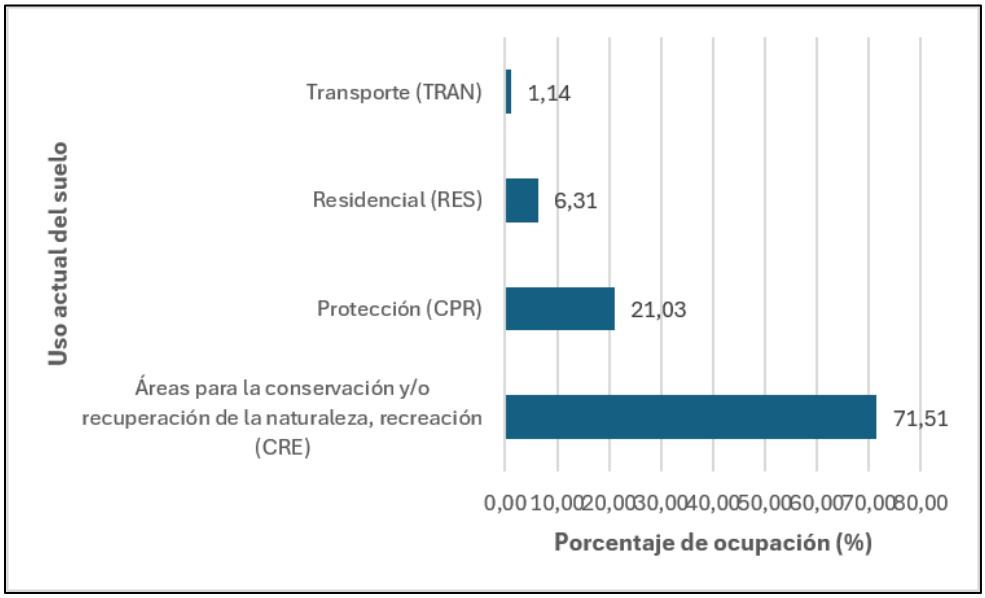
Es el uso relacionado con la presencia de coberturas relacionadas con el arbustal abierto mesófilo, arbustal denso, áreas erosionadas, pastos degradados, pastos enmalezados; que se encuentran al interior del área de estudio. Se han clasificado de protección, ya que, actualmente, se encuentran protegiendo y conservando el suelo. El sistema radicular de las especies latifoliadas como gramíneas, ayuda a sujetar los agregados del suelo, disminuyendo y controlando los procesos erosivos.

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.

De acuerdo con lo mencionado, la Figura 3-151, muestra la distribución porcentual de cada una de las unidades de uso actual del suelo 2021 que se identificaron al interior del área de estudio.

Figura 3-151 Distribución porcentual del uso actual del suelo Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara



Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

Se observa que el uso actual del suelo en el Polígono 3 está fuertemente inclinado hacia las Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE), con una clara mayoría del territorio dedicada a funciones de salvaguarda ambiental (71,51%); mientras que el 21,03% está ocupado por áreas para la protección (CPR), lo que indica que más de dos terceras partes del polígono tienen un uso restringido o enfocado en la conservación de los recursos naturales.

En un tercer plano de importancia, el uso residencial (RES) ocupa un 6,31% del territorio, lo que representa la principal huella de asentamiento humano en la zona. Al contrastar estos 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 1,14% del total, una cifra que refleja la red de conectividad necesaria para dar servicio a las zonas residenciales mencionadas.

Al integrar estos datos, se concluye que el Polígono 3 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.

3.7.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL PROCESOS DE MINERÍA

De acuerdo con el Anexo técnico (2025) del presente estudio, se presenta a continuación "… la comparación entre el uso precedente y el uso actual del suelo, haciendo énfasis en transformaciones relevantes como procesos extractivos (minería o canteras activas o abandonadas) y expansión urbana…".

Por lo tanto, a partir de la recopilación de los sensores remotos que se identificaron al interior del área de estudio, se realizó la identificación tanto de los procesos morfodinámicos como de las actividades mineras; con el fin realizar el análisis y comparación multitemporal del uso actual del suelo.

3.7.4.1 Insumos para la interpretación

Una vez realizado el proceso de corrección y georreferenciación de las imágenes empleadas, se procedió a digitalizar los elementos identificados mediante fotointerpretación, lo que permitió realizar un análisis detallado de la evolución

morfodinámica y morfológica multitemporal. Este análisis apoyó el diagnóstico sobre los procesos de remoción en masa presentes en el área de estudio, delimitando también los rasgos morfológicos que indicaran movimientos en masa antiguos.

La Tabla 3-29, presenta la relación tanto de las aerofotografías como de los ortofotomosaicos que se emplearon para la elaboración del análisis multitemporal.

Tabla 3-29 Relación de aerofotografías y ortofotomosaicos

Vuelo	Fotografías	Año	Escala aproximada
C-2183	155	1985	1:20.000
C-2673	007	2002	1: 20.000
Ortofotomosaico	**Resolución**	**Composición espectral**	**Escala aproximada**
Bogotá Urbano y Soacha	Distancia de muestreo terrestre (GSD) de 8cm; a partir de fotografías aéreas tomadas con la cámara DMCIII.	2021	1:1.000

Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

NOTA: Es importante mencionar que, para el presente análisis, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Aunque las fotografías aéreas consultadas, presentan una escala aproximada a la escala de trabajo del presente estudio; hay que tener en cuenta que el detalle del pixel de la aerofotografía no es comparable con un ortofotomosaico de alta resolución espacial.
- Los insumos utilizados de los años 1985, 2004 y 2021, no presentan, entre décadas, una multitemporabilidad homogénea.

3.7.4.2 Interpretación y comparación 1985 - 2004 - 2021 de la actividad minera - Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara

3.7.4.2.1 Año de 1985

A partir del análisis del vuelo C-2183, correspondiente al año 1985, en el área de estudio se identifica un sistema montañoso fuertemente disectado y con una marcada heterogeneidad en las formas del terreno.

En el área de interés (Polígono 3), se observaron laderas de pendiente moderada a alta, asociadas a procesos denudaciones intensos, evidenciados por la presencia de superficies irregulares, cambios abruptos de textura y patrones de drenaje bien desarrollados.

La fotografía 155, sugiere un ambiente dominado por procesos erosivos activos, con una fuerte influencia fluvial.

Los drenajes observables presentan un patrón predominantemente dendrítico, adaptado a las condiciones topográficas del macizo, con cauces que inciden profundamente las laderas y generan valles estrechos y alargados. En varios sectores se observan alineamientos y franjas de vegetación más densa siguiendo las quebradas, lo cual indica zonas de concentración de humedad y erosión fluvial activa. Los cauces parecen controlar parcialmente la dinámica geomorfológica local, favoreciendo procesos de socavación y remoción en masa en los taludes adyacentes.

Por otro lado, las diferencias tonales permiten inferir contrastes tanto en cobertura vegetal como en propiedades superficiales de los materiales. Las tonalidades más oscuras corresponden posiblemente a áreas con mayor densidad de vegetación o mayor humedad superficial, mientras que las zonas claras podrían relacionarse con afloramientos rocosos, superficies erosionadas o depósitos con baja cobertura.

No se logra observar con claridad la vía principal que recorre el polígono en dirección este-oeste; sin embargo, se observa los cortes de la carretera delimitando el talud de corte.

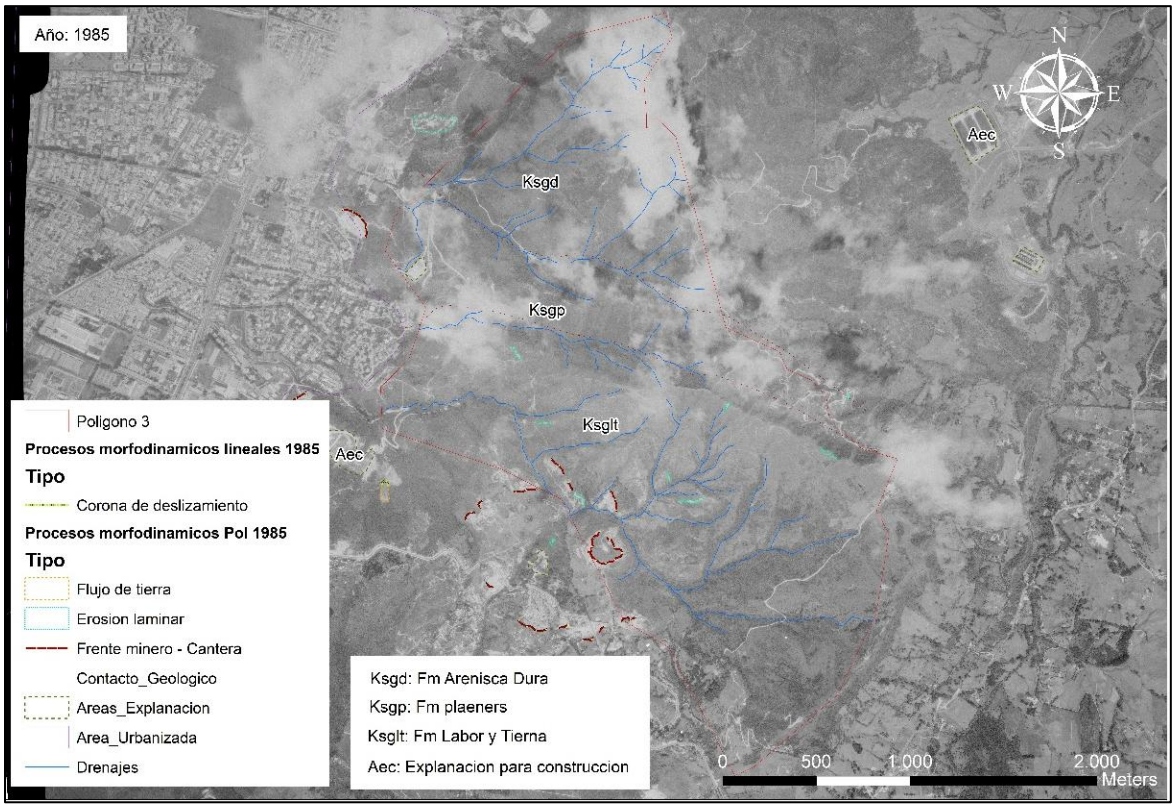
Por último, hacia el costado sur del área de estudio, se observa la incidencia antrópica, relacionada con canteras de explotación de minerales arenosos y arcillosos para construcción y zonas de explanación para obras civiles e ingenieriles.

En relación con los frentes mineros observados, en el sector, donde actualmente se ubica el barrio San Luis (localidad de Chapinero) y en algunos sitios dentro del polígono, se identificaron para 1985 algunas zonas con explotaciones dedicadas principalmente a la extracción de arenas de las formaciones Arenisca de Labor (Ksgl), Arenisca Tierna (Ksgt) y Arenisca Dura (Ksgd). Estas labores, de carácter mayoritariamente artesanal y baja tecnificación, generaron frentes de explotación a cielo abierto, taludes desprotegidos y una marcada alteración del relieve original.

De manera general, se identifican pequeñas áreas afectadas por erosión laminar, asociadas a la remoción superficial del suelo y a la escasa cobertura vegetal, principalmente sobre las formaciones Labor y Tierna.

Adicionalmente, hacia el suroeste de la fotografía se observa un deslizamiento de tierras, evidencia de la inestabilidad de las laderas y de los procesos de remoción en masa activos en el área de interés (Figura 3-152).

Figura 3-152 Fotointerpretación 1985 Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara



Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

Como se aprecia, para 1985, en el interior del área de estudio, se presentan algunos frentes mineros sobre las Formaciones Labor y Tierna.

3.7.4.2.2 Año de 2002

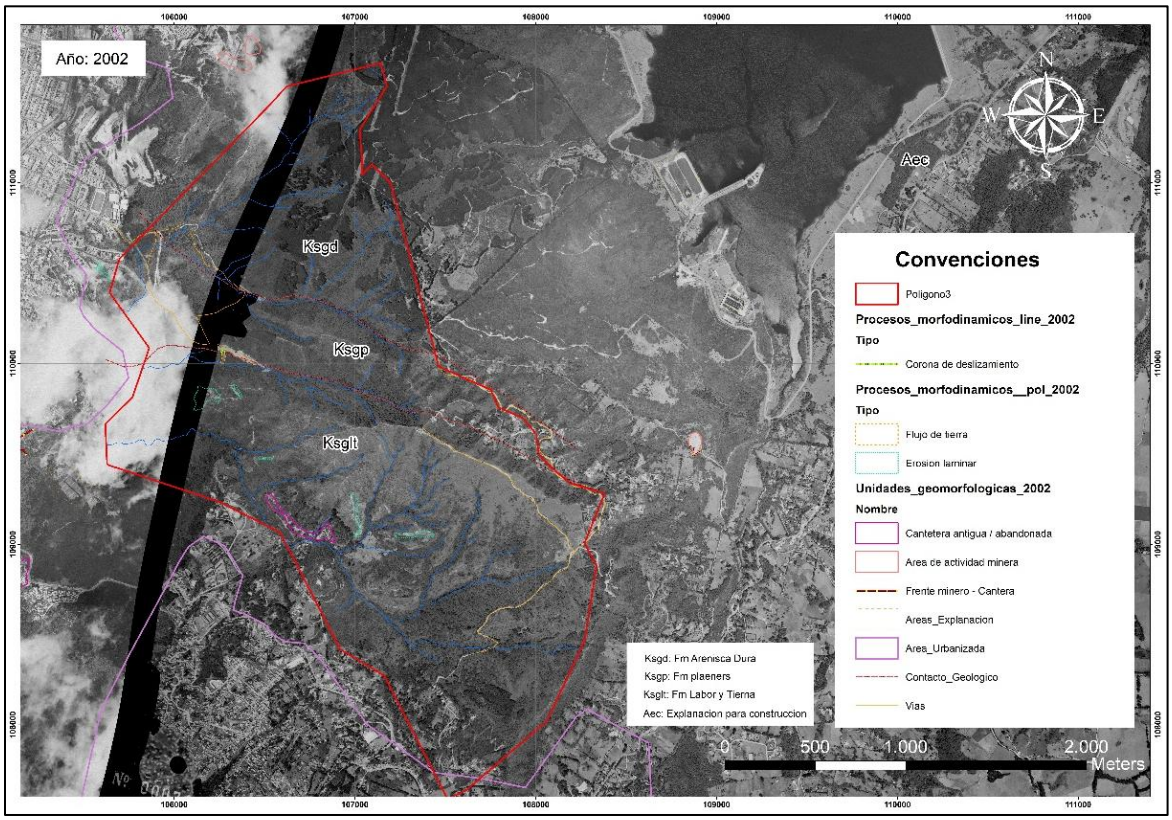
A partir del análisis del vuelo C-2673, correspondiente al año 2002, se aprecia, hacia el costado sur este de la fotografía aérea, el avance de expansión urbana del barrio Los

Patios, reflejado en el incremento de áreas intervenidas y la consolidación de nuevas zonas habitacionales.

Para esta década, dentro del área de estudio, se identificaron dos procesos morfodinámicos activos, el primero se presenta en la zona del club La Aguadora; donde, se originó un deslizamiento de tipo flujo de tierras. El segundo, se asocia a la continuidad de las áreas expuestas a la erosión laminar que se mantienen a lo largo de los años.

Los frentes mineros identificados en 1985, ya no existen; para el 2002, se aprecian algunos rasgos del frente minero en abandono (Figura 3-153).

Figura 3-153. Fotointerpretación 2002 Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara



Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

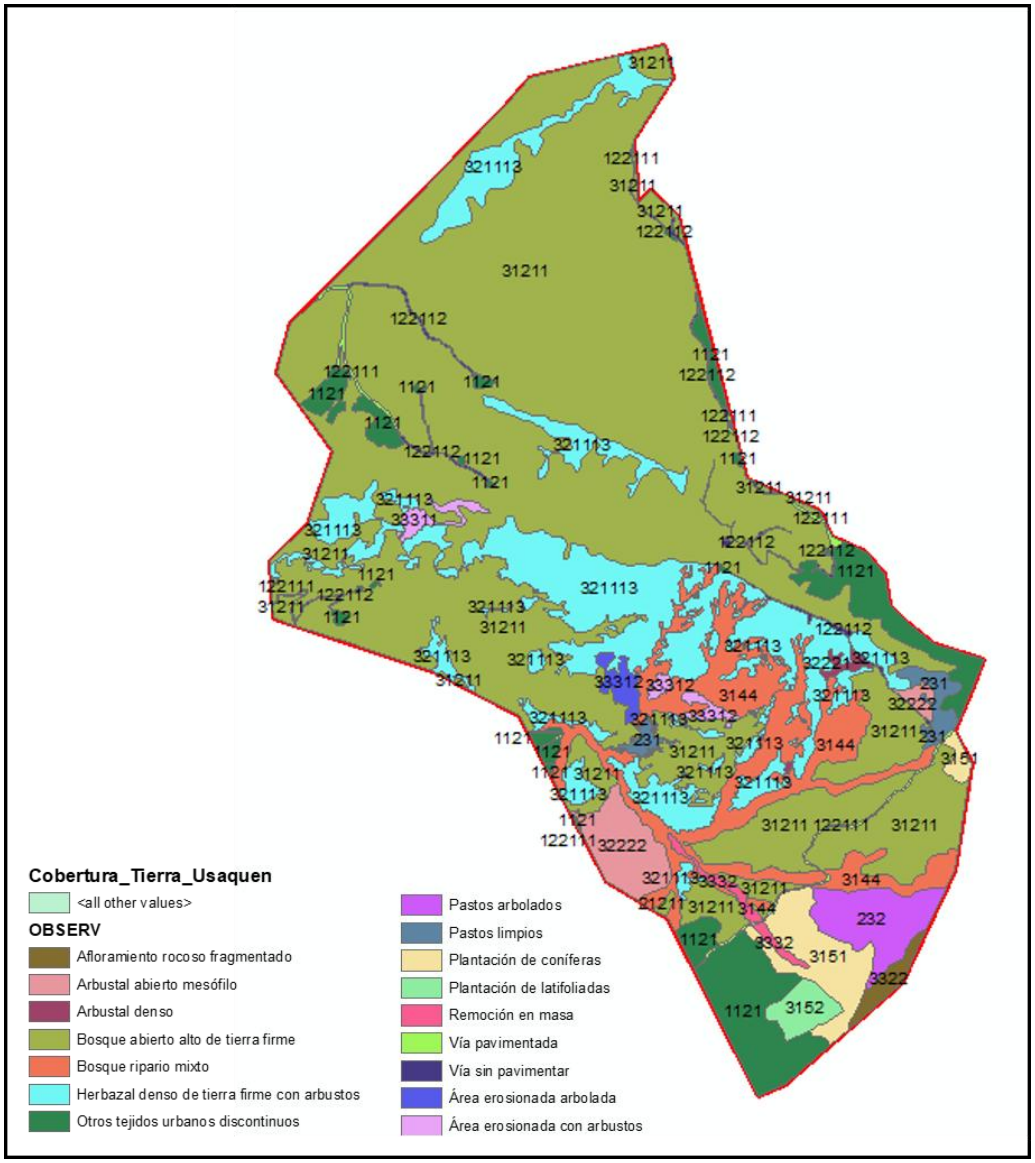
Como se aprecia, para el 2002, al interior del área de estudio, no existen frentes mineros activos. El polígono identificado en 1985 como frente minero, para el 2002 se encuentra en proceso de restauración; se aprecian algunas características pictoricomorfológicas que dan

indicio a una cobertura de herbazales.

3.7.4.2.3 Año de 2021

De igual manera, para este año, no se identificaron "… procesos de minería o explotación de canteras (actuales o abandonadas)" (Figura 3-154).

Figura 3-154. Interpretación 2021 Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara

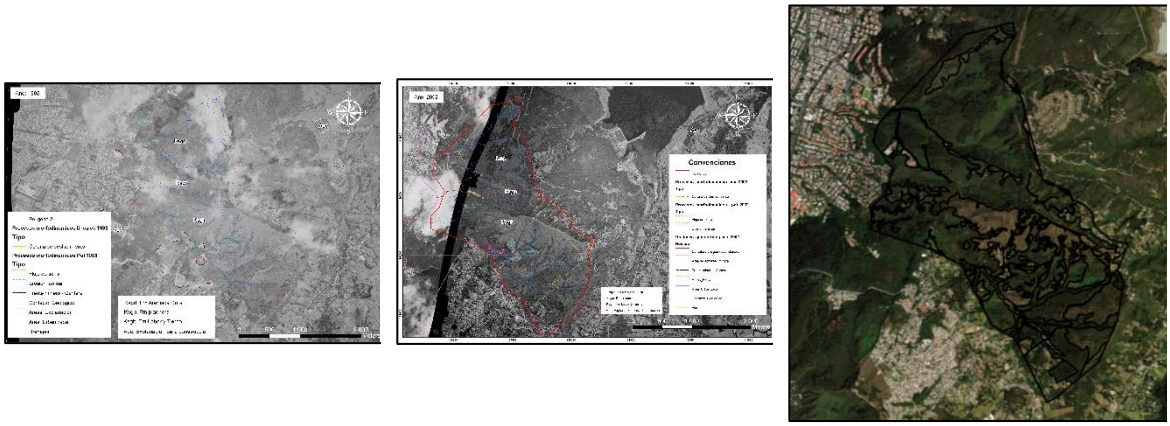


Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

Sin embargo, la vegetación intervenida desde 1985, actualmente se encuentra en proceso de recuperación y restauración; dando paso a la disminución de los procesos erosivos.

La Figura 3-155, muestra de manera general, la comparación de la ausencia de actividades de minería o explotación de canteras, entre el año 1985 y 2021, al interior del área del Polígono 3 .

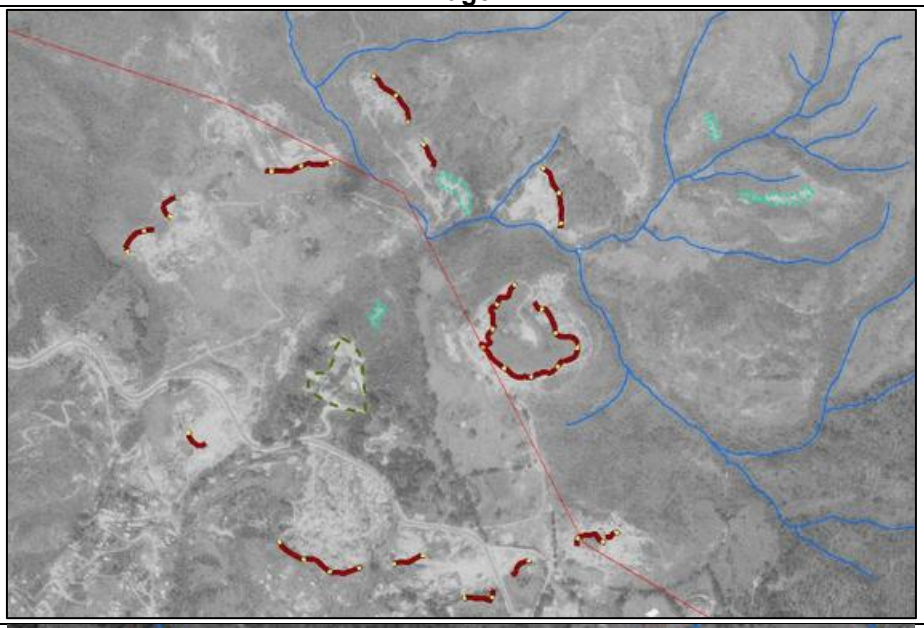
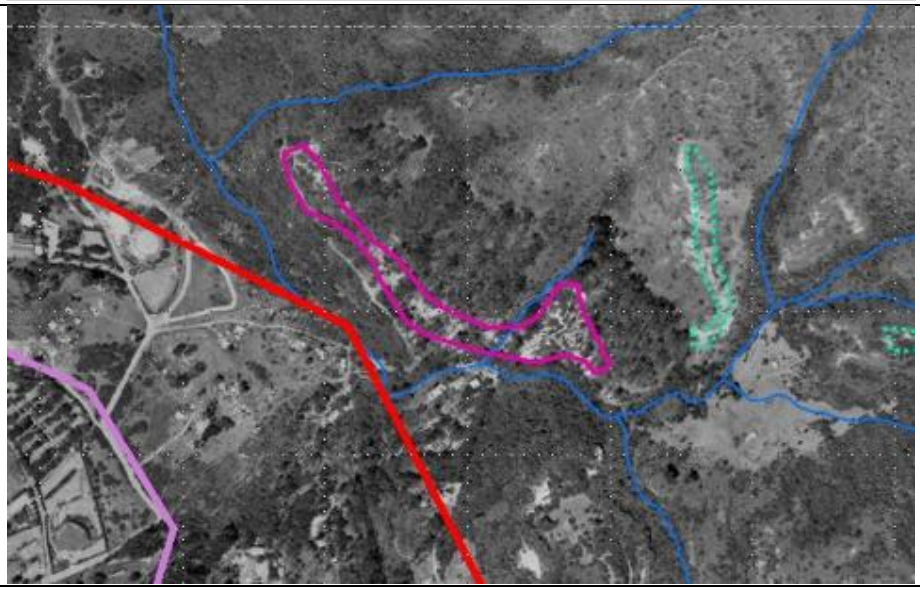
Figura 3-155. Comparación del uso del suelo relacionado con los procesos de minería o explotación de canteras (actuales o abandonadas)

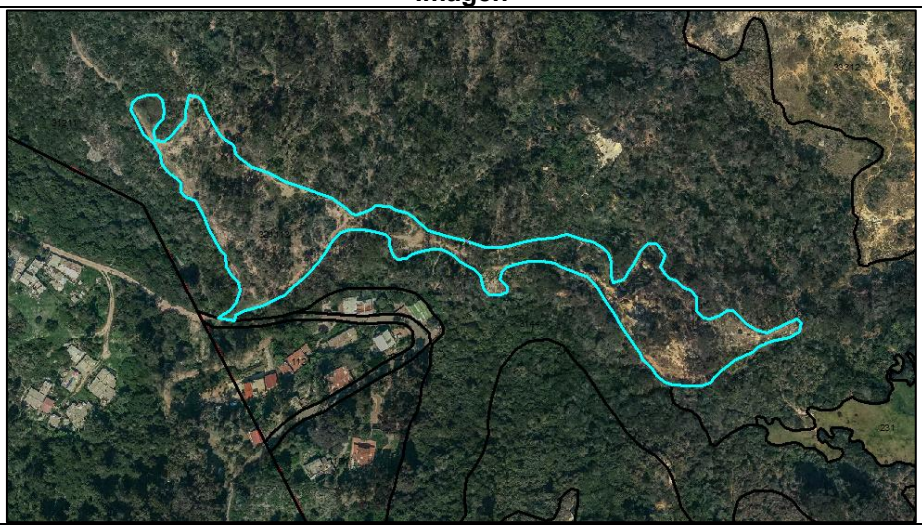


Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

Es importante mencionar que el frente minero identificado en 1985; actualmente, presenta una cobertura de Herbazal denso de tierra firme con arbustos (Figura 3-156).

Figura 3-156. Proceso de restauración minera multitemporal Polígono 3 – Conector ecosistémico cerro Virrey Neuque – quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara

Año	Imagen
1985	
2002	

Año	Imagen
2021	

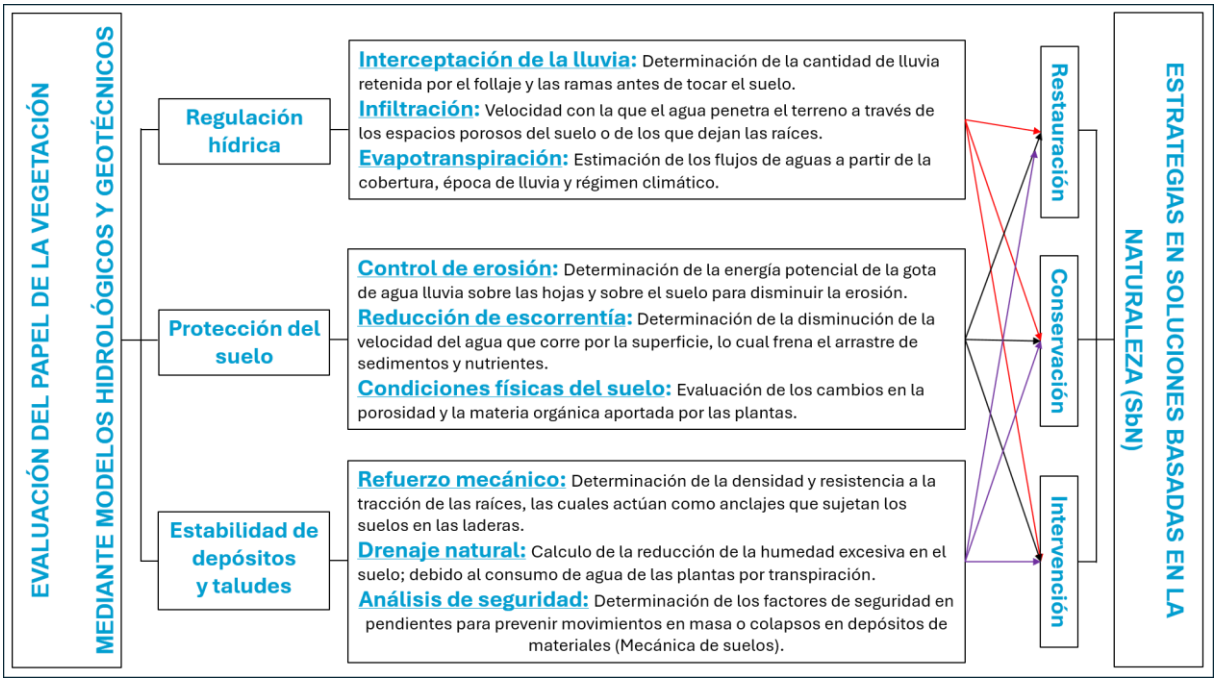
Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

3.7.5 DESEMPEÑO DE LA VEGETACIÓN

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, las condiciones y modificaciones de la cobertura vegetal, influyen en la evolución de procesos morfodinámicos de inestabilidad de los suelos; tales como movimientos en masa, erosión e infiltración. Por lo tanto, el rol de la vegetación, determina el comportamiento hidrológico, las relaciones de cobertura y la estabilidad geotécnica. Esto permite determinar la infiltración del agua, la retención de sedimentos y la estabilidad del terreno en pendientes o depósitos antrópicos.

La Figura 3-157, muestra la evaluación del papel de la vegetación frente a las estrategias basadas en la naturaleza (SbN).

Figura 3-157. El papel de la vegetación como estrategia para las SbN



Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

Como se aprecia y con base en lo mencionado, se considera que la vegetación de porte arbustal abierto mesófilo, arbustal denso, bosque abierto alto de tierra firme, bosque ripario mixto, herbazal denso de tierra firme con arbustos, pastos arbolados, pastos limpios, plantación de coníferas, plantación de latifoliadas; juegan un papel fundamental en el comportamiento hidrológico forestal y en la estabilización en la mecánica de los suelos.

Es importante mencionar, que dependiendo de las características: (1) morfológicas (tipo de copa, tipo de hoja, fuste, etc.), (2) radiculares y de (3) uso; cada especie vegetal, cumple una función para la restauración, conservación, o intervención.

3.7.6 CONCLUSIONES

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

- El Polígono 3 presenta una identidad territorial predominantemente forestal y de conservación, destacando que se identifica un paisaje con muy baja fragmentación donde el desarrollo humano es menos a la vegetación natural que se presenta al interior del área de estudio. Se aprecia que el 6,31% del área de estudio, está

representada por otros tejidos urbanos discontinuos, cifra que es prácticamente igualada por el arbustal denso (0,19%), plantación de latifoliadas (0,72%), pastos limpios (0,79%), arbustal abierto mesófilo (1,84%), pastos arbolados (1,90%) y plantación de coníferas (2,31%).

- Como se mencionó, al interior del Polígono 3 entre 2002 y 2021, no se presentan situaciones precedentes o actuales de uso del suelo, relacionadas con procesos de minería o explotación de canteras (actuales o abandonadas)".

- A pesar de estar tan intervenido el Polígono 3, las coberturas relacionadas con arbustal abierto mesófilo, arbustal denso, bosque abierto alto de tierra firme, bosque ripario mixto, herbazal denso de tierra firme con arbustos, pastos arbolados, pastos limpios, plantación de coníferas, plantación de latifoliadas; cumplen funciones de recuperación.

- Con base en lo mencionado, la Tabla 3-30 presenta la incidencia tanto de la cobertura de la tierra actual como del uso actual del suelo sobre la estabilidad de los suelos que hacen parte del área de estudio.

Tabla 3-30 Incidencia tanto de la cobertura de la tierra como del uso actual del suelo sobre la estabilidad del terreno

Cobertura de la tierra actual	**Uso actual del suelo**	**Incidencia sobre la …**			
		Infiltración	**Escorrentía**	**Erosión**	**Movimientos en masa**
Otros tejidos urbanos discontinuos	Residencial (RES)	Debido a la impermeabilización del terreno, no se presentan procesos de infiltración a lo largo de las estructuras antrópicas.	Son máximas, debido a que los suelos originales se han impermeabilizado con las estructuras de pavimento. De igual manera, no se presentan sitios de concentración de la escorrentía, todas las aguas van al sistema de alcantarillado.	No se presenta, debido a que los suelos originales se han impermeabilizado con las estructuras de pavimento. No se presentan zonas de saturación, debido a la presencia de las obras de drenaje que conducen las aguas provenientes de la precipitación pluvial al sistema de alcantarillado.	No se presentan, debido a que los suelos originales se han impermeabilizado con las estructuras de pavimento.
Bosque abierto alto de tierra firme	Áreas para la conservación o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	El sistema radicular de los árboles plantados, permite que algunas características de los suelos, tales como estructura, porosidad, estructura; sean las apropiadas para la circulación vertical de las láminas de agua que se producen en superficie.	Tanto el fuste como las raíces superficiales de los árboles, aumenta la rugosidad del suelo, restringiendo los caudales a lo largo de la ladera.	Tanto el fuste como las raíces superficiales de los árboles, restringen el transporte de partículas de suelos.	Las raíces de los árboles envuelven los agregados del suelo, haciendo que estos no se desprendan.
Bosque ripario mixto					
Plantación de coníferas					
Plantación de latifoliadas					
Arbustal abierto mesófilo	Protección (CPR)	Desde el 2021, el área de estudio no se ha modificado, de manera significativa, el tipo de cobertura vegetal, se	Como se mencionó, desde el año 2021, el área de estudio no ha perdido la cobertura vegetal, siempre se han	De igual manera, la cobertura de tipo gramínea, hace que las partículas que provienen de las vías despavimentadas	Debido tanto a las características intrínsecas de los rellenos, desde el año 2021 no se ha reportado:

Cobertura de la tierra actual	Uso actual del suelo	Incidencia sobre la …			
		Infiltración	**Escorrentía**	**Erosión**	**Movimientos en masa**
Arbustal denso		ha mantenido constante; debido a las características intrínsecas del área de estudio. Como se aprecia, la cobertura vegetal que hace parte de los cerros o parte alta del área de estudio, para este caso, presenta incidencia sobre la infiltración y sobre el estado del comportamiento en la estabilidad de los taludes.	mantenido similar. Debido a la alta densidad de estas gramíneas y a su forma de propagación (macollas); estas, se considera que estas disminuyen la energía de las aguas que escurren por el talud.	o de las áreas erosionadas, queden atrapadas a lo largo del talud. Además, las características de la raíz de estas gramíneas (superficiales y pivotantes), se considera que presentan un adecuado comportamiento geotécnico sobre el área de estudio.	-deslizamientos de taludes, a causa del material no consolidado de baja resistencia; -contraste de rigidez de los materiales (relleno antrópico sobre macizo rocoso en alta pendiente); -lluvias intensas que saturaron el material de relleno antrópico (detonante); -mantenimiento deficiente del sistema de drenaje (contribuyente). Por lo tanto, para este caso, el tipo de cobertura vegetal, presenta incidencia en el comportamiento geotécnico de los taludes.
Herbazal denso de tierra firme con arbustos					
Pastos arbolados					
Pastos limpios					
Área erosionada arbolada					
Área erosionada con arbustos					
Remoción en masa					
Afloramiento rocoso fragmentado					
Vía pavimentada	Transporte (TRAN)	Debido a la impermeabilización del terreno, no se presentan procesos de infiltración a lo	Son máximas, debido a que los suelos originales se han impermeabilizado con las estructuras de pavimento.	No se presenta, debido a que los suelos originales se han impermeabilizado con las estructuras de pavimento.	No se presentan, debido a que los suelos originales se han impermeabilizado con las estructuras de pavimento.

Cobertura de la tierra actual	Uso actual del suelo	Incidencia sobre la …			
		Infiltración	Escorrentía	Erosión	Movimientos en masa
		largo de las estructuras antrópicas.	De igual manera, no se presentan sitios de concentración de la escorrentía, todas las aguas van al sistema de alcantarillado.	No se presentan zonas de saturación, debido a la presencia de las obras de drenaje que conducen las aguas provenientes de la precipitación pluvial al sistema de alcantarillado.	
Vía sin pavimentar		El manejo inadecuado de las aguas que se disponen sobre las vías despavimentadas, son conducidas al talud, causando una saturación del mismo	El manejo inadecuado de las aguas que se disponen sobre las vías despavimentadas, han llevado al aumento de la velocidad de las aguas de escurrimiento, debido a que no existe una superficie capaz de reducir la fricción.	Debido al inadecuado manejo de las aguas que se disponen sobre las vías despavimentadas, se presentan proceso de erosión hídrica generando surcos.	Debido al inadecuado manejo de las aguas que se disponen sobre las vías despavimentadas, se presentan saturaciones de agua de escorrentía en el cuerpo del talud, generando los desplazamientos

Fuente: CONSORCIO ADAPTACIÓN 2025

- La incidencia de la cobertura de la tierra, sobre la estabilidad de las laderas o taludes, no ha tenido consecuencias o efectos, ya sean inherentes, contribuyentes o detonantes, sobre el área de estudio;

- La incidencia del uso actual del suelo sobre la estabilidad de las laderas o taludes, presenta causas inherentes [material no consolidado o relleno antrópico de baja resistencia y contraste de rigidez de los materiales (relleno antrópico sobre macizo rocoso en alta pendiente)] y contribuyentes o detonantes [mantenimiento deficiente del sistema de drenaje y lluvias intensas que saturan el material de relleno antrópico] asociadas a la dinámica del terreno, repercutiendo en deslizamientos rotacionales.

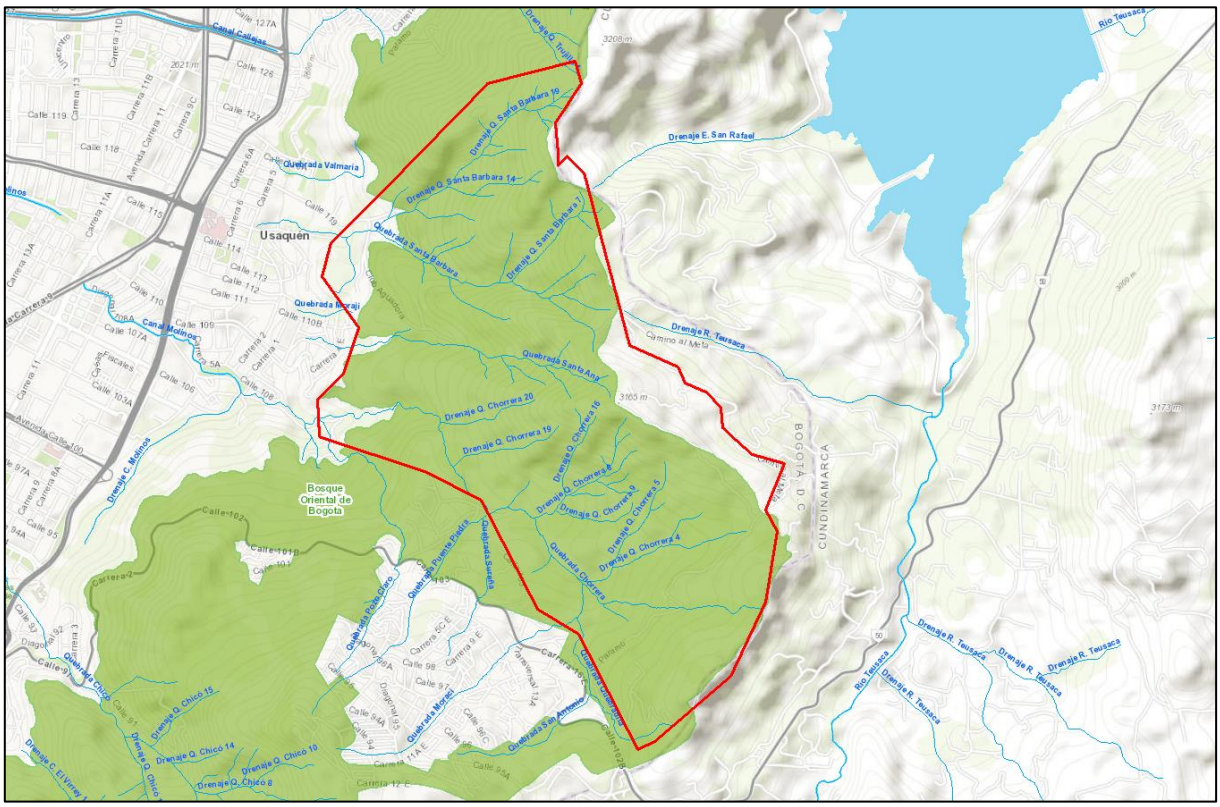
3.8 EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL

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 el polígono 2.

3.8.1 DRENAJE NATURAL

Al interior del polígono 3 se identifican varios drenajes naturales asociados principalmente a tres (3) microcuencas correspondientes a la quebrada Chorrera, quebrada Santa Ana y quebrada Santa Bárbara, ubicadas al sur, centro y norte del polígono respectivamente. En la siguiente figura se presentan los cuerpos de agua identificados con base en lo reportado por la EAAB-ESP en el Sistema de Información Geográfico.

Figura 3-158 Hidrografía – Polígono 3

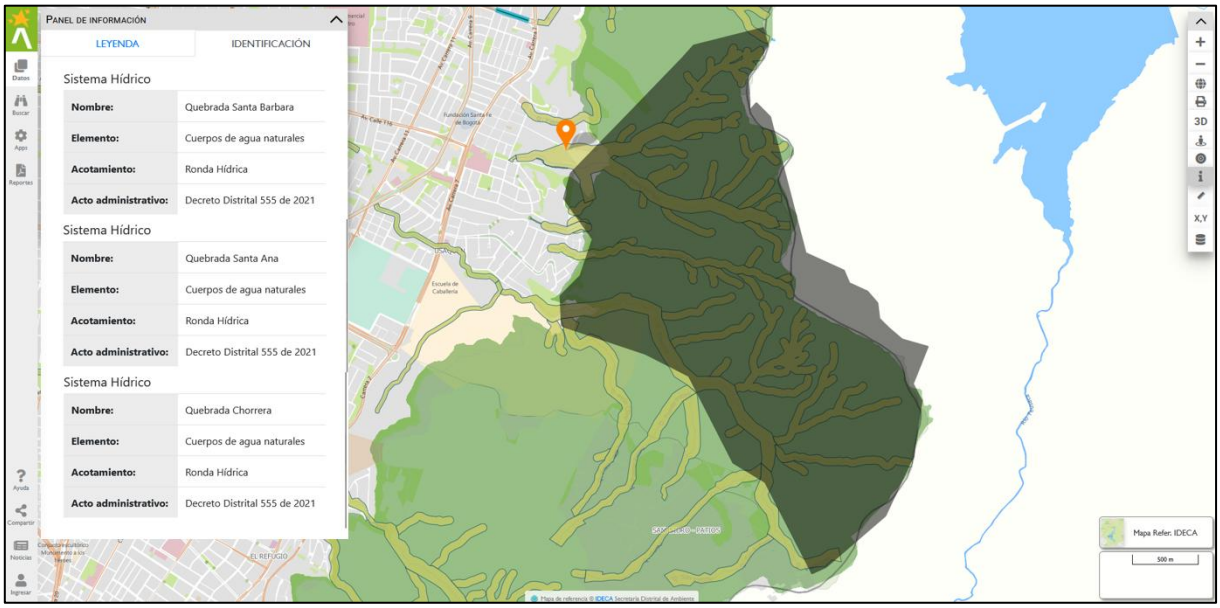


Fuente: Adaptado de SIGUE EAAB-ESP

Complementariamente, se realiza la consulta en el Visor Geográfico Ambiental de la SDA

donde se puede identificar que las quebradas previamente identificadas cuentan con un acto administrativo de acotamiento de ronda correspondiente al Decreto 555 de 2021.

Figura 3-159 Cuerpos de agua naturales – Polígono 3



Fuente: Adaptado de Visor Geográfico Ambiental – SDA

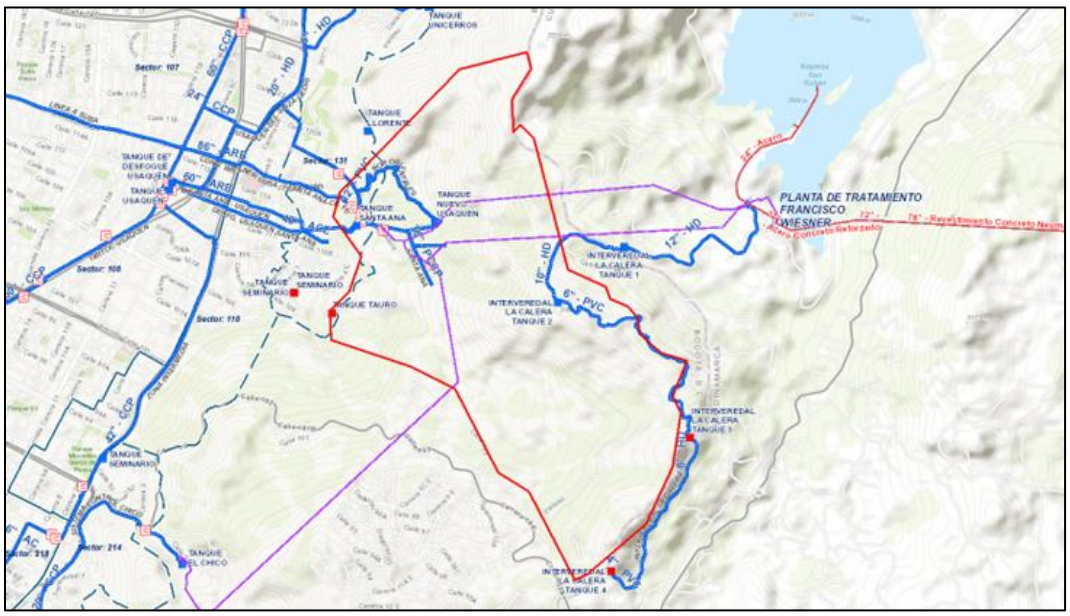
3.8.2 DRENAJE ARTIFICIAL

A partir de lo reportado en el Sistema de Información Geográfico de la EAAB-ESP, el 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 del polígono objeto de análisis.

Para el polígono 3 se identifican varias redes que hacen parte del sistema matriz del acueducto. Es de destacar los túneles provenientes de la planta Francisco Wiesner que corresponden al Túnel de Usaquén (78''), Túnel Alterno de Usaquén (72'') y Túnel de Los Rosales (60''); mientras que en la parte baja del polígono se encuentran las líneas Santa Ana (78'' PCCP) y el Ramal Tanque Nuevo Usaquén (10'' HD).

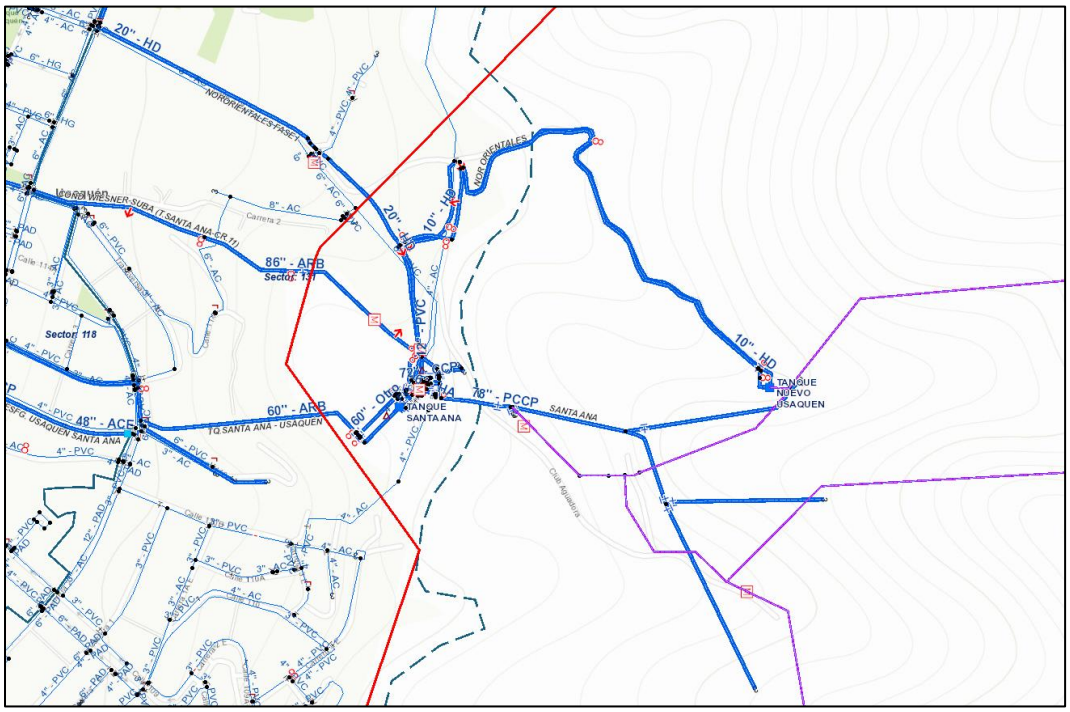
Respecto a las redes menores, éstas se localizan en la parte baja del polígono 3, con materiales de asbesto cemento y PVC y diámetros que varían entre 3'' y 8''.

Figura 3-160 Red matriz de acueducto – Polígono 3



Fuente: Adaptado de SIGUE EAAB-ESP

Figura 3-161 Red menor de acueducto – Polígono 3

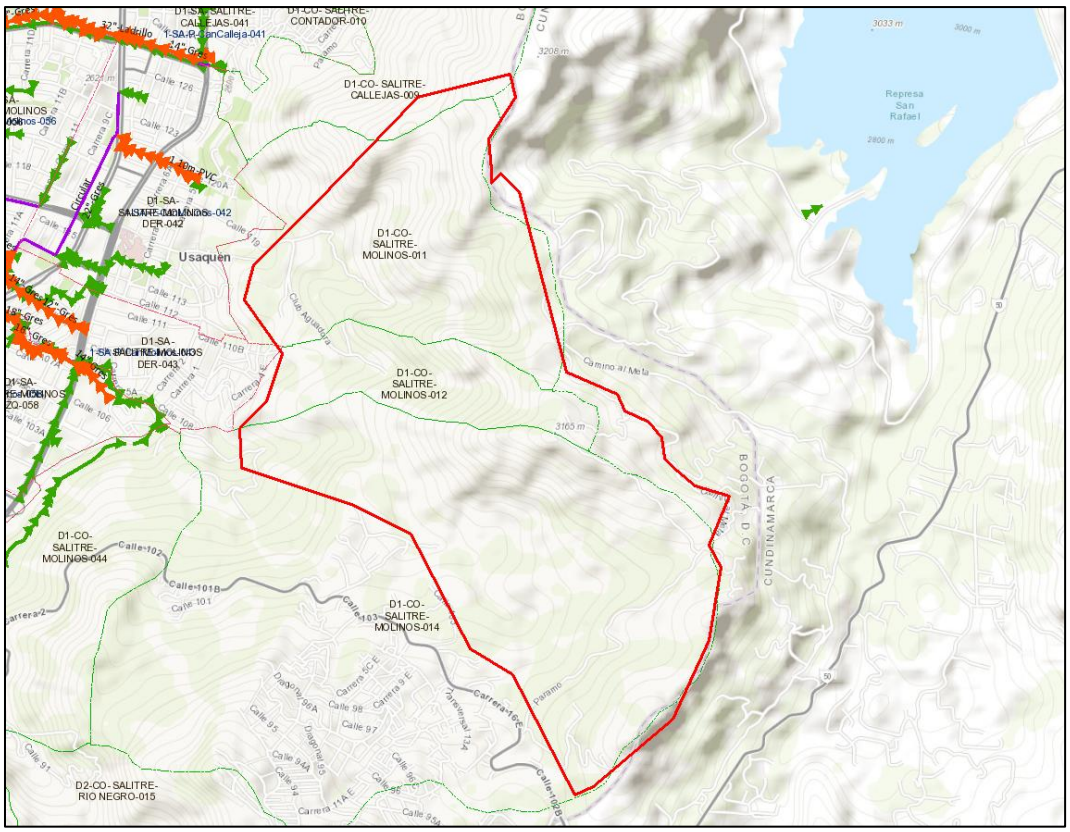


Fuente: Adaptado de SIGUE EAAB-ESP

Respecto a las redes de alcantarillado, el polígono 3 en su interior no tiene colectores sanitarios ni pluviales, éstos se encuentran en la parte baja por fuera del área de estudio.

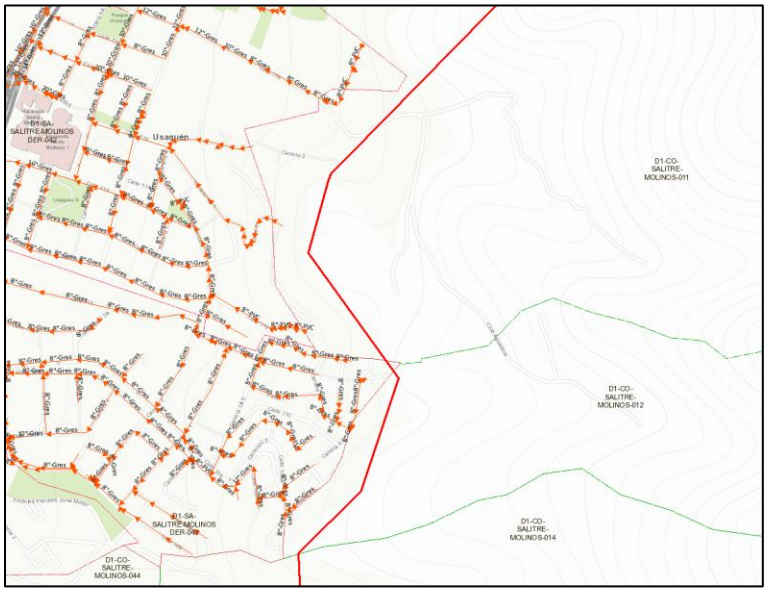
A partir de lo reportado en el Sistema de Información Geográfico de la EAAB-ESP, para la red de alcantarillado sanitario se observan colectores predominantemente en gres con algunos tramos en PVC y diámetros de 8''. Por otra parte, para las redes pluviales, se tienen también materiales en gres y PVC y diámetros entre 8'' y 24''.

Figura 3-162 Red de alcantarillado – Polígono 3



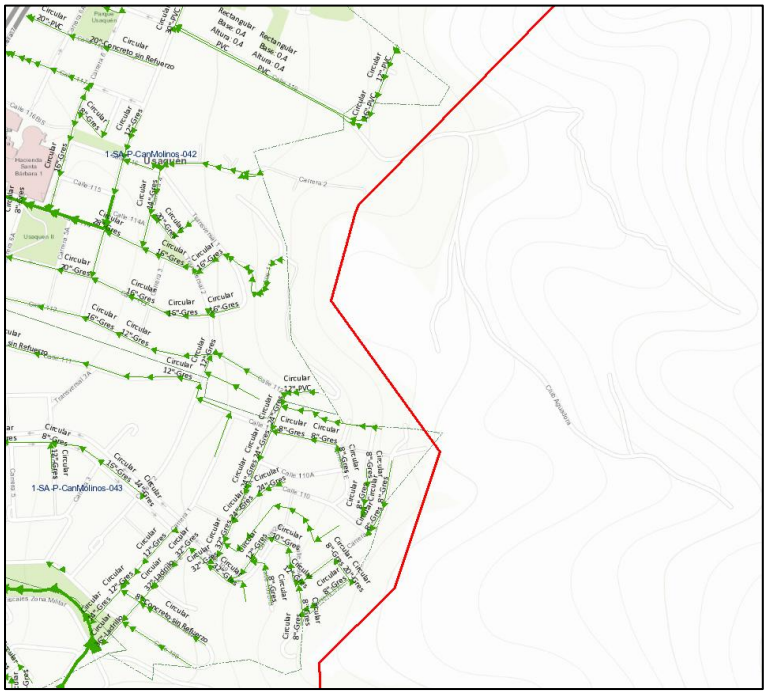
Fuente: Adaptado de SIGUE EAAB-ESP

Figura 3-163 Red de alcantarillado sanitario – Polígono 3



Fuente: Adaptado de SIGUE EAAB-ESP

Figura 3-164 Red de alcantarillado pluvial – Polígono 3



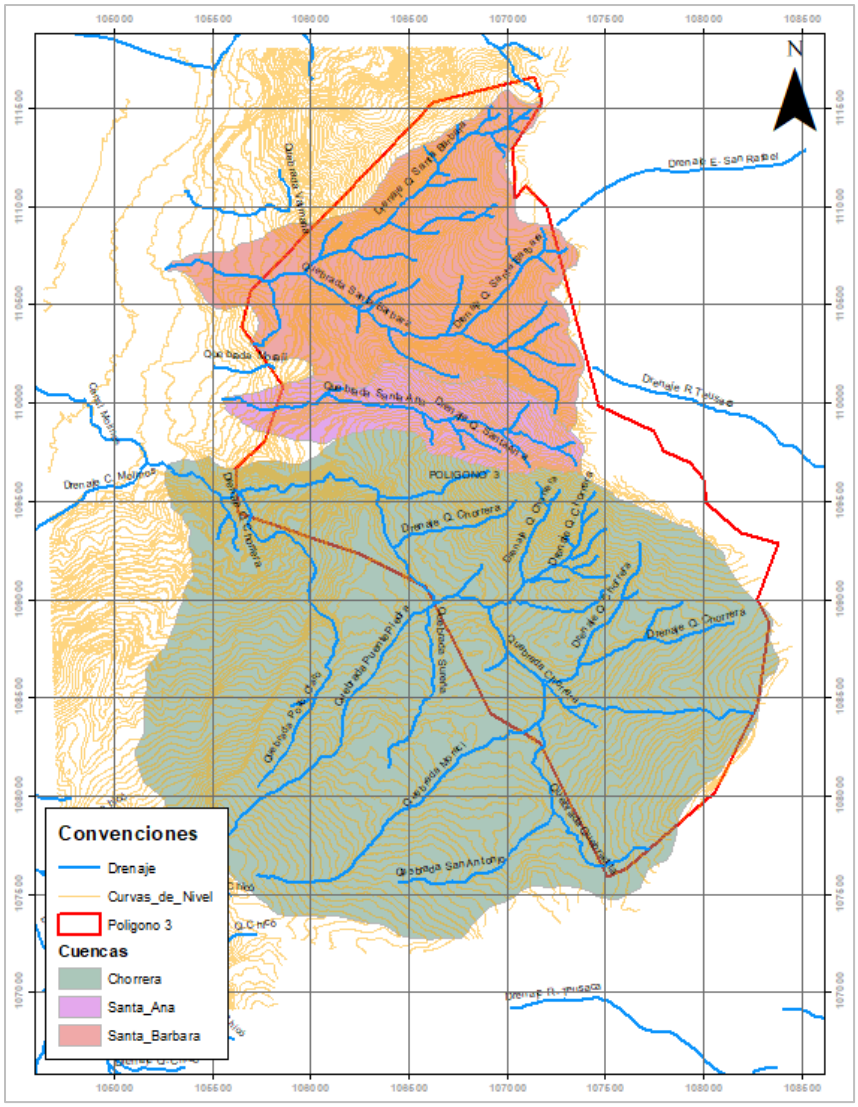
Fuente: Adaptado de SIGUE EAAB-ESP

3.9 COMPONENTE HIDROLOGÍA

3.9.1 LOCALIZACIÓN DE LAS CUENCAS

La zona estudiada presenta influencia de los drenajes Quebrada la Chorrera, Quebrada Santa Ana y Quebrada Santa Barbara, cada una de sus cuencas se presenta en la Figura 3-165, donde se observa que la parte alta de cada área delimitada corresponde a los cerros orientales, hasta la parte occidental de los drenajes con respecto a la polígono 3.

Figura 3-165. Ubicación área de aporte Polígono 1



Fuente: Elaboración propia

Esta delimitación se obtuvo teniendo en cuenta se utilizó la cartografía suministrada por el IDECA, definiendo el punto de cierre de la cuenca según los objetivos del estudio. Aunque inicialmente se empleó un modelo digital del terreno mediante herramientas SIG, la forma de la cuenca fue ajustada manualmente con base en las curvas de nivel proporcionadas por el IDECA.

Con el ánimo de realizar una estimación cuantitativa de la morfología de las cuencas del polígono 3, se determinan algunos parámetros característicos de esta área a partir del cartografia, los cuales se presentan en la Tabla 3-31.

Tabla 3-31 Parámetros morfométricos de áreas de aporte.

Drenaje	Chorrera	Santa_Ana	Santa_Barbara
Área de la cuenca m2	6232485.24	559946.671	1724780.236
Perímetro de la cuenca (m)	9929.03765	4275.38464	7073.538215
Área de la cuenca Km2	6.232485	0.559947	1.72478
Perímetro de la cuenca (km)	9.929038	4.275385	7.073538
S % (drenaje principal)	0.11387545	0.26395908	0.192808105
Longitud del drenaje principal (km)	4.177898	1.976026	2.33346
Cota máxima	3064.73	3147.22	3036.7
Cota mínima	2588.97	2625.63	2586.79

Fuente: Elaboración propia

A partir de los parámetros morfométricos se calculan las siguientes características geométricas y de drenaje de las cuencas:

3.9.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

A partir de los parámetros presentados en la Tabla 3-31, se puede estimar el tiempo de concentración para tener en cuenta en los cálculos hidrológicos, estos se describen a continuación.

- ***Ecuación de Kirpich***

$$T_C = 0.06628\left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.77}$$

Donde,

T_C = Tiempo de concentración, en horas.

L = Longitud del cauce principal, en km.

S = Pendiente calculada como la diferencia de cotas dividida entre la longitud del cauce principal, en m/m.

- ***Ecuación de Témez***

$$T_C = 0.30\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Donde,

T_C = Tiempo de concentración, en horas.

L = Longitud del cauce principal, en km.

S = Pendiente calculada como la diferencia de cotas dividida entre la longitud del cauce principal, en m/m.

- ***Ecuación de V. T. Chow***

$$T_C = 0.273\left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.64}$$

Donde,

T_C = Tiempo de concentración, en horas.

L = Longitud del cauce principal, en km.

S = Pendiente calculada como la diferencia de cotas dividida entre la longitud del cauce principal, en m/m.

- ***USACE***

$$T_C = 0.28\left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.76}$$

Donde,

T_C = Tiempo de concentración, en horas.

L = Longitud del cauce principal, en km.

S = Pendiente calculada como la diferencia de cotas dividida entre la longitud del cauce principal, en m/m.

- ***Ecuación de Williams & Hann***

$$T_C = 0.683 * \left(\frac{L * A^{0.4}}{S^{0.25} * D}\right)$$

Donde,

T_C = Tiempo de concentración, en horas.

L = Longitud del cauce principal, en km.

A = Área de la cuenca, en km2.

S = Pendiente calculada como la diferencia de cotas dividida entre la longitud del cauce principal, en %.

D = Diámetro equivalente de la cuenca, en km.

- ***Ecuación de SCS***

$$T_c = \frac{10}{6} \times \frac{L^{0.8} * (2540 - 22.86 * CN)^{0.7}}{14104 * CN^{0.7} * S^{0.5}}$$

Donde,

T_C = Tiempo de concentración, en horas.

L = Longitud del cauce principal, en m.

CN = Número de curva del S.C.S.

S = Pendiente calculada como la diferencia de cotas dividida entre la longitud del cauce principal, en m/m.

3.9.2.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE DISEÑO

Con las ecuaciones establecidas, se define un tiempo de concentración de diseño, el cual corresponderá al tiempo de concentración más representativo en cada cuenca.

El procedimiento para la determinación del tiempo de concentración Tc, se detalla a continuación, tomando como ejemplo la cuenca de la quebrada La Chorrera:

- **Cálculo de la mediana ($\hat{X}$):** La mediana es el valor que separa la mitad superior de la mitad inferior del conjunto de datos, proporcionando una medida de tendencia central menos afectada por valores atípicos.

$$\hat{X} = 80.63\ min$$

- **Determinación del Rango Intercuartílico (IQR):** Se determinó el rango intercuartílico (IQR) como la diferencia entre el percentil 75 (P_{75}) y el percentil 25 (P_{25}). El IQR mide la dispersión de los datos y se calcula con la siguiente fórmula:

$$IQR = P_{75} - P_{25} = 10.76\ min$$

- **Definición del Ancho de Banda:** Se estableció un ancho de banda (h) con un valor de 1. Este ancho de banda se utiliza para ajustar los límites que determinan qué valores de T_c se considerarán dentro del rango de interés:

- **Cálculo de los Límites Superior e Inferior:** Con la mediana y el IQR calculados, se procedió a determinar los límites superior e inferior de la siguiente manera:

$$Lim_{inf} = \hat{X} - 0.5 * (IQR * h) = 75.25\ min$$

$$Lim_{inf} = \hat{X} + 0.5 * (IQR * h) = 86.01\ min$$

  Estos límites delimitan el rango de valores de Tc que serán considerados para el siguiente paso.

- **Selección y promedio de los valores dentro del rango:** Se seleccionaron aquellos valores de Tc que se encontraban dentro de los límites inferior y superior determinados en el paso anterior. Estos valores fueron promediados para obtener

una estimación central refinada del tiempo de concentración; representa una medida central más robusta y menos influenciada por posibles valores atípicos presentes en el conjunto de datos original:

Para la cuenca Chorrera, se selecciona el método SCS como criterio principal, complementado con Témez, V.T. Chow, USACE y Williams & Hann, debido a que corresponde a la cuenca de mayor extensión dentro del análisis y presenta una respuesta hidrológica menos rápida que las demás. En este caso, los métodos seleccionados permiten representar adecuadamente el efecto combinado del área, la longitud del drenaje principal y la pendiente, evitando adoptar metodologías que tienden a generar tiempos excesivamente bajos o poco representativos para cuencas de este tamaño.

Para la cuenca Santa Ana, se adopta el método SCS como metodología base, acompañado por Kirpich, USACE, V.T. Chow y Témez como métodos de contraste. Esta selección responde a que se trata de una cuenca pequeña, con pendiente alta y una respuesta hidrológica rápida. Kirpich se incluye como referencia conservadora para cuencas de alta pendiente, mientras que USACE, V.T. Chow y Témez permiten contrastar el resultado con formulaciones menos sensibles a respuestas extremadamente rápidas.

Para la cuenca Santa Bárbara, se emplea el método SCS como referencia principal, junto con USACE, V.T. Chow, Kirpich y Témez, dado que corresponde a una cuenca de tamaño intermedio y pendiente alta. Esta combinación permite comparar metodologías aplicables a cuencas pequeñas y medianas, manteniendo coherencia con el procedimiento SCS-CN utilizado para la transformación lluvia-escorrentía, sin depender exclusivamente de métodos que puedan subestimar el tiempo de concentración por efecto de la pendiente.

A continuación, se presenta el resumen de los tiempos de concentración estimados para cada cuenca.

Tabla 3-32 Tiempos de concentración para cada cuenca.

	Metodologias de Tiempo de concentración (minutos)						Tiempo de concentración de diseño						Tc Diseño (min)	Tc Diseño (horas)
Cuenca	**Kirpich**	**Témez**	**V.T. Chow**	**USACE**	**Williams & Hann**	**SCS**	***Mediana***	***Rango Intercuartil***	***Ancho de Banda***	***Lim. Inf.***	***Lim. Sup.***	***Tc. Calculado***		
Chorrera		80.63	81.97	75.25	68.79	83.59	*80.63*	*10.76*	*1.00*	*75.25*	*86.01*	*80.36*	80.36	1.34
Santa_Ana	11.22	38.90	38.79	36.31		32.59	*36.31*	*16.94*	*1.00*	*27.84*	*44.78*	*36.65*	36.65	0.61
Santa_Barbara	14.39	46.86	47.71	43.73		44.71	*44.71*	*18.22*	*1.00*	*35.60*	*53.82*	*45.75*	45.75	0.76

Fuente: Elaboración propia, 2026

3.9.3 CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS

Es necesario determinar cómo es la tasa de infiltración general de las zonas de estudio, para ello, se enmarca la litología de los suelos según la clasificación propuesta por el Soil Conservation Service en cuatro grupos: A, B, C y D.

La clasificación del suelo para la determinación del número de curva se realiza de acuerdo con los siguientes parámetros tomados del libro Hidrología en la Ingeniería de Germán Monsalve (1999),

- **A: "(Bajo potencial de escorrentía).** Suelos que tienen alta tasa de infiltración incluso cuando estén muy húmedos. Consisten en arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.

- **B: (Moderadamente bajo potencial de escorrentía).** Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.

- **C: (Moderadamente alto potencial de escorrentía).** Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcalis o suelos con niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).

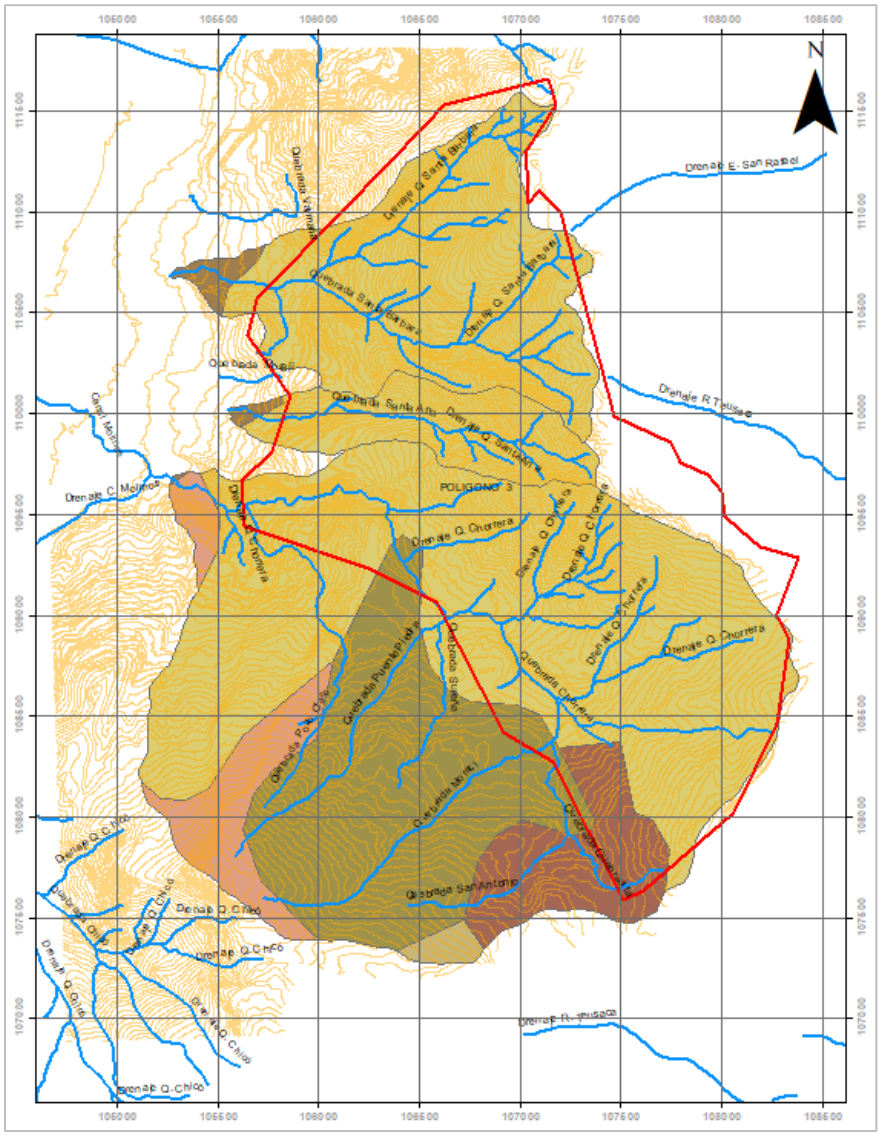
- **D: (Alto potencial de escorrentía).** Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o álcalis y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta."

Si bien, en el documento original del S.C.S. se presenta una lista extensa de suelos agrológicos pertenecientes a los diferentes grupos hidrológicos. En nuestro medio se deben

utilizar criterios más generales, dado que aún no se han elaborados listas de este tipo. Por lo anterior, para establecer la clasificación de los suelos más adecuada en la zona de estudio, se toma como información base, los planos de suelos agrícolas disponibles en las bases de datos del IGAC.

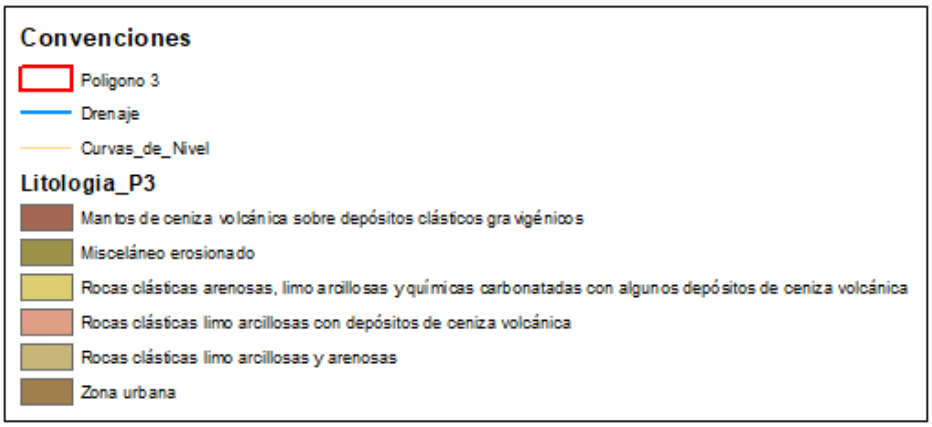
Así pues, se presenta a continuación una caracterización litológica de los suelos que existen en cuenca delimitada para el estudio:

Figura 3-166. Tipo de suelos presentes en la zona de estudio



Fuente: IGAC,2026.

Figura 3-167. Convenciones de las características litológicas en el Polígono 3



Fuente: IGAC,2026

Es así como se determina que a nivel general, estos suelos se caracterizan por ser rocas clásticas, limoarcillosas y arenosas, y, debido a la presencia de texturas finas, se considera que los suelos corresponden a una clasificación tipo C.

3.9.4 COBERTURA VEGETAL

Se realiza un análisis de la distribución espacial de los diferentes tipos de cobertura presentes en el área de aporte, con el fin de obtener un valor para el coeficiente de escorrentía y así poder determinar los caudales generados en diferentes periodos de retorno.

La metodología que se emplea para el análisis mencionado anteriormente corresponde al método Racional, lo anterior debido al tamaño del área de aporte.

Para determinar el valor del coeficiente de escorrentía C, se realiza una ponderación de los valores correspondientes a cada cobertura vegetal que se encuentren presentes al interior del área de aporte, así:

$$C = \frac{1}{A_T} * \sum_{i=1}^{n} (A_i * C_i)$$

Donde,

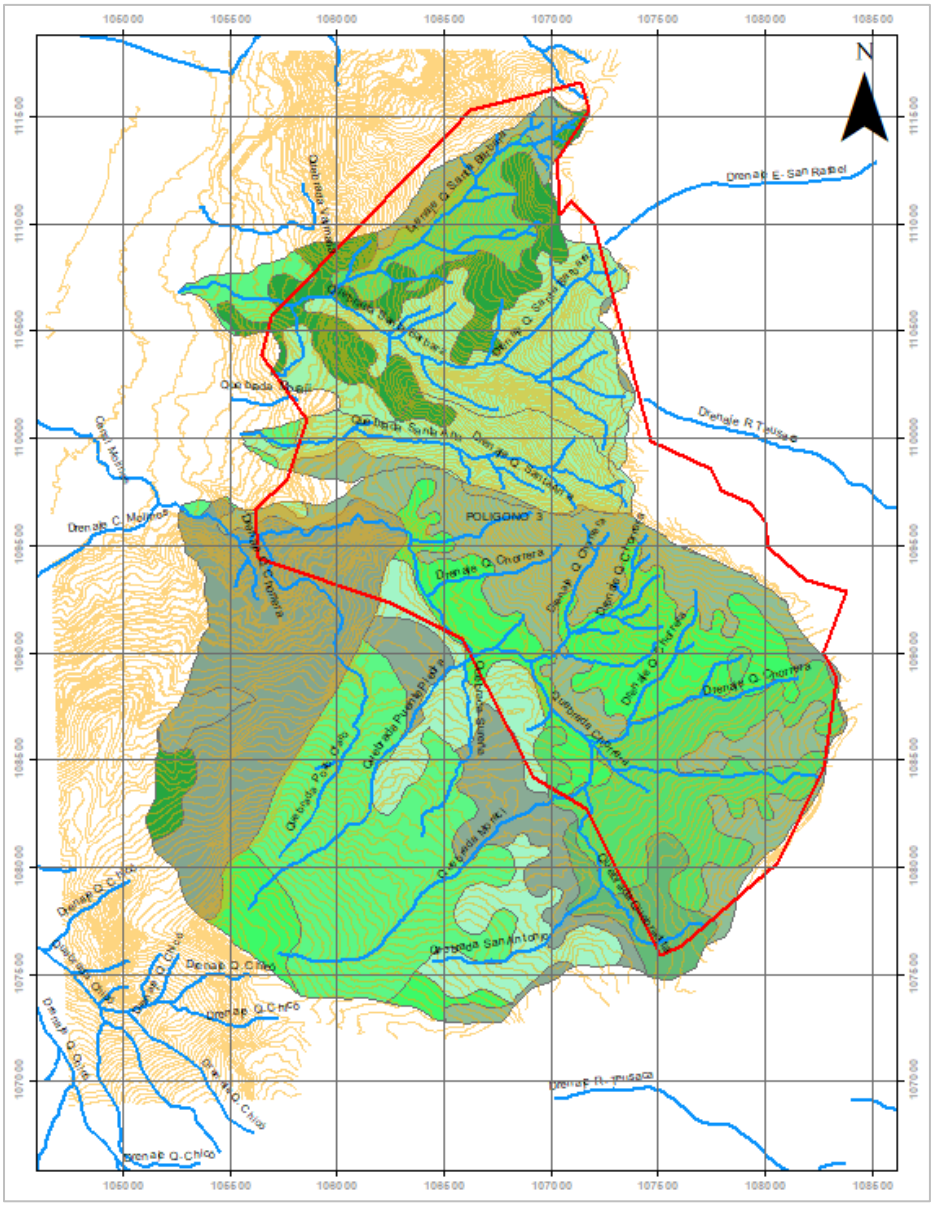
C = Coeficiente de escorrentía ponderado.

C_i = Coeficiente de escorrentía correspondiente al tipo de cobertura i.

A_T = Área total de aporte.

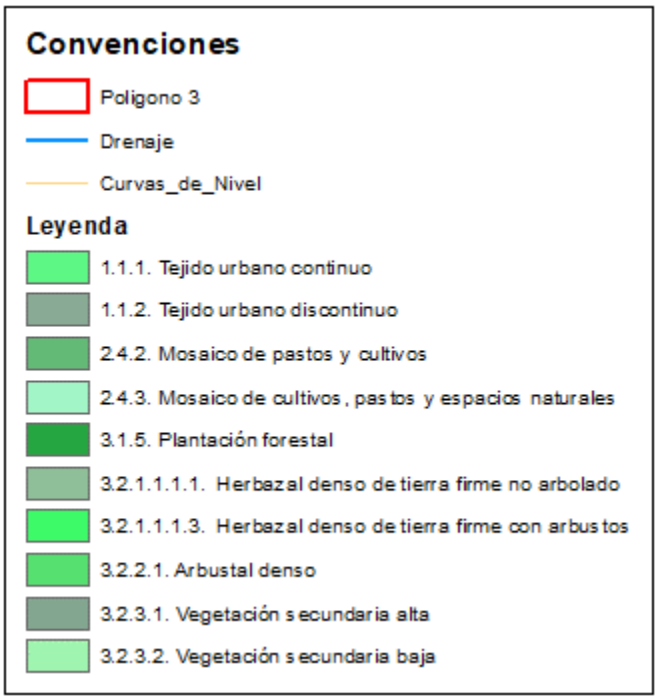
A_i = Área correspondiente al tipo de cobertura i.

Figura 3-168. Tipo de coberturas presentes en la zona de estudio



Fuente: IGAC,2026

Figura 3-169. Convenciones de las coberturas en el Polígono 3



Fuente: IGAC,2026

Como se puede observar, las áreas delimitadas se encuentran sobre diferentes tipos de cobertura, por lo que se establecerá el coeficiente de forma ponderada según la extensión de cada cobertura dentro de la cuenca.

Para definir el valor del coeficiente en este caso, no solo se considera la cobertura, sino también las condiciones topográficas y la textura del suelo, no obstante dado que es una zona montañosa, el criterio que predomina para establecer el valor del coeficiente es la pendiente.

Tabla 3-33 Número de curva de escorrentía para áreas urbanas.

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	% PROMEDIO ÁREAS IMPERMEABLES[1]	NÚMERO DE CURVAS PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida):					
Espacios abiertos (prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.)					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
Áreas Impermeables:					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentados; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
Áreas desiertas urbanas:					
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables)[3]		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barreras impermeables de maleza,		96	96	96	96
Áreas urbanas:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:					
1/8 de acre o menos (506 m^2 o menos)	65	77	85	90	92
1/4 acre (1012 m^2)	38	61	75	83	87
1/3 acre (1350 m^2)	30	57	72	81	86
1/2 acre (2025 m^2)	25	54	70	80	85
1 acre (4050 m^2)	20	51	68	79	84
2 acre (8100 m^2)	12	46	65	77	82
Áreas urbanas desarrolladas:					
Áreas permeables conformadas (solamente áreas permeables, sin		77	86	91	94

Referencia: Monsalve S. Germán, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999.

[1] El porcentaje promedio de área impermeable muestreada fue empleado para desarrollar el conjunto de valores de CN. Otras suposiciones son las siguientes: áreas impermeables están directamente conectadas con el sistema de drenaje, áreas impermeables tienen un CN=98; y áreas permeables son consideradas equivalentes a espacios abiertos con una condición hidrológica buena.

[2] CNs mostrados son equivalentes a aquéllos de pastos. Se pueden calcular valores de CN compuestos para otras combinaciones de tipo de cobertura de espacios abiertos.

[3] Los valores de CN de áreas permeables se suponen equivalentes a arbustos de desierto con un condición hidrológica pobre.

Fuente: Hidrología en la Ingeniería, (Monsalve, 1992).

Tabla 3-34. Número de curva de escorrentía para tierras agrícolas.

COBERTURA		CONDICIÓN HIDROLÓGICA	GRUPO DE SUELOS			
USO DE LA TIERRA	TRATAMIENTO O PRÁCTICA		A	B	C	D
			NÚMERO DE CURVA			
Rastrojo	Hileras Rectas	---	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras Rectas	Mala	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80

Referencia: Monsalve S. Germán, "Hidrología en la Ingeniería", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia, Segunda Edición, 1999,

[1] Siembra tupida o al voleo.

Fuente: Hidrología en la Ingeniería, (Monsalve, 1992).

Es necesario añadir, que se ejecutan los cálculos bajo el supuesto de que la humedad antecedente del suelo es tipo 2 (AMC II), por lo que no es necesario un ajuste adicional a los valores de CN que se han establecido

A partir de ello se establece el valor del número de curva que se empleara para el método del SCS.

Tabla 3-35. Coeficientes de CN para cada tipo de cobertura

Cobertura	CN Soil Conservation Service AMC III
1.1.1. Tejido urbano continuo	94
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	83
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	81
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	77
3.1.5. Plantación forestal	70
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	71
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	71
3.2.2.1. Arbustal denso	70
3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	70
3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	77

Fuente: Elaboración propia

Como resultado se obtiene el CN de la cuenca asociada a cada cuenca.

Tabla 3-36. Numero de curva ponderado de la cuenca

Cuenca	CN SCS	IA
Chorrera	76.75	15.39
Santa_Ana	76.54	15.57
Santa_Barbara	74.45	17.43

Fuente: Elaboración propia

3.9.5 CURVA IDF

Para obtener la curva IDF se tuvo en cuenta la ecuación suministrada en los datos consultados en la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá en donde a su vez también se indicaban los valores de intensidad, duración y constantes para periodos de retorno de 3, 5,10, 25, 50 y 100 años.

La ecuación por utilizar es la siguiente:

$$i = C_1 * (D + X_o)^{C_2}$$

Donde,

i = Intensidad de la precipitación en milímetros.

D = Duración del aguacero en minutos o tiempo de concentración.

$C_1,\ C_2,\ X_o$ = Parámetros de la curva IDF, suministrados por EAAB (Tabla 3-37).

Tabla 3-37 Coeficientes curvas IDF para los sitios de estudio.

PARÁMETRO	Tr 3 Años	Tr 5 Años	Tr 10 Años	Tr 25 Años	Tr 50 Años	Tr 100 Años
C1	4719.53	5310.59	6266.11	7272.48	8318.70	8974.14
Xo	31.5	32.4	33.6	34.6	35.6	35.9
C2	1.07069	1.06737	1.07127	1.06885	1.07454	1.07120

Fuente: EAAB, 2026

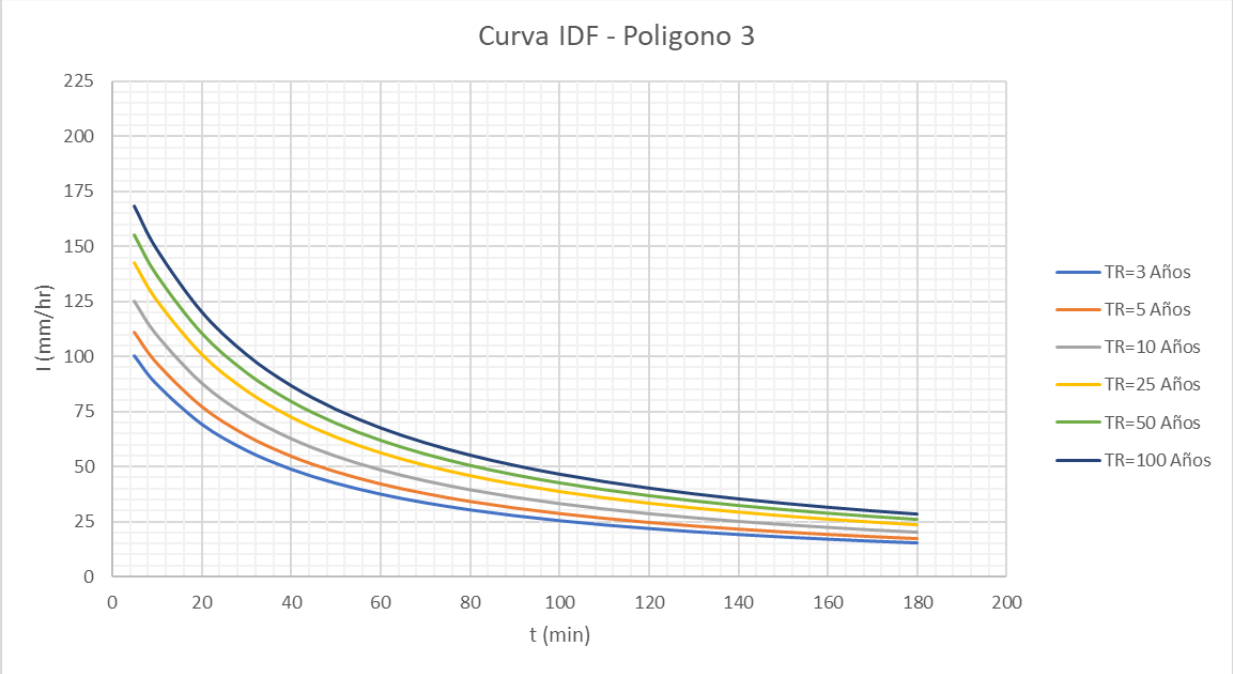
A continuación, se presenta el cálculo de las intensidades para diferentes duraciones (Tabla 3-38) y las curvas IDF (Figura 3-170).

Tabla 3-38 Valores de intensidad en mm/h para zona de estudio.

Tiempo (minutos)	Periodo de retorno (Años)					
	3	5	10	25	50	100
10	87.39	97.31	109.82	125.54	137.22	148.89
20	69.36	77.62	88.02	101.13	110.89	120.55
30	57.35	64.42	73.28	84.49	92.84	101.07
40	48.81	54.97	62.67	72.44	79.71	86.87
50	42.43	47.88	54.68	63.33	69.75	76.09
60	37.48	42.37	48.44	56.20	61.94	67.62
70	33.54	37.97	43.45	50.48	55.66	60.80
80	30.33	34.37	39.37	45.78	50.50	55.20
90	27.67	31.38	35.97	41.87	46.20	50.52
100	25.42	28.86	33.09	38.55	42.55	46.55
110	23.50	26.70	30.63	35.71	39.41	43.14
120	21.85	24.84	28.50	33.25	36.70	40.18
130	20.40	23.21	26.63	31.09	34.32	37.59
140	19.13	21.77	24.99	29.19	32.23	35.31
150	18.00	20.50	23.54	27.51	30.37	33.28
160	17.00	19.37	22.24	26.00	28.70	31.46
170	16.10	18.35	21.07	24.64	27.20	29.83
180	15.28	17.43	20.02	23.42	25.85	28.35

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-170 Curva IDF para la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia

3.9.6 CAUDAL ESTIMADO

Como parte de la recopilación de información secundaria para el componente de hidrología e hidráulica del Polígono 3, se consultó la información técnica suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP, mediante comunicado *No. 2551001-S-2026-155878* del 13 de mayo de 2026.

En dicho comunicado, la Dirección Red Troncal Alcantarillado —DRTA— de la EAAB-ESP presenta información asociada a los cuerpos de agua interceptados por los polígonos de intervención, incluyendo los resultados disponibles de modelaciones hidráulicas para caudales y niveles de lámina de agua asociados a un periodo de retorno de 100 años.

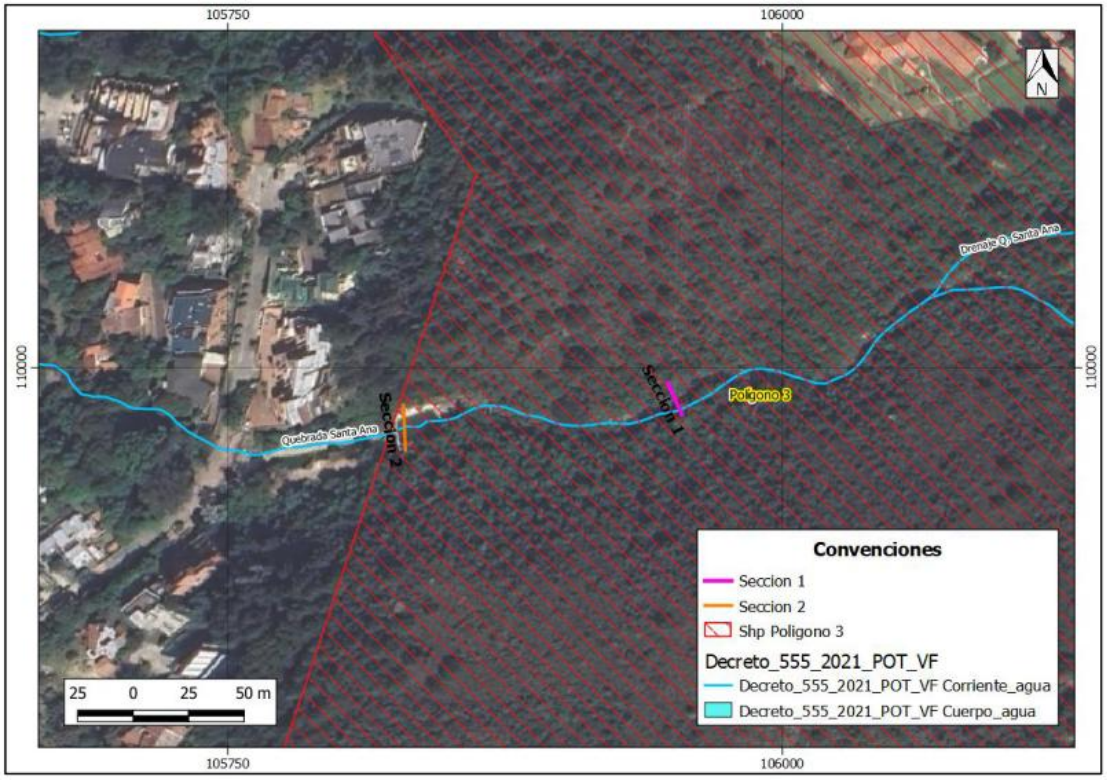
Para el caso del Polígono 3, denominado por la EAAB como “Quebradas Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara —Conector ecosistémico Cerro Virrey Neuque CECVN—”, la entidad identificó dentro del área de análisis varios cuerpos de agua, entre ellos el Drenaje Quebrada Santa Bárbara, Drenaje Quebrada Santa Ana, Drenaje Quebrada La Chorrera; para el presente documento la consultoría presentara únicamente los cuerpos de interés asociados al polígono 3 que corresponde a los ya mencionados.

3.9.6.1 Quebrada Santa Ana

La Dirección de Ingeniería Especializada (DIE) de la EAAB-ESP desarrolló, en el año 2025, el modelo hidráulico de la Quebrada Santa Ana para la creciente asociada a un periodo de retorno de 100 años. El análisis se realizó mediante un modelo bidimensional en condiciones de flujo no permanente.

Para la evaluación hidráulica, se definieron dos secciones de análisis: la primera localizada aguas arriba, en la intersección del inicio de la quebrada con el polígono de interés, y la segunda ubicada aguas abajo, en la correspondiente intersección con dicho polígono.

Figura 3-171 Localización del polígono 3 y secciones hidráulicas del modelo Quebrada Santa Ana.



Fuente: EAAB, 2026.

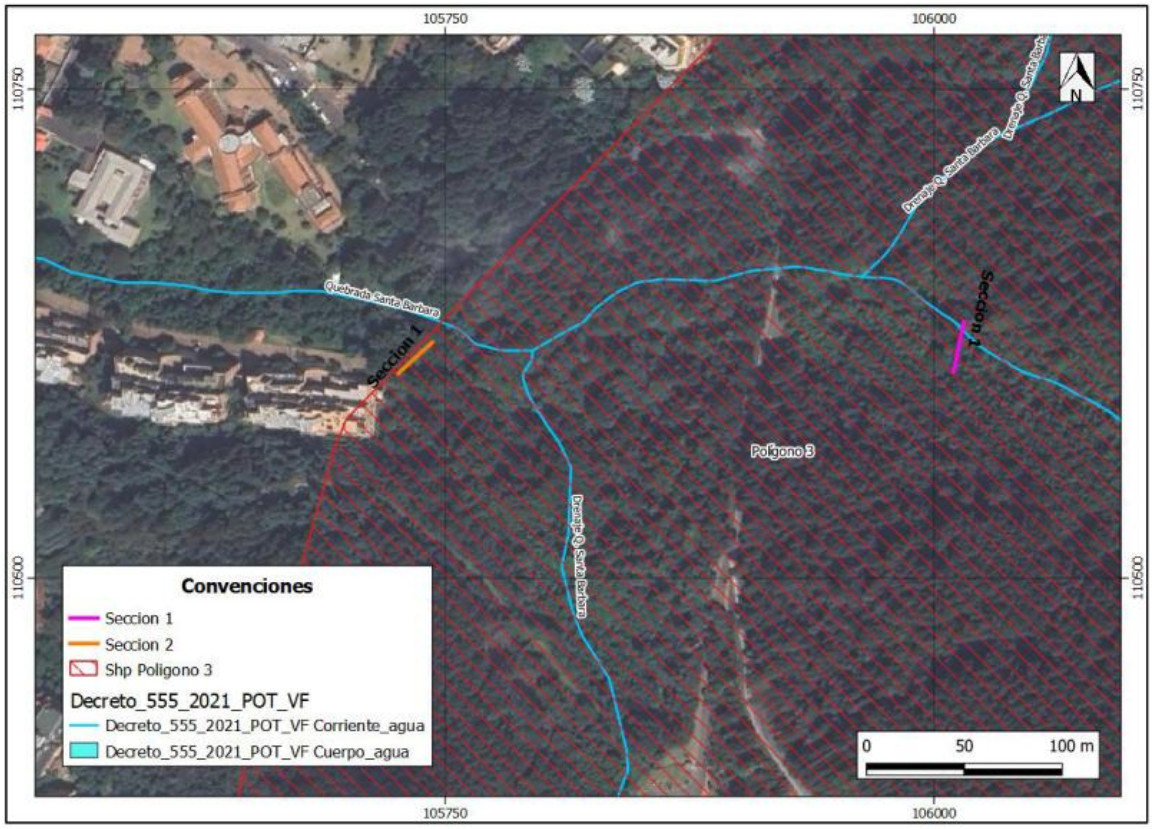
Para la sección 1 Aguas arriba se tiene un caudal de 4.68 m^3/s y un nivel de lámina de 2678.33 m.s.n.m; y para la sección 2 Aguas abajo se tiene un caudal de 7.21 m^3/s y un nivel de lámina de 2660.86 m.s.n.m.

3.9.6.2 Quebrada Santa Bárbara

La Dirección de Ingeniería Especializada (DIE) de la EAAB-ESP desarrolló, en el ño 2023, el modelo hidráulico de la Quebrada Bárbara para la creciente asociada a un periodo de retorno de 100 años. El análisis se realizó mediante un modelo bidimensional en condiciones de flujo no permanente.

Para la evaluación hidráulica, se definieron dos secciones de análisis: la primera localizada aguas arriba, en la intersección del inicio de la quebrada con el polígono de interés, y la segunda ubicada aguas abajo, en la correspondiente intersección con dicho polígono.

Figura 3-172 Localización del polígono 3 y secciones hidráulicas del modelo Quebrada Santa Bárbara.



Fuente: EAAB, 2026.

Para la sección 1 Aguas arriba se tiene un caudal de 24.05 m^3/s y un nivel de lámina de 2676.00 m.s.n.m; y para la sección 2 Aguas abajo se tiene un caudal de 25.31 m^3/s y un nivel de lámina de 2633.99 m.s.n.m. A continuación se presenta un resumen de la

información suminsitrada por la EAAB-ESP.

Tabla 3-39. Resumen de evaluación hidráulica en las quebradas del polígono 3

Cuerpo de agua	Año del modelo EAAB-DIE	Sección	Condición	Caudal Tr = 100 años (m^3/s)	Nivel de lámina de agua (m.s.n.m.)
Quebrada Santa Ana	2025	Sección 1	Aguas arriba	4.68	2678.33
Quebrada Santa Ana	2025	Sección 2	Aguas abajo	7.21	2660.86
Quebrada Santa Bárbara	2023	Sección 1	Aguas arriba	24.05	2676.00
Quebrada Santa Bárbara	2023	Sección 2	Aguas abajo	25.31	2633.99
Quebrada La Chorrera	—	—	—	No reportado en el comunicado	No reportado en el comunicado

Fuente: EAAB, 2026.

De acuerdo con la información suministrada, los modelos hidráulicos disponibles fueron desarrollados por la Dirección de Ingeniería Especializada —DIE— de la EAAB-ESP, mediante modelación bidimensional en condiciones de flujo no permanente, considerando la creciente asociada a un periodo de retorno de 100 años. Para cada quebrada modelada se definieron secciones de análisis localizadas en los cruces o intersecciones del cauce con el polígono de interés, a partir de las cuales se reportaron los caudales máximos y los niveles de lámina de agua.

En relación con la Quebrada La Chorrera, si bien esta es identificada por la EAAB-ESP como uno de los drenajes presentes dentro del Polígono 3, el comunicado no presenta valores específicos de caudal ni niveles de lámina de agua para este drenaje, por lo anterior, los valores de caudal y nivel asociados a esta quebrada deberán ser definidos a partir de la modelación hidrológica e hidráulica desarrollada por la consultoría o mediante información complementaria que sea suministrada posteriormente por la EAAB-ESP.

Los valores anteriores constituyen un insumo de referencia para el análisis hidráulico del Polígono 3, especialmente para la verificación de niveles máximos de cauce, posibles condiciones de remanso, evaluación de entregas, estructuras de paso y demás intervenciones que puedan tener incidencia directa o indirecta sobre los cuerpos de agua identificados. En todo caso, su aplicación deberá ser contrastada con la delimitación específica de las áreas de aporte, la topografía de detalle, las condiciones actuales del cauce y los resultados de la modelación hidrológica e hidráulica desarrollada para el

presente estudio.

4 LÍNEA BASE PARA SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

La estructuración de las propuestas conceptuales de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para los polígonos de estudio se fundamenta en un proceso metodológico orientado a la lectura integral del territorio, la identificación de oportunidades de intervención y la formulación de medidas que contribuyan simultáneamente a la reducción del riesgo, la adaptación al cambio climático, la recuperación de servicios ecosistémicos y el fortalecimiento de la resiliencia territorial.

Como marco de referencia se adopta la *Guía para la integración de las Soluciones Basadas en la Naturaleza en la planificación urbana: primera aproximación para Colombia* de Figueroa-Arango (2020), la cual plantea una ruta organizada en siete pasos orientados a identificar la oferta de naturaleza, reconocer las necesidades urbanas que pueden ser atendidas mediante SbN, establecer el papel de la naturaleza en escenarios futuros, priorizar opciones de implementación, fortalecer el diseño multifuncional, identificar estrategias de financiamiento y definir opciones para la evaluación y monitoreo de las intervenciones.

Para el presente estudio, dicha ruta metodológica se adapta a las condiciones particulares de los polígonos analizados y a los requerimientos establecidos en el Anexo Técnico del contrato. En este sentido, la metodología no se aplica como una secuencia rígida y lineal, sino como una estructura de análisis que permite organizar los insumos técnicos, ambientales, sociales e hidrológicos necesarios para sustentar la posterior formulación de alternativas de intervención.

Teniendo en cuenta que los polígonos de estudio no corresponden a socioecosistemas completamente homogéneos, se incorpora una etapa previa de identificación y caracterización de matrices homogéneas. Esta sectorización permite diferenciar unidades territoriales con condiciones relativamente similares en términos de cobertura, uso del suelo, nivel de intervención, funcionalidad ecológica, dinámica hídrica, procesos morfodinámicos y relación con el entorno urbano. A partir de estas matrices, el análisis de SbN puede desarrollarse con mayor precisión, evitando una lectura generalizada del polígono y permitiendo orientar las propuestas según las condiciones particulares de cada sector.

En el marco de este capítulo, correspondiente a la línea base para SbN, se desarrollan los insumos necesarios para comprender la condición actual del territorio y su capacidad de soportar intervenciones basadas en naturaleza. Por tanto, se incluyen la identificación y caracterización de matrices homogéneas y parches, el análisis de la oferta ecosistémica, la identificación de necesidades y problemáticas socioecológicas, el análisis hidrológico, la revisión de condiciones de variabilidad y cambio climático, y la determinación de escenarios de factores detonantes bajo condición climática normal, condición de variabilidad climática y condición de cambio climático.

Es importante precisar que este capítulo no desarrolla todavía la priorización definitiva de alternativas, el plan de acción, los diseños detallados ni las recomendaciones finales de implementación, monitoreo y gobernanza territorial. Dichos componentes se abordan en capítulos posteriores, una vez consolidada la línea base territorial, ecosistémica, hidrológica y climática. En consecuencia, la presente sección constituye el soporte técnico para las etapas posteriores de zonificación de amenaza, formulación del plan de acción, definición del rol de la naturaleza, priorización de intervenciones, identificación de alternativas de financiamiento, desarrollo de diseños detallados y establecimiento de recomendaciones para la implementación y seguimiento de las SbN.

Bajo este enfoque, la línea base permite reconocer no solo dónde existe naturaleza o potencial de restauración, sino también qué problemáticas deben ser atendidas, qué condiciones territoriales limitan la resiliencia del sistema y qué procesos físicos, hidrológicos y climáticos deben ser considerados para que las futuras alternativas de SbN sean técnicamente pertinentes, ambientalmente funcionales y socialmente viables.

4.1 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATRICES

La primera etapa del análisis corresponde a la identificación y caracterización de matrices homogéneas dentro de cada polígono de estudio. Esta etapa se incorpora como un paso previo a la aplicación de la metodología de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), debido a que los polígonos no presentan condiciones uniformes en toda su extensión, sino que están conformados por sectores con diferentes grados de naturalidad, intervención antrópica, funcionalidad ecológica, dinámica hídrica, estabilidad del terreno y relación con el entorno urbano.

En este sentido, los polígonos de estudio se entienden como paisajes híbridos, en los cuales interactúan elementos naturales, seminaturales y antrópicos. Esta condición implica que el territorio no puede ser analizado como una unidad homogénea, sino como un mosaico de unidades espaciales diferenciadas, en donde las coberturas vegetales, los usos del suelo, las formas del relieve, la red de drenaje, las áreas urbanizadas, los procesos morfodinámicos y las dinámicas sociales configuran condiciones particulares para cada sector.

Bajo este enfoque, las matrices homogéneas se definen como unidades espaciales con condiciones relativamente similares en términos físicos, ecológicos, ambientales, sociales y funcionales. Su delimitación permite comprender la organización interna del territorio, identificar zonas con comportamientos semejantes y diferenciar sectores con problemáticas, restricciones y oportunidades específicas para la implementación de medidas de reducción del riesgo y Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Para la delimitación de las matrices homogéneas se consideraron, entre otros, los siguientes criterios:

- Cobertura y uso actual del suelo.
- Nivel de naturalidad o grado de intervención antrópica.
- Presencia de elementos de la estructura ecológica y conectividad ambiental.
- Relación con el sistema hídrico, drenajes, cauces, rondas hídricas o zonas de escorrentía.
- Condiciones geomorfológicas y presencia de procesos morfodinámicos.

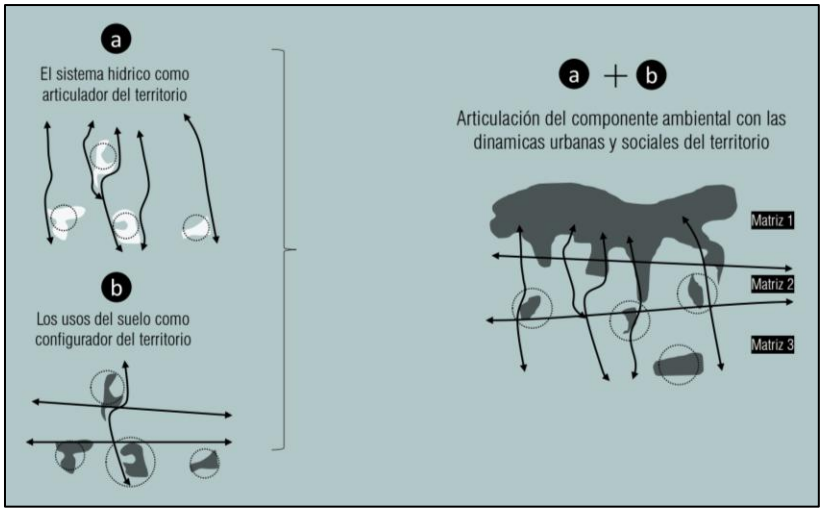
- Presencia de infraestructura, ocupaciones, vías, senderos u otros elementos urbanos.

La identificación de matrices homogéneas permite que el análisis de SbN no se realice de manera generalizada sobre la totalidad del polígono, sino a partir de unidades de lectura territorial más específicas. De esta manera, cada matriz puede ser evaluada de forma independiente en términos de oferta ecosistémica, tensores ambientales y sociales, necesidades socioecológicas, restricciones técnicas y oportunidades de intervención.

En consecuencia, esta sectorización constituye un insumo metodológico fundamental para orientar la formulación de medidas diferenciadas. Las matrices con mayor continuidad de cobertura natural o seminatural pueden asociarse a estrategias de conservación, restauración o fortalecimiento de conectividad ecológica; las matrices con mayor degradación o presión antrópica pueden requerir acciones de recuperación, revegetalización, manejo de escorrentía o estabilización; y las matrices urbanizadas o altamente transformadas pueden demandar intervenciones híbridas que articulen infraestructura, manejo hidráulico y soluciones basadas en naturaleza.

La Figura 4-1 presenta de manera conceptual la articulación entre el componente ambiental y las dinámicas urbanas y sociales del territorio, entendiendo el sistema hídrico como articulador y el uso del suelo como configurador territorial.

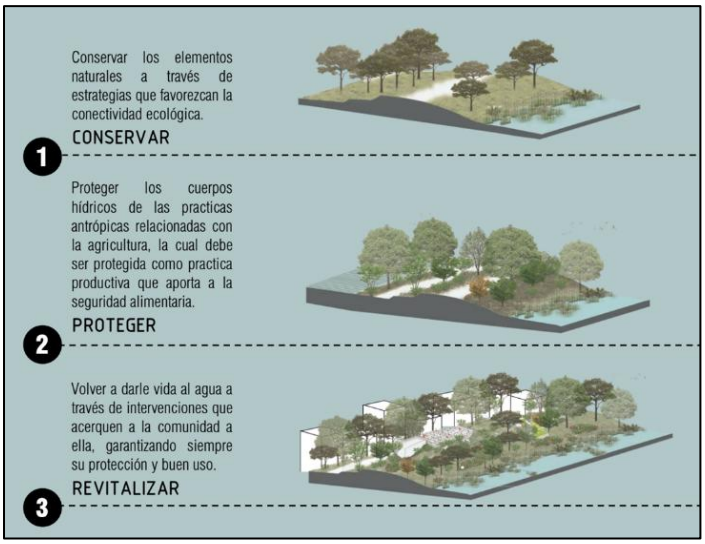
Figura 4-1 Articulación entre sistema hídrico, uso del suelo y matrices territoriales



Fuente: JAM Ingeniería y Medio Ambiente, 2023.

La Figura 4-2 presenta, de manera esquemática, la forma en que la lectura por matrices permite orientar estrategias de intervención diferenciadas según las áreas de mayor ocupación, continuidad y funcionalidad dentro del territorio.

Figura 4-2 Estrategias de intervención según matrices de ocupación y funcionalidad territorial



Fuente: JAM Ingeniería y Medio Ambiente, 2023.

A partir de la lectura integral del Polígono 3, se identificaron dos matrices homogéneas principales, diferenciadas por su nivel de naturalidad, grado de intervención, continuidad espacial, cobertura dominante y relación con las dinámicas urbanas y ambientales del sector.

La delimitación de estas matrices se realizó con base en la interpretación de coberturas de la tierra, el análisis de la ortofoto elaborada en el presente proyecto y las institucionales, la revisión de las condiciones de ocupación y la identificación de elementos funcionales del territorio, tales como áreas con cobertura vegetal continua, sectores urbanizados, vías, senderos, áreas erosionadas y zonas con evidencia de transformación antrópica.

4.1.1 NIVEL DE NATURALIDAD

La caracterización de los niveles de naturalidad constituye una herramienta de lectura territorial orientada a reconocer el grado de conservación, transformación o artificialización de un área determinada. Esta clasificación permite interpretar el territorio a partir de la relación entre los elementos naturales, seminaturales, culturales y artificiales presentes en

el paisaje, estableciendo un gradiente que va desde espacios completamente artificializados, dominados por edificaciones, superficies duras e infraestructura urbana, hasta áreas con mayor predominio de coberturas naturales, conectividad ecológica, permeabilidad del suelo y funcionamiento de procesos ambientales.

En este sentido, la naturalidad no se define únicamente por la presencia o ausencia de vegetación, sino por el nivel de intervención antrópica, la continuidad y composición de las coberturas, la funcionalidad ecológica del territorio, el grado de transformación del suelo y la capacidad del área para mantener procesos ambientales asociados a la regulación hídrica, la protección del suelo, la provisión de hábitat, la conectividad ecológica y la estabilidad de los sistemas naturales o seminaturales.

Para el presente estudio, la evaluación de naturalidad se adopta como un insumo metodológico para diferenciar sectores con mayor valor ecológico, áreas con intervención moderada y zonas altamente transformadas. Esta lectura permite complementar la identificación de matrices homogéneas, parches, corredores, oferta ecosistémica y oportunidades para la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza, al reconocer qué sectores conservan funciones ambientales relevantes y cuáles requieren procesos de recuperación, rehabilitación o manejo.

La escala de naturalidad empleada toma como referencia la propuesta formulada por Machado (2004) y adoptada en documentos de gestión y planificación ambiental, incluyendo lineamientos de la UICN, WWF y PNUMA. Bajo este enfoque, el nivel de naturalidad permite calificar qué tan cercano se encuentra un espacio respecto a las condiciones propias de los ecosistemas naturales originales del lugar, o qué tan transformado o artificializado se encuentra por efecto de la ocupación, la infraestructura, el manejo antrópico o la modificación de sus coberturas.

La clasificación considera aspectos como la presencia y continuidad de vegetación nativa, la existencia de especies introducidas o invasoras, la intensidad de uso del suelo, la presencia de edificaciones e infraestructura, el grado de manejo artificial requerido para sostener las coberturas existentes, así como las alteraciones sobre la topografía, el suelo y el ciclo hidrológico. A partir de estos criterios es posible diferenciar espacios con alta funcionalidad ecológica, como áreas naturales protegidas o coberturas seminaturales, de

espacios con naturalidad intermedia, como zonas verdes manejadas, sistemas agroforestales o áreas suburbanas, y de sectores altamente transformados, como áreas urbanas densas, superficies endurecidas o zonas con vegetación residual.

En la tabla siguiente se presenta la escala de niveles de naturalidad ajustada para el polígono de estudio. Esta síntesis permite establecer criterios comparables para evaluar las diferentes unidades del territorio y diferenciar los sectores según su estado de conservación, grado de intervención y potencial funcional para la formulación de estrategias de restauración, rehabilitación ambiental, manejo del riesgo y Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Tabla 4-1 Descripción general de los niveles de naturalidad

Nivel	Categoría	Descripción general
10	**Natural virgen**	Áreas con predominio total de elementos naturales, ecosistemas nativos bien conservados y presencia nula o mínima de intervención antrópica.
9	**Natural**	Ecosistemas nativos con intervención humana muy baja o esporádica. Conservan alta funcionalidad ecológica y continuidad de coberturas.
8	**Subnatural**	Ecosistemas secundarios o en procesos avanzados de restauración naturalista, con baja presencia de especies exóticas o estructuras artificiales localizadas.
7	**Cuasi-natural**	Mosaicos de ecosistemas nativos o coberturas naturales alteradas, con presencia de asentamientos dispersos o elementos antrópicos de baja intensidad.
6	**Seminatural**	Mosaicos con diferentes grados de alteración, donde predominan coberturas vegetales secundarias, áreas protegidas urbanas, vegetación nativa o introducida y usos de baja intensidad.
5	**Cultural autosostenido**	Paisajes con coberturas vegetales y usos humanos de baja intensidad, como sistemas agroforestales, pastos arbolados, zonas residenciales suburbanas de baja densidad o proyectos de restauración inicial.
4	**Cultural asistido**	Coberturas vegetales creadas o manejadas, como plantaciones, jardines, zonas verdes urbanas, parques de alta naturalidad o sistemas de drenaje urbano sostenible con predominio vegetal.
3	**Altamente intervenido**	Áreas con coberturas biológicas mezcladas con infraestructura y superficies duras. Presentan biodiversidad reducida, hidrología alterada y alta intervención antrópica.
2	**Semi-transformado**	Sectores con predominio de edificaciones, superficies duras e infraestructura urbana, pero con presencia de zonas verdes, senderos, alamedas o elementos permeables residuales.
1	**Transformado**	Áreas dominadas por elementos artificiales, alta densidad de construcciones, vegetación confinada o decorativa y fuerte control antrópico del agua y del suelo.
0	**Artificial**	Espacios completamente artificializados, con superficies duras, edificaciones densas y vegetación ausente o prácticamente inexistente.

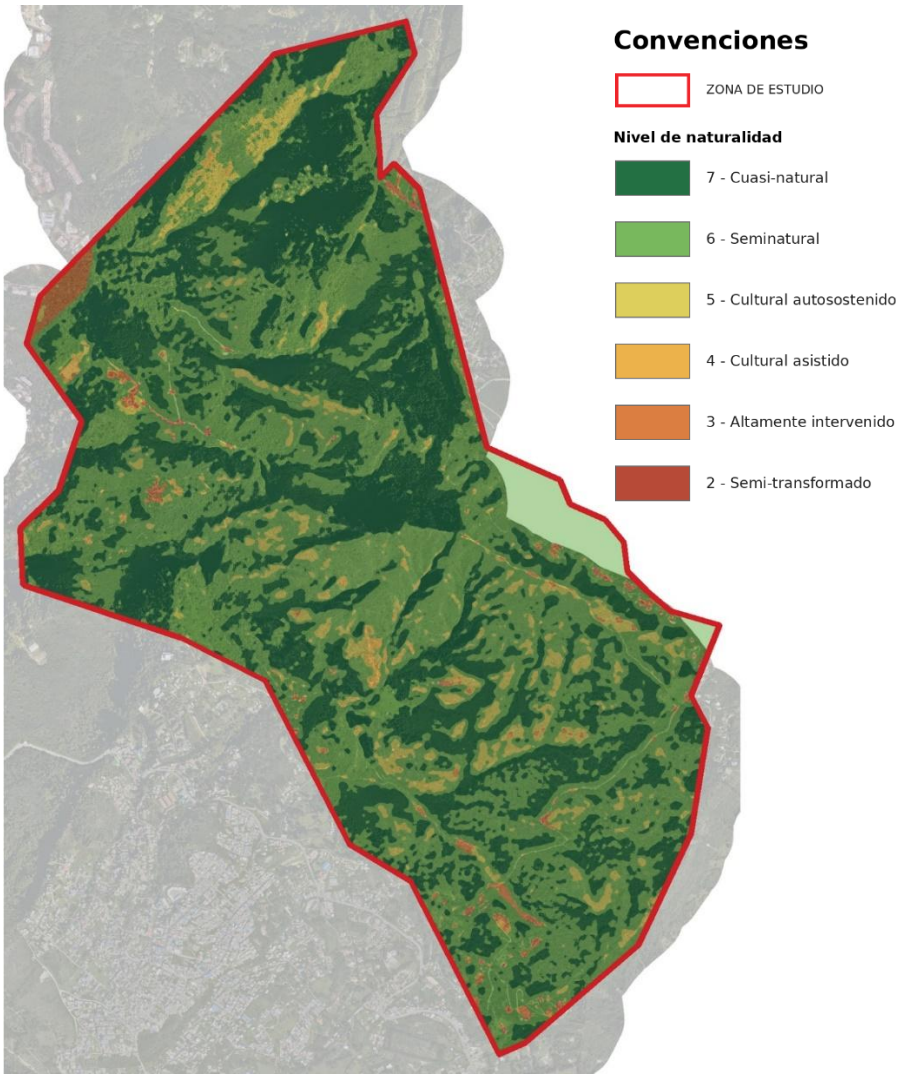
Cada territorio ocupado por el ser humano está conformado por un mosaico de espacios en distintos niveles de naturalidad. El Perfil de Naturalidad de un territorio o paisaje es la proporción de espacios más naturales y menos naturales o más transformados que lo

conforman. Esto permite compararlo con otros territorios o paisajes y establecer si se trata de paisajes naturales, rurales, rurales muy transformados o artificiales.

Y dependiendo de qué tipo de paisaje se trate, se puede establecer que formas, estrategias y espacios se pueden aplicar para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

En la siguiente figura se presenta la zonificación por niveles de naturalidad para el polígono de estudio.

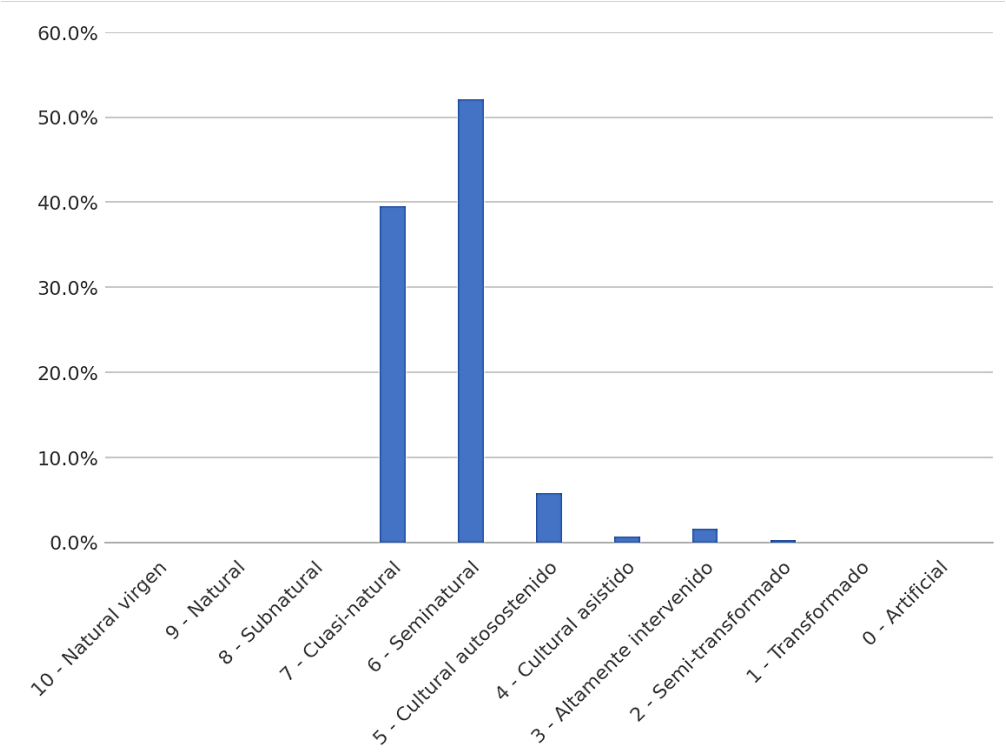
Figura 4-3 Niveles de naturalidad



Fuente: Elaboración propia

La medición de las áreas sumadas en cada nivel de naturalidad arroja el siguiente perfil de naturalidad para el polígono.

Figura 4-4 Perfil de naturalidad



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 DEFINICIÓN DE MATRICES

El Polígono 3 presenta una estructura territorial predominantemente natural, aunque con diferencias en el grado de intervención de las coberturas presentes. Si bien el bosque abierto alto de tierra firme constituye la cobertura dominante del área de estudio, con una participación del 60,56 % de la superficie total, también se identifican coberturas herbáceas y arbustivas, áreas de uso agropecuario, superficies erosionadas, vías y sectores puntuales de tejidos urbanos discontinuos. Esta configuración evidencia que, aunque existe un predominio de coberturas naturales, estas no presentan las mismas condiciones de conservación e intervención en la totalidad del polígono.

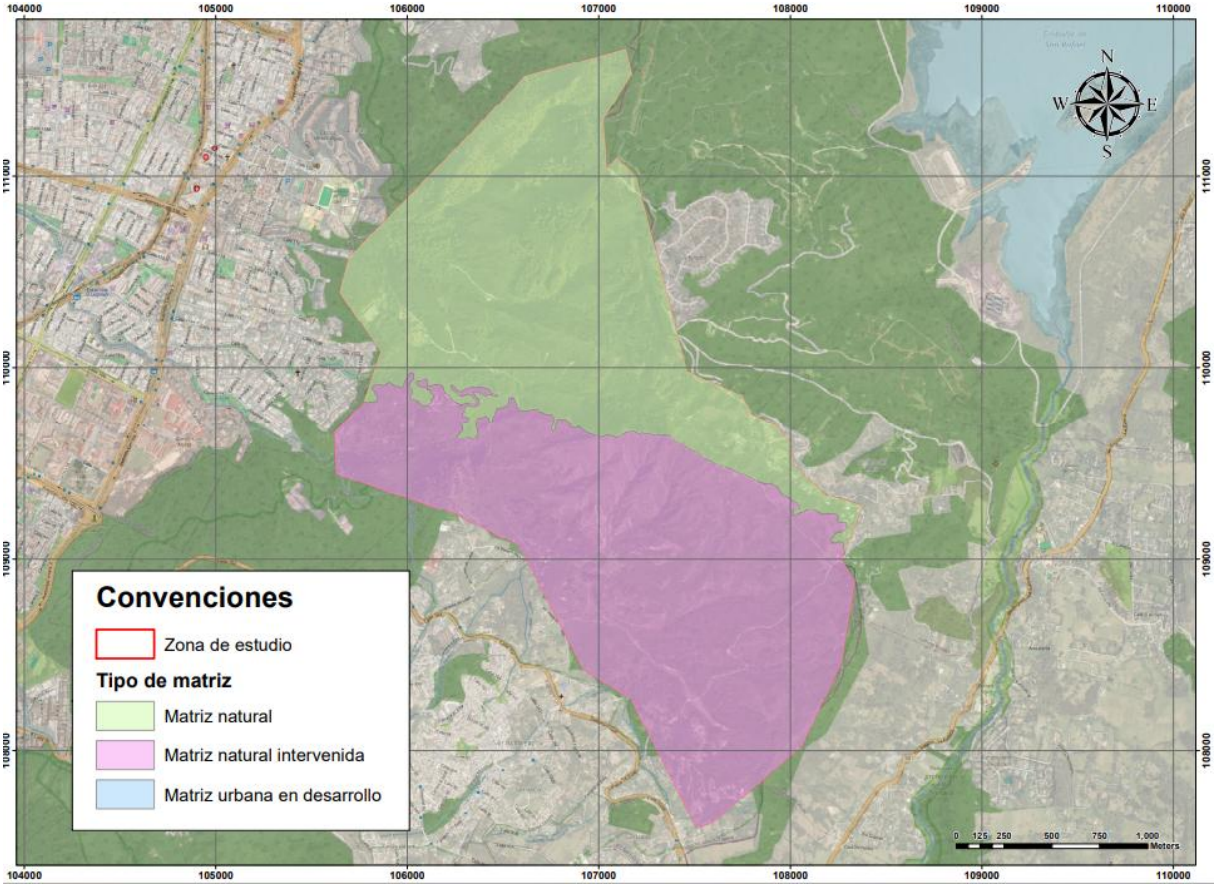
Esta condición resulta fundamental para orientar la formulación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), debido a que las estrategias deben responder al nivel de conservación

y transformación de cada sector. En las áreas donde predominan las coberturas naturales y se mantiene una mayor continuidad del bosque se deben priorizar acciones de conservación, protección y fortalecimiento de las condiciones ecológicas existentes. En contraste, los sectores donde el bosque se encuentra acompañado por coberturas como herbazales densos, pastos arbolados, tejidos urbanos discontinuos, vías y áreas erosionadas requieren medidas orientadas a la rehabilitación ambiental, restauración de coberturas, recuperación de conectividad, manejo de escorrentía y control de procesos de degradación del suelo.

En este contexto, el Polígono 3 se estructura a partir de dos matrices diferenciadas: una matriz natural y una matriz natural intervenida. La matriz natural corresponde principalmente a sectores dominados por bosque abierto alto de tierra firme, cobertura que presenta un dosel discontinuo con elementos arbóreos regularmente distribuidos y una altura superior a 5 metros. Dentro de esta matriz también se identifican algunas vías pavimentadas y sin pavimentar, así como pequeñas zonas correspondientes a otros tejidos urbanos discontinuos.

Por su parte, la matriz natural intervenida mantiene igualmente una importante presencia de bosque abierto alto de tierra firme, pero presenta una mayor diversidad, extensión y proximidad de coberturas asociadas a procesos de intervención y transformación. En esta matriz adquieren mayor presencia los herbazales densos de tierra firme con arbustos, los pastos arbolados, los otros tejidos urbanos discontinuos, las áreas erosionadas y las vías pavimentadas y sin pavimentar, entre otras coberturas.

Figura 4-5 Matrices polígono 3



Fuente: Elaboración propia

La diferenciación entre estas dos matrices permite reconocer distintos niveles de integridad y presión dentro de un territorio que, en términos generales, mantiene un marcado carácter natural. La matriz natural representa los sectores donde existe un mayor predominio de coberturas naturales y, por tanto, donde se deben priorizar acciones de conservación, protección y mantenimiento de la estructura ecológica existente. La matriz natural intervenida, por su parte, corresponde a sectores donde, aunque persisten coberturas naturales de importancia, se presenta una mayor interacción con coberturas transformadas o asociadas a procesos de degradación, por lo que adquieren relevancia acciones de rehabilitación, restauración ecológica, recuperación de conectividad, revegetalización y manejo de procesos erosivos.

En este sentido, las matrices no se entienden únicamente como agrupaciones de

coberturas o usos del suelo, sino como unidades funcionales para el análisis de la oferta ecosistémica, los tensores territoriales, las necesidades socioecológicas y las oportunidades de implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza. Esta diferenciación permite orientar las estrategias de manera acorde con las condiciones particulares de cada matriz, priorizando la conservación y protección en la matriz natural y la recuperación, rehabilitación y manejo de las presiones existentes en la matriz natural intervenida.

La Tabla 4-2 presenta la caracterización general de las matrices homogéneas identificadas para el Polígono 3.

Tabla 4-2 Caracterización de matrices homogéneas

Matriz	Caracterización	Parches	Área (km2.)
Matriz 1: Natural	**Nivel de naturalidad: xxx** Corresponde a los sectores del polígono donde se presenta una mayor continuidad de coberturas naturales y menor grado de transformación antrópica. Esta matriz está constituida principalmente por bosque abierto alto de tierra firme, cobertura que presenta un dosel discontinuo conformado por elementos arbóreos regularmente distribuidos y con alturas superiores a 5 m. En algunos sectores se presentan coberturas puntuales asociadas a infraestructura vial y pequeños espacios de ocupación antrópica. Esta matriz representa los sectores con mayor integridad ecológica del polígono y, por tanto, constituye un espacio prioritario para la conservación, protección y mantenimiento de las coberturas naturales, así como para el fortalecimiento de la conectividad ecológica mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).	Vías sin pavimentar Vías pavimentadas Otros tejidos urbanos discontinuos	2.6
Matriz 2: Natural intervenida	**Nivel de naturalidad: xxx** Corresponde a los sectores donde, aunque se mantiene una importante presencia de coberturas naturales, se evidencia una mayor intervención, transformación y heterogeneidad del territorio. Esta matriz conserva al bosque abierto alto de tierra firme como una de sus principales coberturas; sin embargo, se caracteriza por una mayor diversidad de coberturas y por la presencia de elementos que evidencian diferentes grados de intervención sobre la estructura natural. En estos sectores se encuentran herbazales densos de tierra firme con arbustos, pastos arbolados, arbustales abiertos y densos, bosque de galería mixto, plantaciones de coníferas y latifoliadas, así como afloramientos rocosos y superficies asociadas a procesos de erosión y remoción en masa. A estas coberturas se suman elementos directamente asociados con la intervención antrópica, como otros tejidos urbanos discontinuos, vías pavimentadas y sin pavimentar, además de sectores con pastos y superficies degradadas. Los herbazales densos de tierra firme con arbustos constituyen coberturas vegetales continuas que	Vías sin pavimentar Vías pavimentadas Otros tejidos urbanos discontinuos	2.89

Matriz	Caracterización	Parches	Área (km2.)
	mantienen una función de protección del suelo, mientras que los pastos arbolados y los arbustales representan espacios donde persiste vegetación, aunque con una estructura diferente a la del bosque. Por otra parte, las áreas erosionadas, las áreas erosionadas con arbustos y los sectores con remoción en masa evidencian procesos de degradación y transformación de las condiciones superficiales del terreno.		

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 ANEXOS

- Figura de Matrices

4.2 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PARCHES

Una vez definidas las matrices homogéneas del polígono de estudio, se realiza la identificación y análisis de los parches presentes al interior de cada una de ellas. En términos de ecología del paisaje, los parches corresponden a unidades espaciales que difieren de la matriz dominante en la cual se encuentran insertas, ya sea por su cobertura, uso del suelo, grado de intervención, condición ambiental, función ecológica o dinámica territorial.

Para la evaluación de los parches se adoptaron los principios de ecología del paisaje propuestos por Dramstad, Olson y Forman (1996), los cuales permiten analizar la estructura espacial del paisaje a partir de sus componentes principales: parches, bordes y límites, corredores y conectividad, y mosaicos. Estos principios constituyen una herramienta para interpretar cómo la configuración espacial del territorio condiciona los flujos ecológicos, la conectividad, la fragmentación, el efecto de borde y la funcionalidad ambiental del paisaje.

En este marco, los parches se analizan a partir de tres atributos principales: tamaño, número y ubicación. El tamaño permite evaluar la proporción de hábitat interior y de borde, así como la capacidad del parche para sostener funciones ecológicas. El número permite reconocer condiciones de pérdida de hábitat, fragmentación o agrupamiento de parches. La ubicación permite analizar el aislamiento, la posibilidad de recolonización y la importancia estratégica de determinados parches dentro del mosaico territorial.

De manera complementaria, se analizan los bordes, límites y formas de los parches, dado que estos condicionan la interacción entre el parche y la matriz circundante. Los bordes pueden presentar diferentes grados de diversidad estructural, ancho, abruptidad o función como filtro; los límites pueden ser naturales o antrópicos, rectos, curvilíneos, duros o blandos; y la forma del parche puede influir en la proporción de hábitat interior, el efecto de borde y la interacción con el entorno.

Asimismo, se incorporan criterios asociados a corredores, rutas, barreras, redes y escala, con el fin de evaluar la conectividad funcional entre parches, la presencia de elementos lineales que facilitan o restringen movimientos, la estructura de redes ecológicas o urbanas y la pertinencia de la lectura espacial según la escala cartográfica empleada.

La codificación utilizada en el presente análisis se organiza de la siguiente manera:

Tabla 4-3 Codificación criterios de análisis de parches

Código	Principio asociado	Interpretación dentro del estudio
		Tamaño
P1	Hábitats y especies de borde	Al dividir un parche grande en dos más pequeños se crea un hábitat de borde adicional, lo que da lugar a poblaciones más numerosas y a un número ligeramente mayor de especies de borde, que suelen ser comunes o estar ampliamente distribuidas en el paisaje.
P2	Hábitat y especies del interior	La división de un parche grande en dos más pequeños elimina el hábitat interior, lo que provoca una reducción en el tamaño de las poblaciones y en el número de especies del interior, que a menudo son importantes para la conservación.
P3	Probabilidad de extinción local	Normalmente, un parche más grande alberga una población más numerosa de una especie determinada que un parche más pequeño, lo que reduce la probabilidad de que la especie (cuya población fluctúa) se extinga localmente en el área más grande.
P4	Extinción	La probabilidad de que una especie se extinga localmente es mayor si el parche es pequeño o si la calidad del hábitat es baja.
P5	Diversidad de hábitats	Es probable que un parche grande cuente con diversos hábitats y, por lo tanto, albergue un mayor número de especies que un parche pequeño.
P6	Barrera contra perturbaciones	Dividir un parche grande en dos más pequeños crea una barrera contra la propagación de ciertas perturbaciones.
P7	Beneficios de los parches grandes	Los parches grandes de vegetación natural son las únicas estructuras del paisaje que protegen los acuíferos y las redes de arroyos interconectadas, sostienen poblaciones viables de la mayoría de las especies del interior, proporcionan un hábitat central y refugio para la mayoría de los vertebrados con un área de distribución amplia, y permiten regímenes de perturbación casi naturales.
P8	Beneficios de los parches pequeños	Los parches pequeños que interrumpen extensas áreas de la matriz actúan como puntos de apoyo para el movimiento de las especies. También albergan algunas especies poco comunes donde los parches grandes están ausentes o, en casos excepcionales, no son adecuados para una especie. Por lo tanto, los parches pequeños proporcionan beneficios ecológicos diferentes y complementarios a los de los parches más grandes.
		Cantidad
P9	La pérdida de hábitat	La eliminación de un parche provoca la pérdida de hábitat, lo que a menudo reduce el tamaño de la población de una especie que depende de ese tipo de hábitat, y también puede reducir la diversidad de hábitats, lo que conduce a una menor cantidad de especies.
P10	Dinámica de la meta-población	La eliminación de un parche reduce el tamaño de una meta-población (es decir, una población que interactúa y se subdivide entre diferentes parches), lo que aumenta la probabilidad de extinciones locales dentro de los parches, ralentiza el proceso de recolonización y reduce la estabilidad de la meta-población.
P11	Número de parches grandes	Cuando un gran parche contiene casi todas las especies de ese tipo de parche en el paisaje, dos parches grandes pueden ser considerados el mínimo para mantener la riqueza de las especies. No obstante, cuando un parche contiene una porción limitada de especies, probablemente se requieran hasta cuatro o cinco parches grandes.
P12	Parches agrupados como hábitat	Algunas especies relativamente generalistas (R1) pueden, a falta de un parche grande, sobrevivir en varios parches más pequeños cercanos que, aunque por separado son insuficientes, en conjunto resultan adecuados.
		Ubicación
P13	Extinción	La probabilidad de que una especie se extinga localmente es mayor en un parche aislado. El aislamiento es en función no solo de la distancia, sino

Código	Principio asociado	Interpretación dentro del estudio
		también de las características (es decir, resistencia) de la matriz de hábitat circundante.
P14	Recolonización	Un parche ubicado en las proximidades de otros parches tendrá una mayor probabilidad de ser (re-) colonizado dentro de un intervalo de tiempo menos prolongado que un parche más aislado.
P15	Selección de parches para conservación	La selección de parches para la conservación debería basarse en: 1) su contribución al sistema general, es decir, qué tan bien la ubicación de un parche se relaciona o se vincula con otros parches en el paisaje o región; y 2) en características inusuales o distintivas, por ejemplo, si un parche tiene especies raras, amenazadas o endémicas.
Estructura de borde		
E1	Diversidad estructural de los bordes	Los bordes vegetativos con una gran diversidad estructural, ya sea vertical u horizontal, cuentan con una mayor riqueza de especies animales de borde.
E2	Ancho de borde	El ancho del borde varía alrededor de cada parche, siendo más ancho en los lados orientados hacia la dirección predominante del viento y la exposición solar.
E3	Límite administrativo y límite ecológico natural	Cuando el límite administrativo o político de un área protegida no coincide con un límite ecológico natural, la zona situada entre ambos límites suele adquirir características distintivas y puede actuar como zona de amortiguación, reduciendo la influencia del entorno en el interior del área protegida.
E4	Borde como filtro	Los bordes de los parches suelen funcionar como filtros, lo que atenúa las influencias del entorno en el interior del parche.
E5	Brusquedad del borde	Los bordes abruptos tienden a aumentar el movimiento de las especies a lo largo de un borde, mientras que si el borde es menos abrupto favorece el movimiento a través del borde.
Límites		
E6	Bordes naturales y humanos	La mayoría de los bordes naturales son curvilíneos, complejos y suaves, mientras que los seres humanos tienden a crear bordes rectos, simples y duros.
E7	Límites rectos y curvilíneos	Un límite recto suele presentar un mayor movimiento de especies a lo largo de él, mientras que un límite sinuoso tiende a presentar un mayor movimiento a través de él.
E8	Límites duros y blandos	En comparación con un límite recto entre dos áreas, un límite curvilíneo formado por “pequeños parches” puede ofrecer una serie de beneficios ecológicos, entre ellos una menor erosión del suelo y un mayor uso por parte de la vida silvestre.
E9	Curvilinealidad y ancho de los bordes	La curvilinealidad y el ancho de un borde se combinan para determinar la extensión total del hábitat de los bordes dentro de un paisaje.
E10	Ensenadas y lóbulos	La presencia de ensenadas y lóbulos a lo largo de un borde ofrece una mayor diversidad de hábitats que a lo largo de un borde recto, lo que favorece una mayor diversidad de especies.
Formas de los parches		
E11	Bordes y especies del interior	Un parche más irregular tendrá una mayor proporción de hábitat de borde, lo que aumentará ligeramente el número de especies de los bordes, pero reducirá drásticamente el número de especies del interior, incluidas aquellas de importancia para la conservación.
E12	Interacción con el entorno	Cuanto más compleja sea la forma de un parche, mayor será la interacción, ya sea positiva o negativa, entre el parche y la matriz circundante.
E13	Parche de forma ecológicamente “óptima”	Un parche ecológicamente óptimo proporciona varios beneficios ecológicos y, por lo general, tiene forma de "nave espacial", con un núcleo redondeado para la protección de los recursos, además de algunos límites curvilíneos y algunas ramificaciones para la dispersión de especies.
E14	Forma y orientación	Una zona orientada con su eje longitudinal paralelo a la ruta de dispersión de los individuos tendrá una menor probabilidad de ser (re)colonizada que una

Código	Principio asociado	Interpretación dentro del estudio
		zona perpendicular a dicha ruta.
Corredores para el movimiento de especies		
C1	Controles sobre las funciones de los corredores	El ancho y la conectividad son los principales factores que influyen en las cinco funciones principales de los corredores, a saber: hábitat, conducto, filtro, fuente y sumidero.
C2	Eficacia de las brechas en los corredores	El efecto de una brecha en un corredor sobre el movimiento de una especie depende de la longitud de la brecha en relación con la escala de movimiento de la especie, y del contraste entre el corredor y la brecha.
C3	Similitud estructural frente a similitud florística	Es preferible que exista similitud en la estructura de la vegetación y en la florística (especies vegetales) entre los corredores y los parches grandes, aunque la similitud en la estructura por sí sola probablemente sea suficiente en la mayoría de los casos para el movimiento de especies en el interior de los parches grandes.
C4	Conectividad mediante *stepping stones* (parches de enlace).	Una serie de *stepping stones* (pequeños parches) presenta un nivel de conectividad intermedio entre un corredor y la ausencia de corredor; por lo tanto, también ofrece una capacidad intermedia para facilitar el movimiento de las especies de interior entre los parches.
C5	Distancia entre los *stepping stones* (parches de enlace)	En las especies que dependen en gran medida de la orientación visual, la distancia efectiva para desplazarse entre los *stepping stones* está determinada por la capacidad de percibir visualmente cada parche de enlace sucesivo.
C6	Pérdida de un *stepping stone* (parche de enlace)	La pérdida de un parche pequeño que funciona como un *stepping stone* para el movimiento entre otros parches normalmente inhibe el movimiento y, por lo tanto, incrementa el aislamiento de los parches.
C7	Conjunto de *stepping stones* (parches de enlace)	La disposición espacial óptima de un conjunto de stepping stones entre parches de mayor tamaño proporciona rutas alternativas o redundantes, al tiempo que mantiene una configuración general dispuesta linealmente entre dichos parches.
Barreras viales y cortavientos		
C8	Carreteras y otros corredores de tipo *trough*	Los corredores constituidos por carreteras, vías férreas, líneas de transmisión eléctrica y senderos tienden a ser completamente continuos, relativamente rectos y a estar sujetos a perturbaciones humanas frecuentes. En consecuencia, suelen actuar como barreras que subdividen las poblaciones de las especies en meta-poblaciones; como conductos, principalmente para las especies tolerantes a la perturbación; y como fuentes de erosión, sedimentación, especies exóticas y efectos humanos sobre la matriz.
C9	Erosión eólica y su control	Los vientos moderados reducen la fertilidad del suelo al arrastrar selectivamente partículas finas y transportarlas a largas distancias, mientras que los vientos más fuertes suelen desplazar partículas de tamaño mediano solo a unas decenas de metros. El control de la erosión eólica reduce el tamaño de los campos en la dirección predominante del viento y mantiene la vegetación, los surcos o los terrones de tierra, especialmente en zonas susceptibles a vórtices, turbulencias o flujos de aire aerodinámicos acelerados.
Corredores de arroyos y ríos		
C10	Corredor fluvial y sustancias disueltas	Las sustancias disueltas, como el nitrógeno, el fósforo y las toxinas, que ingresan a un corredor fluvial con vegetación son retenidas antes de alcanzar el cauce y afectar la calidad del agua, principalmente mediante la fricción, la absorción por las raíces, las arcillas y la materia orgánica del suelo. A su vez, estos mecanismos son más eficaces cuando el corredor es amplio y está cubierto por vegetación natural densa.
C11	Ancho del	Para mantener los procesos naturales, un corredor fluvial de segundo a cuarto

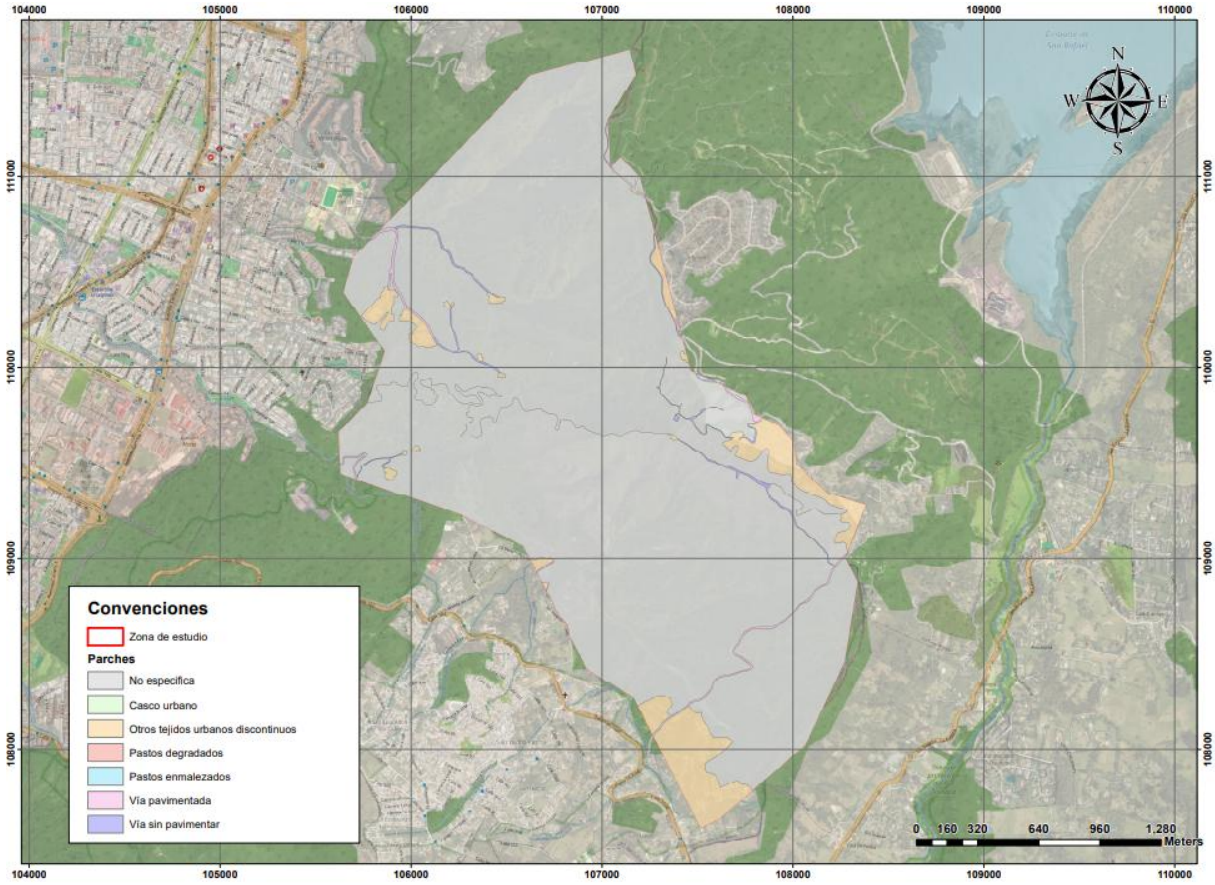
Código	Principio asociado	Interpretación dentro del estudio
	corredor para un cauce principal	orden aproximadamente: conserva un hábitat interior de tierras altas a ambos lados, lo suficientemente ancho como para controlar los aportes de sustancias disueltas de la matriz; proporciona un conducto para las especies interiores de tierras altas; y ofrece un hábitat adecuado para las especies de llanura aluvial desplazadas por las inundaciones causadas por castores o la migración lateral del cauce.
C12	Ancho del corredor para un río	Para mantener los procesos naturales, el corredor de un río de aproximadamente quinto a décimo orden debe conservar un hábitat interior de tierras altas a ambos lados. Esto actúa como un corredor para las especies propias del interior de las tierras altas y para aquellas especies desplazadas por la migración lateral del cauce. Además, mantener al menos un "patrón en forma de escalera" de parches grandes que atraviesen la llanura de inundación proporciona una esponja hidrológica, retiene sedimentos durante las crecidas y aporta materia orgánica del suelo a la cadena alimentaria acuática, troncos que sirven de hábitat para los peces y hábitats para especies raras de la llanura de inundación.
C13	Conectividad de un corredor fluvial	La anchura y la longitud de un corredor fluvial con vegetación interactúan o se combinan para determinar los procesos que ocurren en el curso de agua. Sin embargo, un corredor fluvial continuo, sin interrupciones importantes, es esencial para mantener las condiciones acuáticas, como una temperatura baja del agua y un alto contenido de oxígeno disuelto. Sin estas condiciones, además de otros requisitos fisiológicos, no podrán mantenerse poblaciones viables de determinadas especies de peces, como las truchas.
Redes		
M1	Conectividad y circuitería de la red	La conectividad de una red (es decir, el grado en que todos los nodos están conectados mediante corredores), combinada con la circuitería de la red (es decir, el grado en que existen bucles o rutas alternativas), indica cuán simple o compleja es una red y proporciona un índice general de la eficacia de las conexiones para el desplazamiento de las especies.
M2	Bucles y rutas alternativas	Las rutas alternativas o los bucles dentro de una red reducen los efectos negativos de las brechas, las perturbaciones, los depredadores y los cazadores dentro de los corredores, aumentando así su eficiencia.
M3	Densidad de corredores y tamaño de malla	A medida que disminuye el tamaño de malla de una red, la probabilidad de supervivencia disminuye drásticamente para una especie que evita los corredores o que se ve inhibida por ellos.
M4	Efecto de intersección	En la intersección de los corredores de vegetación natural, suele haber algunas especies del interior, y la riqueza de especies es mayor que en cualquier otro lugar de la red.
M5	Especies en un parche pequeño conectado	Un parche pequeño o nodo conectado a una red de corredores probablemente tendrá un número ligeramente mayor de especies y una tasa de extinción local menor que un parche de igual tamaño separado de la red.
M6	Dispersión y parche pequeño conectado	Los parches pequeños o nodos situados a lo largo de una red existente son eficaces al proporcionar hábitat donde los individuos pueden detenerse y/o reproducirse, lo que da lugar a una mayor tasa de supervivencia de los individuos en dispersión y, por tanto, a un mayor número de individuos dispersándose dentro de la red.
Fragmentación y patrón		
M7	Pérdida de hábitat total frente a hábitat interior	La fragmentación reduce la extensión total de un tipo de hábitat concreto, pero, proporcionalmente, provoca una pérdida mucho mayor del hábitat interior.
M8	Parches fractales	La configuración fractal es una reacción natural a la transición, en la que los parches aislados suelen reaccionar ante una perturbación de manera similar a

Código	Principio asociado	Interpretación dentro del estudio
		como lo haría un grupo. A medida que estos parches se hacen más pequeños o grandes, sus relaciones estructurales o su patrón se mantienen esencialmente iguales, hasta que ocurre una perturbación inusualmente fuerte.
M9	Sub-urbanización, especies exóticas y áreas protegidas	En los paisajes que están experimentando un proceso de sub-urbanización y la consiguiente invasión de especies exóticas, una reserva de biodiversidad o natural puede protegerse contra los daños causados por los invasores mediante una zona (de amortiguación) con un control estricto de las especies exóticas.
Escala		
M10	Tamaño de grano de los mosaicos	Un paisaje de grano grueso que contiene áreas de grano fino es óptimo para proporcionar los beneficios ecológicos de los parches grandes, especies que utilizan múltiples hábitats, incluidos los seres humanos, y una amplia variedad de recursos y condiciones ambientales.
M11	Percepción animal de la escala de fragmentación	Un hábitat finamente fragmentado normalmente es percibido como un hábitat continuo por una especie con un amplio rango de desplazamiento, mientras que un hábitat con fragmentación gruesa es discontinuo para todas las especies, excepto para los animales grandes con mayor capacidad de desplazamiento.
M12	Especialistas y generalistas	Las especies especialistas son más propensas a verse afectadas negativamente por la fragmentación a pequeña escala que las especies generalistas de tamaño similar.
M13	Patrones de mosaico para especies con múltiples hábitats	Las especies que utilizan múltiples hábitats se ven favorecidas por los puntos de convergencia (lugares donde convergen tres o más hábitats), las adyacencias (diferentes combinaciones de tipos de hábitat contiguos) y la intercalación de hábitats (hábitats distribuidos de forma dispersa en lugar de agrupados).

Fuente: Dramstad, Olson y Forman (1996)

En términos de las matrices de la zona se identificaron los siguientes parches:

Tabla 4-4 Parches identificados



Fuente: Elaboración propia

4.2.1 EVALUACIÓN DE PARCHES EN LA MATRIZ NATURAL

Previo a la formulación de alternativas de intervención, se realizó una lectura funcional de los parches identificados dentro de la matriz natural (Sn), con el fin de reconocer los elementos que interrumpen o modifican la continuidad de las coberturas naturales dominantes y su incidencia sobre la funcionalidad ecológica, hidrológica y geomorfológica del polígono.

En la matriz natural, los parches corresponden principalmente a elementos puntuales de intervención insertos dentro de una cobertura predominantemente boscosa. Se identifican principalmente vías pavimentadas y sin pavimentar, así como pequeños sectores asociados a otros tejidos urbanos discontinuos. Estos elementos generan interrupciones localizadas dentro de la cobertura natural y establecen bordes de transición entre las áreas de bosque

y los sectores con intervención antrópica.

Esta condición permite reconocer sectores donde la presencia de infraestructura vial y ocupaciones puntuales puede generar fragmentación localizada, modificación de la escorrentía superficial y aumento de la presión sobre las coberturas naturales. A su vez, estos parches representan oportunidades para la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), mediante acciones orientadas al manejo de bordes, recuperación de cobertura vegetal, estabilización de superficies intervenidas, manejo de escorrentía y fortalecimiento de la conectividad ecológica entre los sectores de mayor continuidad natural.

Tabla 4-5 Evaluación de parches en la matriz natural

Componente evaluado	Principios aplicables	Condición identificada en la matriz	Lectura funcional
Tamaño del parche	P3, P5, P8	Los parches presentan tamaños reducidos en relación con la extensión predominante de bosque abierto alto de tierra firme. Las vías constituyen elementos lineales, mientras que los otros tejidos urbanos discontinuos corresponden a sectores puntuales de menor extensión.	Los parches pequeños tienen una influencia localizada sobre la matriz; sin embargo, cuando se concentran o se encuentran próximos entre sí pueden incrementar la fragmentación y disminuir la continuidad del hábitat.
Número de parches	P9, P10, P12	Se presenta un número reducido de parches antrópicos distribuidos al interior o en los bordes de la matriz natural.	La baja cantidad de parches permite mantener una matriz predominantemente continua; no obstante, la pérdida o ampliación de estos elementos podría aumentar progresivamente la fragmentación y afectar la conectividad ecológica.
Ubicación del parche	P13, P14, P15	Los parches se localizan principalmente asociados a sectores de acceso y ocupación antrópica, incluyendo vías pavimentadas y sin pavimentar y pequeños tejidos urbanos discontinuos.	La proximidad de estos parches a las coberturas boscosas genera zonas de transición y presión sobre la matriz natural. Los parches ubicados cerca de otros elementos intervenidos pueden favorecer la acumulación de efectos de borde.
Bordes	E1, E2, E4, E5	Los parches generan bordes de contacto directo entre superficies intervenidas y la cobertura boscosa predominante. Las vías presentan bordes lineales y relativamente definidos, mientras que los tejidos urbanos discontinuos generan transiciones más heterogéneas.	Los bordes constituyen zonas de interacción entre la intervención antrópica y el bosque, pudiendo modificar las condiciones microambientales y aumentar la presión sobre la cobertura natural. Se recomienda favorecer bordes vegetados y de transición gradual.
Límites	E6, E7, E8	Predominan límites asociados a infraestructura vial y ocupaciones antrópicas, con trazados lineales y definidos. En algunos sectores, estos límites contrastan directamente con la cobertura boscosa.	Los límites duros y rectilíneos pueden incrementar el contraste entre el parche y la matriz. El establecimiento de transiciones vegetales puede disminuir este contraste y mejorar la permeabilidad ecológica.
Forma del parche	E11, E12, E14	Las vías presentan formas alargadas y lineales, mientras que los tejidos urbanos discontinuos presentan formas más irregulares y fragmentadas.	Las formas lineales de las vías incrementan la interacción longitudinal con la matriz y pueden constituir barreras al movimiento de algunas especies. Las

Componente evaluado	Principios aplicables	Condición identificada en la matriz	Lectura funcional
			formas irregulares generan una mayor proporción de borde respecto al área ocupada.
Corredores	C1, C2, C4, C5, C6	Las vías corresponden a elementos lineales que atraviesan o delimitan sectores de la matriz natural. Aunque no cumplen una función de corredor ecológico, pueden generar discontinuidades dentro de la cobertura vegetal.	Las vías pueden reducir la conectividad funcional de la matriz y generar brechas en los recorridos de fauna. Su manejo puede orientarse hacia el fortalecimiento de pasos, bordes vegetados y conexiones ecológicas transversales.
Rutas y barreras	C8, C9	Las vías pavimentadas y sin pavimentar constituyen los principales elementos lineales de intervención. Además de generar una barrera física localizada, pueden favorecer procesos de erosión y transporte de sedimentos, especialmente en superficies sin pavimentar.	Estos elementos representan una presión sobre la continuidad de la matriz natural. Las vías sin pavimentar presentan oportunidades para medidas de manejo de escorrentía, estabilización y control de erosión mediante SbN.
Redes	M1, M2, M5, M6	Los parches se encuentran inmersos en una matriz natural de amplia continuidad, por lo que su funcionamiento depende de su proximidad y relación con otros elementos naturales del paisaje.	La conservación de la continuidad de la matriz permite mantener rutas potenciales de desplazamiento. El fortalecimiento de conexiones entre pequeños elementos naturales puede disminuir el aislamiento y favorecer la conectividad funcional.
Escala	M10, M11, M12, M13	El paisaje presenta una estructura de grano predominantemente grueso, caracterizada por grandes extensiones de cobertura boscosa con elementos intervenidos de menor tamaño insertos en ella.	La escala actual favorece la permanencia de grandes áreas de hábitat natural. La conservación de esta configuración resulta prioritaria, evitando que los parches antrópicos aumenten en tamaño o cantidad y generen una fragmentación progresiva.

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 EVALUACIÓN DE PARCHES EN LA MATRIZ NATURAL INTERVENIDA

Previo a la formulación de alternativas de intervención, se realizó una lectura funcional de los parches identificados dentro de la matriz natural intervenida, con el fin de reconocer los elementos que interrumpen, fragmentan o modifican la continuidad de las coberturas naturales y su incidencia sobre la funcionalidad ecológica, hidrológica y geomorfológica del polígono.

En la matriz natural intervenida, los parches corresponden principalmente a elementos asociados con la intervención antrópica que se encuentran inmersos dentro de una matriz con predominio de coberturas naturales. En este caso, se identifican otros tejidos urbanos discontinuos, vías pavimentadas y vías sin pavimentar. Estos elementos se distribuyen de manera localizada dentro de la matriz y generan interrupciones puntuales en la continuidad de las coberturas vegetales, estableciendo zonas de contacto entre las áreas naturales y

los espacios intervenidos.

La presencia de estos parches adquiere especial relevancia debido al mayor nivel de intervención que caracteriza esta matriz. Los tejidos urbanos discontinuos y las vías pueden generar fragmentación localizada, incrementar la presencia de bordes antrópicos y modificar las condiciones de conectividad entre las coberturas naturales. De igual manera, la infraestructura vial puede alterar las dinámicas de escorrentía superficial y constituir una barrera para el desplazamiento de algunas especies, especialmente cuando atraviesa sectores de cobertura vegetal continua. Las vías sin pavimentar, además, pueden presentar una mayor susceptibilidad al deterioro y aportar procesos de erosión y transporte de sedimentos.

En este sentido, los parches identificados representan oportunidades para la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), particularmente mediante acciones orientadas al manejo y revegetalización de bordes, recuperación de conexiones entre coberturas naturales, manejo de escorrentía asociada a las vías y estabilización de superficies intervenidas. Estas medidas pueden contribuir a disminuir el efecto de fragmentación generado por los parches y favorecer una mayor continuidad funcional entre los sectores naturales de la matriz natural intervenida.

Tabla 4-6 Evaluación de parches en la matriz natural intervenida

Componente evaluado	Principios aplicables	Condición identificada en la matriz	Lectura funcional
Tamaño del parche	P3, P5, P8	Los parches corresponden principalmente a elementos de tamaño reducido frente a la extensión de las coberturas naturales que conforman la matriz. Los otros tejidos urbanos discontinuos presentan superficies puntuales, mientras que las vías tienen una configuración predominantemente lineal.	El reducido tamaño de los parches limita su capacidad para generar hábitat independiente, pero su presencia dentro de la matriz puede incrementar la fragmentación y generar efectos de borde localizados.
Número de parches	P9, P10, P12	Se identifica una mayor presencia de parches asociados a intervención antrópica respecto a la matriz natural, distribuidos principalmente como tejidos urbanos discontinuos y elementos de infraestructura vial.	El mayor número de parches refleja una condición de mayor intervención y heterogeneidad. Su acumulación puede generar una pérdida progresiva de continuidad de las coberturas naturales y afectar la conectividad funcional.
Ubicación del parche	P13, P14, P15	Los parches se encuentran distribuidos dentro de la matriz natural intervenida y asociados principalmente a sectores de ocupación, acceso y movilidad. Las vías atraviesan o delimitan sectores de cobertura natural y los tejidos urbanos discontinuos se concentran principalmente hacia sectores de contacto con áreas intervenidas.	La ubicación de los parches determina su grado de interacción con la matriz. Los elementos próximos o insertos en coberturas naturales pueden generar mayores efectos de borde y aumentar el aislamiento entre sectores de vegetación.
Bordes	E1, E2, E4, E5	Los parches generan bordes de contacto directo entre las coberturas naturales y	Los bordes representan zonas de transición donde pueden incrementarse

Componente evaluado	Principios aplicables	Condición identificada en la matriz	Lectura funcional
		elementos antrópicos. Las vías presentan bordes lineales y definidos, mientras que los tejidos urbanos discontinuos generan límites más heterogéneos.	las perturbaciones sobre la vegetación. El establecimiento de bordes vegetados y transiciones graduales puede disminuir el contraste entre el parche y la matriz.
Límites	E6, E7, E8	Predominan límites definidos por infraestructura vial y superficies intervenidas. Las vías presentan límites relativamente rectos y continuos, mientras que los tejidos urbanos discontinuos generan límites más irregulares.	Los límites duros y rectilíneos aumentan el contraste entre las áreas intervenidas y las coberturas naturales. La incorporación de vegetación en los límites puede favorecer una transición más permeable y reducir los efectos negativos sobre la matriz.
Forma del parche	E11, E12, E14	Las vías presentan formas alargadas y lineales, mientras que los otros tejidos urbanos discontinuos presentan formas variables e irregulares, adaptadas a la ocupación existente.	La forma lineal de las vías favorece su continuidad como elementos de intervención y puede generar barreras transversales al movimiento de especies. Las formas irregulares de los tejidos urbanos aumentan la interacción con la matriz circundante.
Corredores	C1, C2, C4, C5	Las vías constituyen elementos lineales continuos dentro de la matriz, pero no corresponden a corredores ecológicos. Los parches urbanos discontinuos no conforman conexiones naturales entre las coberturas vegetales.	Los elementos identificados pueden interrumpir las conexiones ecológicas existentes. El manejo de los bordes y la generación de conexiones vegetales en puntos estratégicos permitirían mejorar la permeabilidad de la matriz intervenida.
Rutas y barreras	C8, C9	Las vías pavimentadas y sin pavimentar constituyen los principales elementos lineales de intervención. Por sus características pueden generar barreras para el desplazamiento de fauna y modificar las condiciones superficiales del terreno.	Las vías representan los principales elementos de fragmentación dentro de esta matriz. Las vías sin pavimentar presentan además oportunidades para medidas de manejo de escorrentía, estabilización y control de erosión mediante SbN.
Redes	M1, M2, M5, M6	Los parches se relacionan espacialmente con una matriz natural intervenida que conserva sectores de cobertura vegetal continua. Las vías conforman una red de movilidad antrópica que atraviesa o conecta diferentes sectores del polígono.	La red vial puede aumentar la fragmentación de la matriz, pero los espacios naturales existentes entre sus elementos pueden ser fortalecidos para mantener conexiones ecológicas. La recuperación de puntos estratégicos permitiría generar rutas alternativas para el desplazamiento de especies.
Escala	M10, M11, M12, M13	La matriz presenta una estructura de mayor heterogeneidad que la matriz natural, con coberturas naturales extensas interrumpidas por parches antrópicos de menor tamaño y elementos lineales.	La configuración corresponde a un paisaje de mayor fragmentación local, aunque aún conserva una matriz natural dominante. Es prioritario evitar el crecimiento y la expansión de los parches antrópicos y fortalecer las conexiones entre las coberturas naturales remanentes.

4.2.3 ANEXOS

- Figura de Parches

4.3 IDENTIFICACIÓN DE OFERTA Y OPORTUNIDADES

En el marco del presente estudio, la identificación de oferta y oportunidades para la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) se entiende como una lectura del territorio orientada a reconocer, por una parte, los servicios ecosistémicos existentes y potenciales, y por otra, las áreas o condiciones espaciales que pueden ser conservadas, recuperadas, rehabilitadas o transformadas para fortalecer la funcionalidad ecológica, la regulación hídrica, la protección del suelo y la adaptación al cambio climático.

La oferta se interpreta como la capacidad actual o potencial del territorio para proveer servicios ecosistémicos, tales como regulación hídrica, control de erosión, estabilización superficial, conectividad ecológica, provisión de hábitat, regulación microclimática y servicios culturales asociados al paisaje y al uso social del territorio.

Por su parte, las oportunidades corresponden a aquellos sectores, matrices, parches, corredores o áreas degradadas que, por su localización, condición ecológica, nivel de transformación, relación con la Estructura Ecológica Principal, presencia de suelos de protección o potencial de recuperación, pueden albergar medidas de SbN o intervenciones híbridas. Esta lectura permite pasar de una visión centrada únicamente en las problemáticas y tensores del territorio hacia una aproximación en la cual la naturaleza actúa como elemento estructurante para la reducción del riesgo, la restauración ecológica y la resiliencia climática.

Para el Polígono 3, la identificación de oferta y oportunidades se realiza a partir de la lectura de las matrices homogéneas, los parches identificados, las coberturas de la tierra, el sistema hídrico, las condiciones de riesgo, la relación con el reserva forestal de los Cerros Orientales y las dinámicas de ocupación presentes en el borde urbano-ambiental. Esta integración permite reconocer tanto los elementos naturales y seminaturales que deben conservarse o fortalecerse, como los sectores transformados o degradados que pueden convertirse en espacios funcionales para la implementación de SbN.

4.3.1 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

La UICN adopta la definición de servicios ecosistémicos de la evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA por sus siglas en inglés), que define estos servicios como aquellos

beneficios que los ecosistemas brindan a los seres humanos , y reconoce que su uso es un componente clave de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para abordar los desafíos sociales y ambientales, como el cambio climático y la reducción del riesgo de desastres. Estos beneficios pueden ser materiales (alimentos, agua) e intangibles (regulación del clima), e incluyen acciones para proteger, gestionar y restaurar ecosistemas con el fin de mantener tanto el bienestar humano como la biodiversidad, (Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment / Synthesis), (UN, 2005).

Colombia adoptó la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), que promueve la gestión integral (conservación, uso sostenible, restauración y generación de conocimiento) de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos como marco para la toma de decisiones territoriales y para desarrollar planes de acción sectoriales y locales, (MADS M. d., 2012).

Los servicios ecosistémicos se clasifican por tipo y por espacialidad.

De acuerdo con la evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA) los servicios ecosistémicos se agrupan en 4 categorías según su tipo:

- Servicios ecosistémicos de soporte: procesos ecológicos que sostienen la producción de todos los demás servicios. Ejemplos: ciclo de nutrientes, formación de suelo, polinización de cultivos.
- Servicios ecosistémicos de regulación: beneficios derivados de la regulación de procesos ecológicos. Ejemplos: regulación del clima (secuestro de carbono), control de inundaciones, purificación del agua, control de plagas y enfermedades, estabilización de suelos.
- Servicios ecosistémicos de aprovisionamiento: productos materiales que los ecosistemas suministran. Ejemplos: alimentos, agua para consumo, madera para mejoramiento de fincas, leña para cocinar, plantas aromáticas, condimentarías y medicinales, fibras, recursos genéticos, etc.
- Servicios ecosistémicos culturales: beneficios no materiales que contribuyen al bienestar y valores sociales. Ejemplos: recreación, turismo de naturaleza, valores espirituales, identidad cultural, educación y ciencia, (UN, 2005).

Para tomar decisiones de ordenamiento territorial, también pueden clasificarse según su espacialidad, es decir, mediante la dinámica y la relación espacial entre las áreas donde se generan y las áreas donde se consumen:

- Servicios ecosistémicos locales: son aquellos que se generan en estructuras y procesos ecológicos de escala local y que deben existir dentro de las áreas y poblaciones beneficiadas. Ej.: los servicios prestados por el arbolado urbano o el arbolado rural, tales como estabilización del suelo, control de contaminantes, mitigación del ruido, sombra, etc. Estos servicios se prestan en los mismos espacios donde se consumen y no sirve que estén en otros.
- Servicios ecosistémicos frecuentados: son aquellos que para ser disfrutados requieren el desplazamiento de los usuarios a las áreas o ecosistemas que los suministran. Ej.: los parques urbanos, las áreas naturales protegidas abiertas al turismo, las playas públicas, los miradores, los sitios de pesca, caza o recolección, las rutas y lugares de peregrinación religiosa o pagamento, etc.
- Servicios ecosistémicos captados: son los que se aprovechan mediante su captación en un territorio y su transporte mediante redes de infraestructura y logística a los centros de consumo. Ej.: las cuencas abastecedoras de los distritos de riego o de los acueductos urbanos; las áreas productoras de alimentos que abastecen a otras regiones o ciudades.
- Servicios ecosistémicos afluentes: son los que se generan en un área y benefician a las poblaciones y actividades en otras, conducidos a través de estructuras hidráulicas naturales como las cuencas hidrográficas, las inundaciones de los ríos.
- Servicios ecosistémicos regionales: son los que se producen en determinadas áreas y ecosistemas y benefician una región amplia, con independencia de las estructuras hidráulicas naturales. Pueden estar asociados a corredores ecológicos, ecosistemas estratégicos o a procesos geológicos o atmosféricos. Ej.: la polinización, el control biológico de vectores, la conectividad biológica.
- Servicios ecosistémicos globales: son los que benefician a la totalidad del planeta sin que pueda diferenciarse en la suma global, el aporte de un área geográfica determinada. Ej.: el control de la contaminación marina, la captura de gases de efecto de invernadero.

Los servicios ecosistémicos identificados en el territorio se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4-7 Servicios ecosistémicos identificados

Matriz	Estructura ecológica-territorial que genera el servicio	Servicio ecosistémico identificado	Tipo de servicio	Espacialidad	Beneficio territorial
Matriz Natural	Bosque abierto alto de tierra firme y coberturas vegetales naturales con alta continuidad espacial	Regulación de escorrentía superficial	Regulación	Local	La cobertura vegetal favorece la interceptación, retención e infiltración del agua, disminuyendo la velocidad y concentración de la escorrentía superficial y reduciendo su potencial erosivo sobre el suelo.
	Bosque abierto alto de tierra firme, bosque de galería mixto y demás coberturas vegetales asociadas	Regulación hídrica y protección de cauces	Regulación	Local / Afluente	La vegetación contribuye a regular los flujos superficiales, favorecer la infiltración y proteger las áreas asociadas a los drenajes, reduciendo el aporte de sedimentos y favoreciendo la estabilidad de los cauces.
	Coberturas boscosas y vegetación natural con sistemas radiculares desarrollados	Protección del suelo y control de erosión	Regulación	Local	La cobertura vegetal protege la superficie del suelo frente a la acción del agua y el viento, favorece su estabilidad y disminuye la pérdida de partículas y la generación de procesos erosivos.
	Bosque abierto alto de tierra firme, bosque de galería mixto y coberturas vegetales continuas	Formación y conservación del suelo	Soporte / sostenimiento	Local	La presencia de vegetación contribuye al mantenimiento de la estructura del suelo, incorporación de materia orgánica y conservación de sus condiciones físicas, favoreciendo procesos de recuperación y regeneración natural.
	Continuidad espacial del bosque abierto alto de tierra firme y conexión con otras coberturas naturales	Conectividad ecológica y asociada al sistema hídrico	Soporte / regulación	Local / Afluente	La continuidad de las coberturas vegetales facilita el desplazamiento de especies y mantiene conexiones entre diferentes sectores naturales, contribuyendo a la funcionalidad ecológica y a la articulación de los sistemas de drenaje y vegetación.
	Bosque abierto alto de tierra firme, bosque de galería, arbustales y demás coberturas naturales	Hábitat para flora y fauna	Soporte	Local	Proporciona refugio, alimento y condiciones para la permanencia y desplazamiento de especies asociadas a las coberturas naturales, contribuyendo al mantenimiento de la biodiversidad.
	Extensas superficies de bosque abierto alto de tierra firme y demás coberturas vegetales	Regulación climática y captura de carbono	Regulación	Global	La vegetación contribuye a la captura y almacenamiento de carbono y a la regulación de condiciones microclimáticas, aportando a la mitigación de los efectos del cambio climático.
Matriz	Bosque abierto alto de	Regulación de	Regulación	Local	La cobertura vegetal

Matriz	Estructura ecológica-territorial que genera el servicio	Servicio ecosistémico identificado	Tipo de servicio	Espacialidad	Beneficio territorial
Natural intervenida	tierra firme intercalado con herbazales densos, arbustales y pastos arbolados	escorrentía superficial			remanente favorece la interceptación, retención e infiltración del agua, contribuyendo a disminuir la velocidad de la escorrentía y la generación de procesos erosivos en sectores intervenidos.
	Bosque, herbazales, arbustales y pastos con cobertura vegetal	Protección del suelo y control de erosión	Regulación	Local	La vegetación existente contribuye a proteger el suelo, disminuir el desprendimiento de partículas y favorecer su estabilización, especialmente en sectores donde se presentan condiciones de intervención o degradación.
	Bosque abierto alto, herbazales, arbustales y demás coberturas vegetales remanentes	Recuperación y conservación del suelo	Soporte / sostenimiento	Local	Las coberturas vegetales favorecen la conservación de la estructura del suelo, aportan materia orgánica y generan condiciones para la recuperación progresiva de áreas intervenidas.
	Mosaico de bosque, herbazales, arbustales, pastos y otras coberturas seminaturales	Hábitat para flora y fauna	Soporte	Local	La diversidad de coberturas proporciona diferentes condiciones de refugio, alimentación y desplazamiento para especies de flora y fauna, aunque con una funcionalidad condicionada por la intervención existente.
	Coberturas naturales remanentes y elementos vegetales distribuidos dentro de la matriz intervenida	Conectividad ecológica	Soporte / regulación	Local / Afluente	Las coberturas vegetales remanentes pueden mantener conexiones entre sectores naturales y contribuir a disminuir el aislamiento producido por las intervenciones antrópicas.
	Bosque abierto alto, bosque de galería, arbustales y herbazales	Regulación climática y captura de carbono	Regulación	Global	Las coberturas vegetales contribuyen a la captura y almacenamiento de carbono y a la regulación de las condiciones microclimáticas, manteniendo parte de la función de regulación climática del territorio.
	Coberturas naturales y seminaturales con posibilidad de recuperación	Recuperación ecológica y mantenimiento de la biodiversidad	Soporte	Regional	La conservación y recuperación de las coberturas existentes permite mantener procesos ecológicos y favorecer la conexión entre áreas naturales, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad a una escala más amplia.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la evaluación realizada, la mayor oferta ecosistémica del Polígono 3 se

concentra en la matriz natural, debido al predominio y continuidad de coberturas como el bosque abierto alto de tierra firme, el bosque de galería mixto y otras coberturas vegetales naturales, que contribuyen a la regulación hídrica, protección y conservación del suelo, captura de carbono, conectividad ecológica y provisión de hábitat para la biodiversidad. Por su parte, la matriz natural intervenida mantiene una oferta ecosistémica relevante asociada a las coberturas naturales remanentes, herbazales, arbustales y pastos arbolados, que contribuyen a la regulación de la escorrentía, protección del suelo, conservación de hábitats y conectividad ecológica. No obstante, el mayor grado de intervención y la presencia de tejidos urbanos discontinuos y vías generan una mayor fragmentación.

4.3.2 OPORTUNIDADES

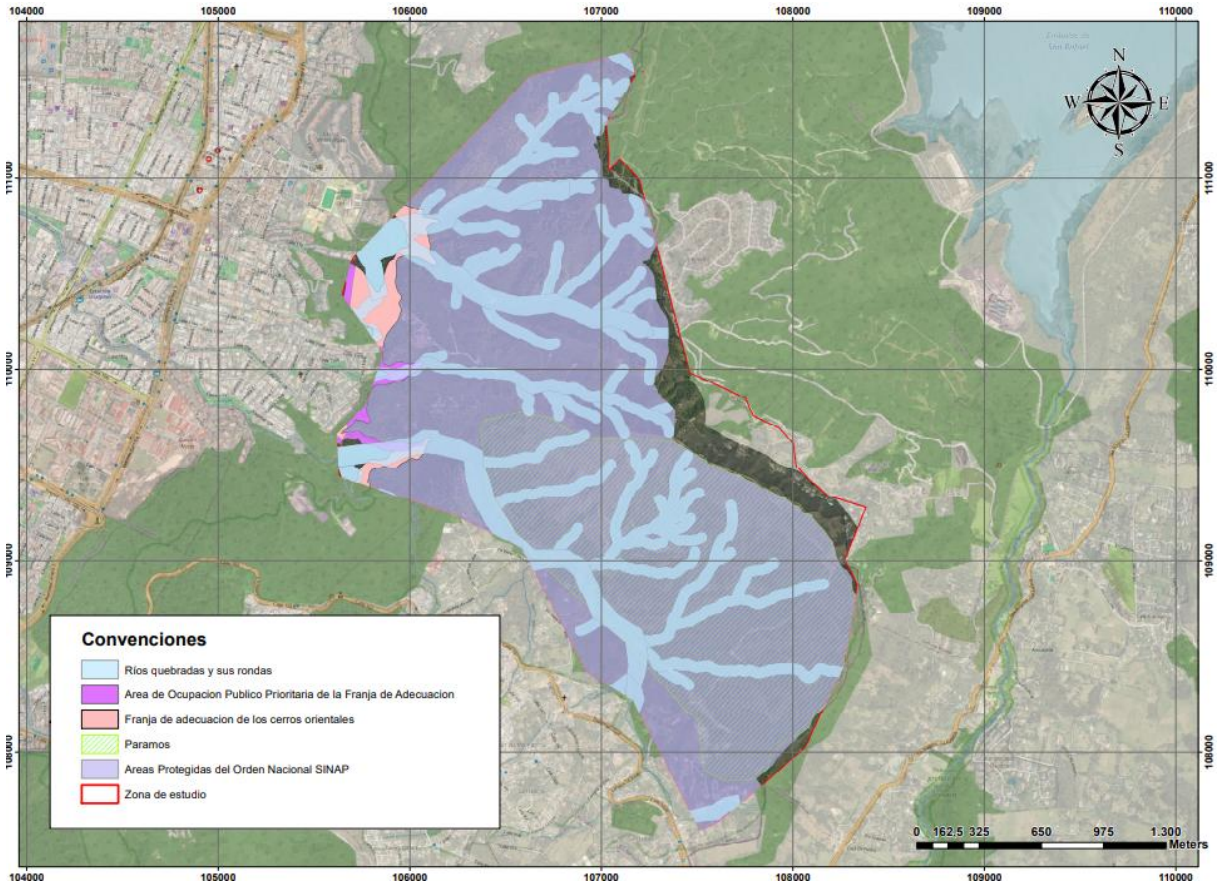
El Polígono 3 presenta condiciones favorables para la implementación de Soluciones Basadas en la Naturalez, principalmente por el predominio de coberturas naturales, la baja fragmentación del paisaje y la presencia de elementos ambientales que mantienen funciones ecológicas, hidrológicas y de protección del suelo. El bosque abierto alto de tierra firme constituye la cobertura dominante, acompañado por herbazales densos, bosque de galería mixto, arbustales y otras coberturas vegetales. Esta configuración representa una oportunidad para priorizar acciones de conservación, protección y mantenimiento de las coberturas existentes, evitando que las intervenciones futuras generen una mayor transformación o fragmentación del territorio. El diagnóstico identifica precisamente un paisaje con muy baja fragmentación y con predominio de la vegetación natural frente al desarrollo humano.

La protección y recuperación del suelo constituye igualmente una oportunidad relevante. Dentro del polígono existen coberturas vegetales que cumplen funciones de protección y conservación del suelo, mientras que algunos sectores presentan procesos de transformación y condiciones asociadas a erosión y remoción en masa. Las coberturas vegetales contribuyen a sujetar los agregados del suelo y disminuir y controlar los procesos erosivos. En este sentido, las SbN pueden orientarse a la revegetalización, estabilización natural de superficies, recuperación de cobertura vegetal y manejo de escorrentía para reducir la pérdida de suelo.

Finalmente, la relación espacial del polígono con la Reserva Forestal Protectora Bosque

Oriental de Bogotá, la Franja de Adecuación de los Cerros Orientales y el Área de Ocupación Público Prioritaria representa una oportunidad para que las intervenciones no se desarrollen de manera aislada, sino que contribuyan a mantener la continuidad ambiental del territorio. En este contexto, las SbN pueden enfocarse en conservar las coberturas naturales existentes, restaurar sectores intervenidos y fortalecer las conexiones entre áreas naturales, aprovechando la estructura ambiental que ya presenta el polígono. La figura de referencia identifica estos elementos junto con los ríos, quebradas y rondas, así como las áreas protegidas del SINAP.

Figura 4-6 Oportunidades identificadas en el polígono de estudio



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 ANEXOS

Figura de Oportunidades.

4.4 IDENTIFICACIÓN DE TENSORES Y NECESIDADES (PROBLEMAS Y NECESIDADES SOCIO ECOLÓGICAS)

La identificación de tensores y necesidades socioecológicas permite reconocer los factores de presión que inciden sobre la funcionalidad ambiental, la estabilidad física y la capacidad de adaptación del territorio. Estos tensores corresponden a condiciones, procesos o dinámicas que generan degradación, transformación o conflicto entre el uso actual del suelo, las determinantes ambientales, las condiciones de amenaza y las necesidades sociales presentes en el área de estudio.

Para el presente análisis, los tensores se agrupan en cuatro categorías principales: uso, ocupación, contaminación y especies invasoras / pérdida de conectividad. Esta clasificación permite ordenar la lectura territorial y diferenciar los factores asociados a la presión urbana, la transformación física del terreno, la alteración del sistema hídrico, la presencia de amenazas socionaturales y la degradación ambiental.

En la siguiente tabla se presentan los tensores identificados en el área de estudio, los cuales constituyen la base para definir las necesidades socioecológicas del polígono y orientar la posterior formulación de Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Tabla 4-8 Tensores identificados en el área de estudio

Uso	Avance de la frontera urbana de Bogotá
	Ocupación incompatible
Ocupación	Amenazas socionaturales (Movimientos en Masa, Avenidas Torrenciales, Inundaciones e Incendios Forestales).
Especies invasoras	Retamo Espinoso

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 USO DEL SUELO

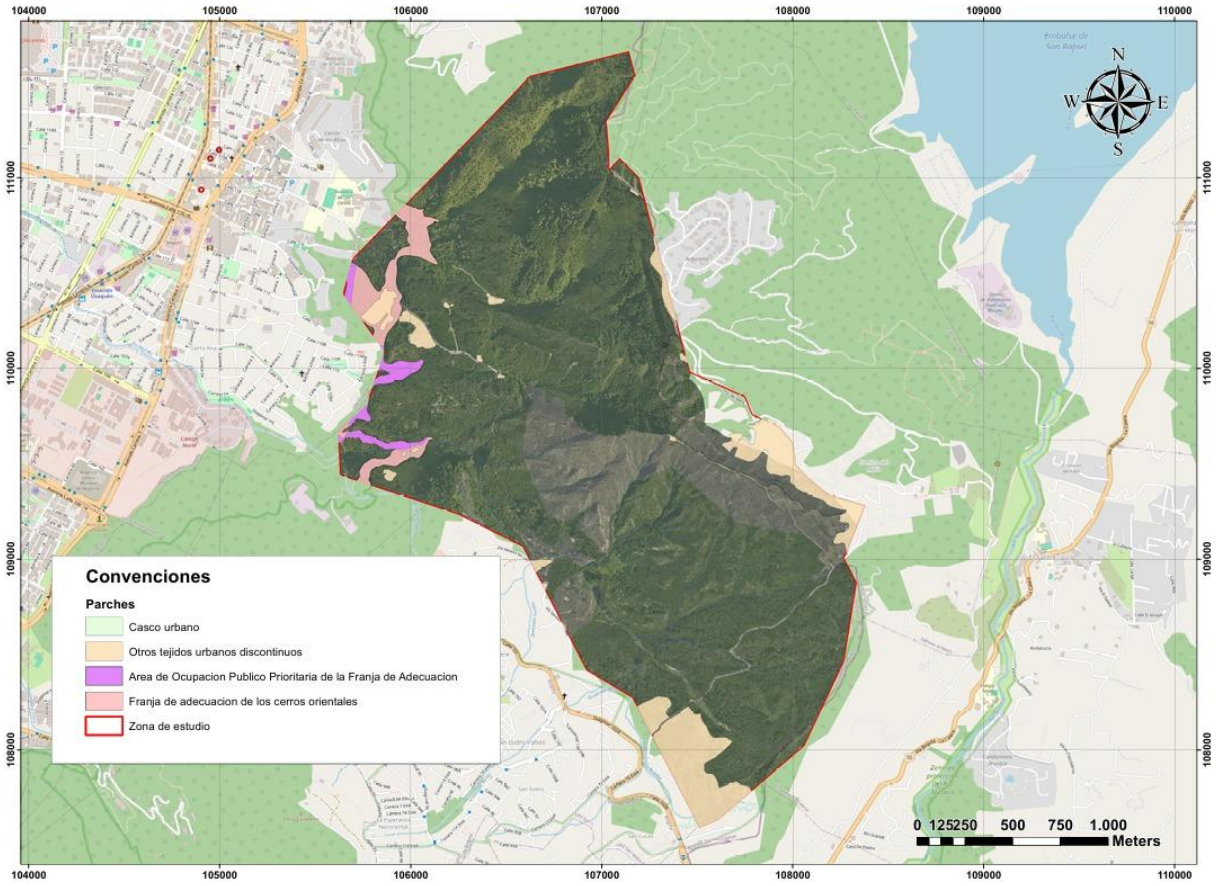
El uso del suelo se analiza como un tensor en la medida en que permite identificar las presiones derivadas de las dinámicas de ocupación y transformación del territorio frente a las condiciones naturales y las determinantes de ordenamiento existentes. En el Polígono 3, esta condición se relaciona principalmente con el avance de la frontera urbana de Bogotá y la ocupación incompatible, procesos que adquieren relevancia debido al predominio de coberturas naturales y a la presencia de áreas sujetas a diferentes niveles de protección y conservación.

A partir de los análisis efectuados, se observa que el Polígono 3 mantiene una condición predominantemente natural, con una importante presencia de bosque abierto alto de tierra firme, herbazales, bosque de galería mixto y otras coberturas vegetales. Sin embargo, la presencia de tejidos urbanos discontinuos y de infraestructura vial evidencia una presión antrópica localizada sobre estas condiciones naturales. En este contexto, los tensores asociados al uso del suelo no corresponden a una urbanización generalizada del polígono, sino a la presión de expansión urbana y a la presencia de ocupaciones que pueden entrar en conflicto con las funciones de conservación, protección y conectividad ecológica.

Para el Polígono 3, el avance de la frontera urbana representa una presión potencial sobre las áreas naturales y sobre los elementos de la Estructura Ecológica Principal relacionados con los Cerros Orientales. Esta dinámica adquiere especial importancia frente a la presencia de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, la Franja de Adecuación y el Área de Ocupación Pública Prioritaria, cuya función incluye contener la expansión urbana y mantener las condiciones ambientales del borde oriental.

Por su parte, la ocupación incompatible se relaciona con la presencia de usos o intervenciones antrópicas en sectores donde existen restricciones ambientales o funciones de protección. En el polígono, esta condición se evidencia principalmente mediante otros tejidos urbanos discontinuos y vías pavimentadas y sin pavimentar presentes dentro de las matrices naturales, generando interrupciones localizadas, bordes antrópicos y posibles afectaciones sobre la conectividad y funcionalidad de las coberturas naturales.

4.4.1.1 Avance de la frontera urbana de Bogotá



4.4.1.2 Ocupación incompatible

La ocupación incompatible constituye un tensor relevante para el Polígono 3, debido a la presencia de elementos de intervención antrópica dentro de un territorio predominantemente natural y relacionado con determinantes ambientales y figuras de protección. Esta condición refleja la diferencia entre algunos usos y ocupaciones actuales y las funciones de conservación, protección, conectividad y regulación que deben mantenerse en determinados sectores del territorio.

En el área de estudio, este tensor se relaciona principalmente con la Estructura Ecológica Principal (EEP), las Áreas Protegidas del SINAP, el Páramo, el Área de Ocupación Pública Prioritaria y el límite de la Franja de Adecuación. Estas determinantes establecen

restricciones frente a la urbanización, densificación y transformación del suelo, priorizando la conservación y restauración ecológica.

En este contexto, la presencia de tejidos urbanos discontinuos y vías pavimentadas y sin pavimentar dentro de las matrices naturales representa una presión localizada, al generar interrupciones sobre las coberturas vegetales y aumentar el contacto entre las áreas naturales y los elementos antrópicos. Esta condición permite identificar oportunidades para el control de nuevas ocupaciones, recuperación de cobertura vegetal, manejo de bordes y fortalecimiento de la conectividad mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Estructura Ecológica Principal (EEP):

Constituyen al suelo de protección, buscando recuperar o mantener los atributos de la biodiversidad y los recursos naturales. Se prohíben las actividades agrícolas, pecuarias y urbanas. La inmersión antrópica es mínima, solo es permitido la creación de infraestructuras para investigación, monitoreo y actividades de contemplación como senderos, miradores y observatorios. Estos últimos elementos deben de carecer de procesos que conlleven al endurecimiento del suelo, según el Plan de Ordenamiento Territorial.

Áreas Protegidas SINAP:

Son áreas catalogadas como suelos de protección que incluyen áreas de jerarquía nacional como el Parque Nacional Natural de Sumapaz y la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. Estas áreas buscan hacer únicamente trabajos de conservación, no se permite el desarrollo de edificaciones urbanas o suburbanas de densificación, está prohibido el uso residencial nuevo o adicional al preexistente al 2022. Se espera mantener una condición de alta naturalidad a largo plazo. Su uso esperado es asociado al uso principal de la conservación in situ, la restauración ecológica y el conocimiento. La inmersión antrópica debe de carecer por completo del endurecimiento del suelo, debe integrarse paisajísticamente al entorno natural.

Páramo:

El complejo de páramos Cruz Verde – Sumapaz hace parte del suelo de protección, sin embargo, estas zonas geográficas son las más estrictas de la reglamentación del POT. No se acepta la construcción de elementos urbanos o suburbanos, como la parcelación, que

alteren el uso actual, solo actualizaciones mínimas necesarias para la conservación, restauración e investigación, de medida temporal en lo posible. El uso residencial está completamente prohibido en su implementación, solo se contempla la vivienda rural ya existente, dispersa sin contaminar las fuentes hídricas ni lo suelos. Estos espacios geográficos contienen una naturalidad del 100%, con la intensión de preservarlo, recuperarlo y controlar los procesos erosivos. Las actividades antrópicas de la zona no pueden generar algún endurecimiento sobre el suelo, deben de ser implementadas bajo los supuestos de los SbN y las actividades agrícolas preexistentes deben de migrar hacia modelos compatibles por medio de una reconversión sostenible. Finalmente se prohíbe taxativamente actividades agrícolas y pecuarias extensivas, la minería e hidrocarburos, tala de vegetación nativas y quema, obras hidráulicas para desecación y cualquier actividad no permitida en el Plan de Manejo Ambiental.

PMA Área de Ocupación Pública Prioritaria:

Este elemento del ordenamiento ejerce la función crítica de contención periférica, estructurando franjas forestales y espacios públicos como límites estrictos ante la presión urbana sobre el borde no construido. Su régimen interno segmenta el suelo con altos niveles de restricción, condicionando las actividades a la conservación de la biodiversidad (37%), el manejo paisajístico (11%), el manejo silvicultural (10%) y prácticas agroecológicas controladas (42%). Se impide radicalmente cualquier tipo de parcelación, urbanización o construcción habitacional masiva. Las intervenciones de infraestructura permitidas son de carácter público, prioritario y de bajo impacto, debiendo formularse obligatoriamente bajo planes de mitigación avalados por el IDIGER y la autoridad ambiental. Se prohíbe taxativamente el desarrollo de actividades industriales, pecuarias extensivas, comerciales de alto impacto y cualquier uso antrópico que rompa la armonización con el paisaje sostenible.

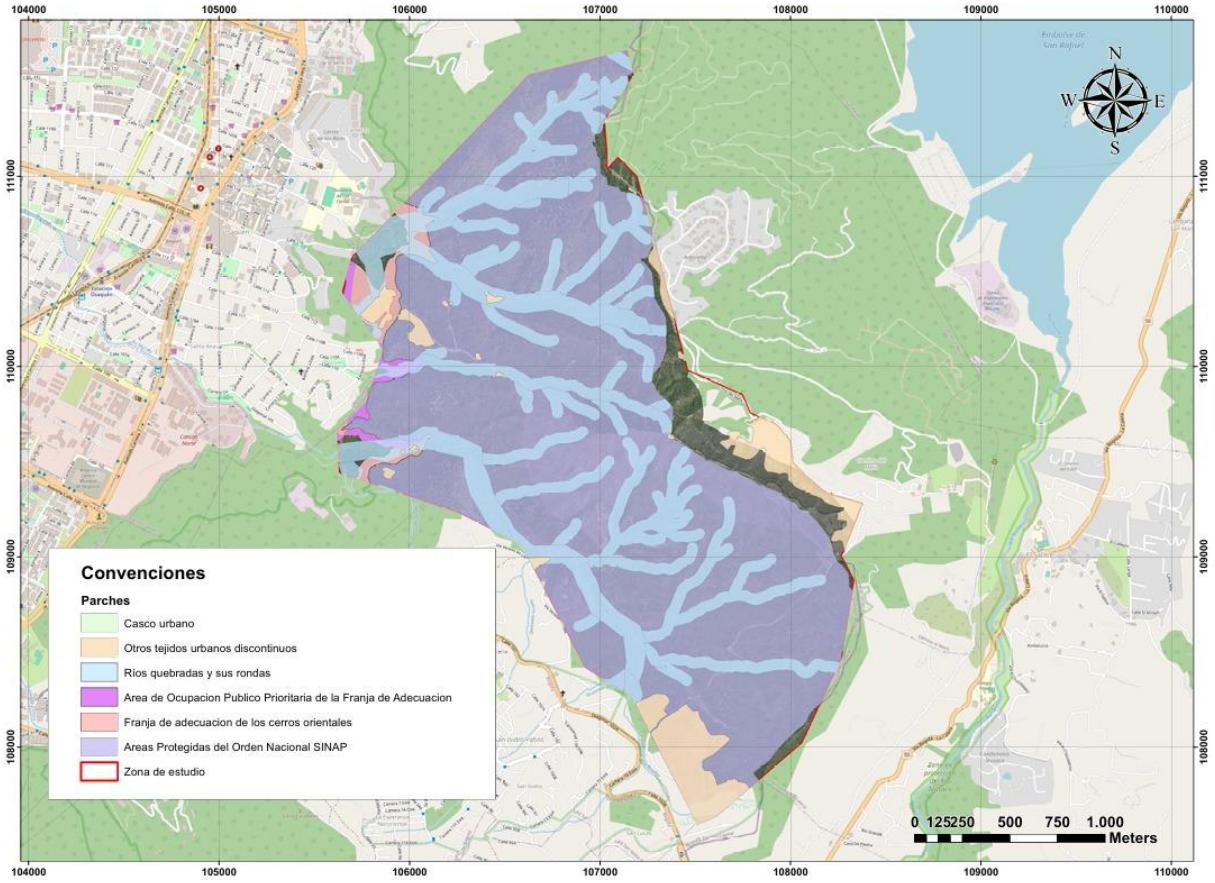
Límite de la franja de adecuación

Esta demarcación territorial opera como una frontera normativa e inalterable que restringe de manera absoluta la expansión de los procesos de urbanización, condicionando los usos del suelo según su capacidad técnica e importancia ecosistémica. Bajo esta limitación, el Suelo Urbano queda rigurosamente confinado a las áreas con infraestructura consolidada

de malla vial y redes técnicas de servicios públicos, impidiendo que la edificación desborde este perímetro, al tiempo que se prohíbe de forma tajante la existencia de suelos suburbanos dentro del Suelo Rural para blindar la vida campesina y proteger los servicios ambientales de la presión inmobiliaria. En cuanto al Suelo de Expansión Urbana, se impide cualquier proceso constructivo anticipado, supeditando su habilitación a la vigencia temporal del POT (2022-2035) y a la adopción obligatoria de un Plan Parcial que garantice la dotación pública prioritaria de servicios y equipamientos. Asimismo, esta franja dictamina que el Suelo de Protección transversal —aplicado a reservas forestales, páramos o zonas de alto riesgo— anula de manera definitiva toda posibilidad de urbanización, prevaleciendo el principio de conservación y resiliencia climática sobre cualquier clasificación del territorio. Para operativizar esta transición entre la ciudad y la Reserva Forestal, y en estricto cumplimiento del fallo del Consejo de Estado orientado a proteger dicha reserva, promover el aprovechamiento ecológico y fortalecer la Estructura Ecológica Principal (EEP) en el borde oriental, la Franja de Adecuación cuenta con subdivisiones técnicas y normativas divididas principalmente en dos áreas generales. Primero, el Área de Consolidación del Borde Urbano, que corresponde a las zonas destinadas a estabilizar y contener definitivamente el crecimiento de la ciudad hacia los cerros, incluyendo aquellos barrios de origen informal que surtan procesos de legalización urbanística para incorporarse formalmente al perímetro urbano bajo tratamientos de mejoramiento integral. Segundo, el Área de Ocupación Pública Prioritaria, zona destinada fundamentalmente a la conservación, el uso público y actividades recreativas de contemplación, funcionando como una barrera ambiental definitiva para evitar la expansión urbana sobre áreas no construidas. A su vez, esta última área de ocupación prioritariamente pública posee una zonificación interna detallada, definida por instrumentos específicos como el Decreto 485 de 2015, la cual segmenta el suelo de manera estricta bajo las siguientes categorías institucionales: la Zona Agroecológica, destinada exclusivamente a prácticas agrícolas sostenibles que armonicen rigurosamente con el entorno; la Zona de Conservación de la Biodiversidad, con espacios dedicados de forma absoluta a la protección de especies y la restauración de ecosistemas; la Zona de Manejo Paisajístico, enfocada firmemente en mantener y recuperar los valores estéticos y visuales del borde oriental; y la Zona de Manejo Silvicultural, sectorizada de forma restrictiva para el mantenimiento y la gestión técnica de la cobertura vegetal y forestal, impidiendo cualquier actividad antrópica o endurecimiento que vulnere

estas determinantes del ordenamiento territorial.

Figura 4-7 Ocupación incompatible



Fuente: Elaboración propia a partir de POT e IDIGER

4.4.2 OCUPACIÓN

El grupo de tensores asociados a la ocupación permite identificar las transformaciones físicas del territorio generadas por la intervención antrópica, especialmente aquellas relacionadas con la modificación del drenaje natural, la conformación de llenos y cortes, y la presencia de amenazas socionaturales.

A diferencia de los tensores asociados exclusivamente al uso del suelo, los tensores de ocupación permiten entender cómo la forma en que se ha ocupado y transformado el terreno puede modificar su comportamiento físico e hidrológico. En este sentido, la urbanización sobre áreas de ladera, la alteración de cauces o líneas de escorrentía, la

disposición de llenos no conformados técnicamente y los cortes realizados sin criterios geotécnicos pueden generar condiciones favorables para la concentración de aguas, la erosión superficial, la pérdida de soporte lateral y la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

Para el presente polígono, el análisis de ocupación se desarrolla a partir de la revisión del patrón de drenaje, la identificación de llenos y cortes antrópicos, la cartografía de amenazas suministrada por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) y los procesos reportados en el Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático (SIRE), complementados con la interpretación de campo realizada por los componentes de geología y geotecnia.

4.4.2.1 Amenazas socionaturales

Las amenazas socionaturales corresponden a procesos físicos cuya ocurrencia o intensidad puede estar condicionada por la interacción entre factores naturales y actividades humanas. En el Polígono 3, estas amenazas se relacionan principalmente con movimientos en masa, avenidas torrenciales, inundación e incendios forestales, las cuales fueron analizadas a partir de la información cartográfica disponible del IDIGER y de los eventos reportados en el SIRE.

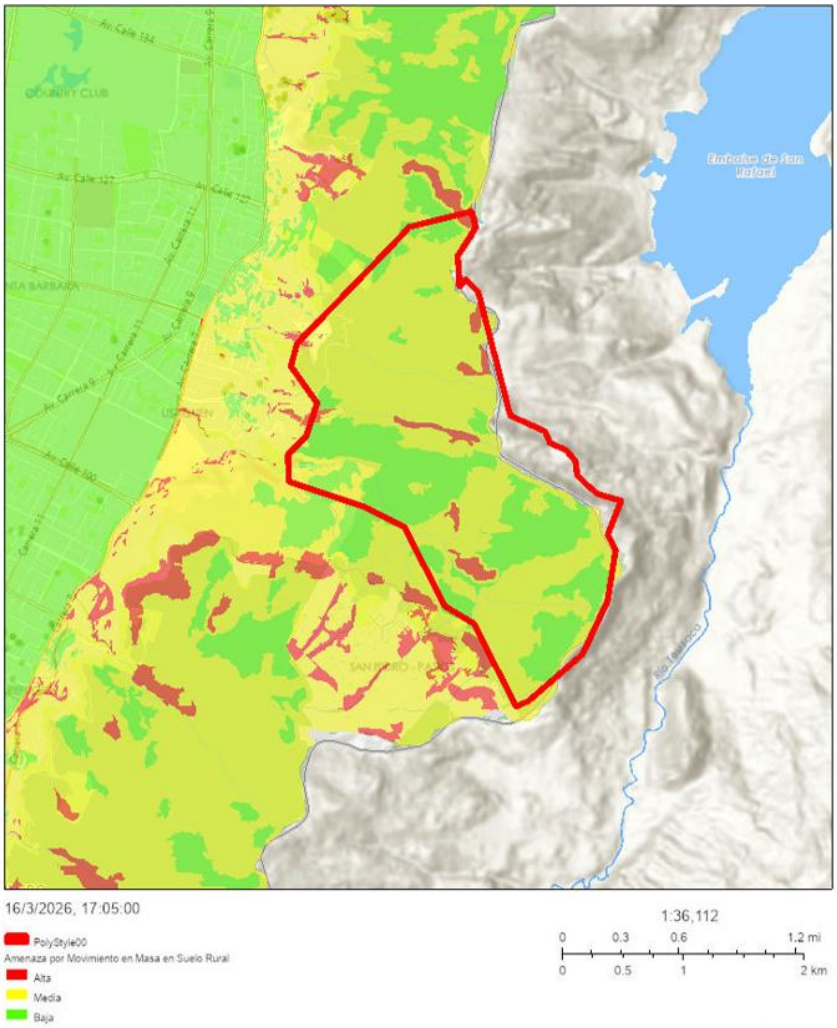
El análisis de estas amenazas permite identificar sectores donde la ocupación actual, la transformación del terreno, la modificación del drenaje y la presencia de coberturas vegetales pueden generar condiciones de exposición o vulnerabilidad. Por tanto, su revisión no solo tiene un propósito diagnóstico, sino que también orienta la definición de necesidades de manejo territorial, reducción del riesgo y formulación de Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Amenaza por movimientos en masa:

La figura presenta la distribución de la amenaza por movimientos en masa en suelo rural dentro del polígono de estudio. En términos generales, predomina la categoría de amenaza media, representada en color amarillo, mientras que las zonas de amenaza baja aparecen como parches discontinuos distribuidos principalmente en los sectores central, suroriental y noroccidental.

Las áreas de amenaza alta tienen una menor extensión y se concentran en franjas puntuales, algunas de ellas asociadas con cambios en el relieve y posibles corredores de drenaje. Aunque su participación dentro del polígono es reducida, estas zonas deben considerarse en la identificación de sectores críticos y en la definición de medidas de manejo, especialmente donde coincidan con asentamientos, infraestructura o intervenciones proyectadas.

Figura 4-8, Amenaza por movimientos en masa, Polígono 3



Fuente: SIRE

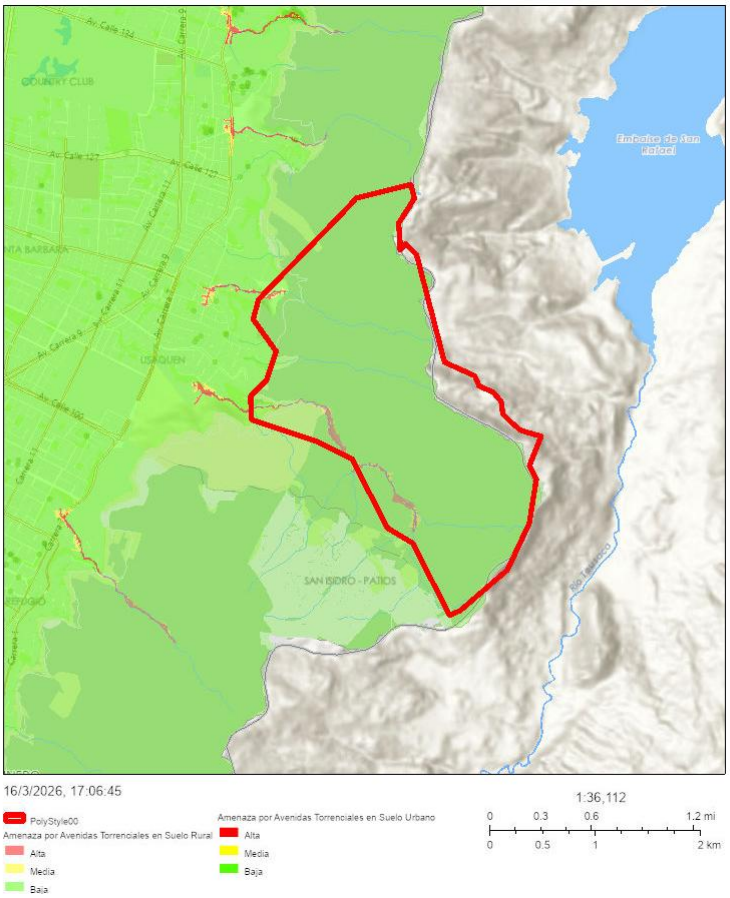
Amenaza por avenidas torrenciales

La figura presenta la amenaza por avenidas torrenciales en suelo urbano y rural dentro del

polígono de estudio. La mayor parte del área se encuentra clasificada en amenaza baja, representada en color verde, lo que indica que este tipo de fenómeno no constituye una condición generalizada en el polígono.

Las categorías de amenaza media y alta se concentran en franjas estrechas asociadas con cauces y corredores de drenaje, principalmente en los sectores central y sur del polígono. Aunque estas áreas ocupan una proporción reducida, deben considerarse en el análisis territorial, pues corresponden a zonas donde podrían presentarse crecientes rápidas, transporte de sedimentos o flujos torrenciales durante eventos de precipitación intensa.

Figura 4-9, Amenaza por Avenidas torrenciales, Polígono 3



Fuente: SIRE

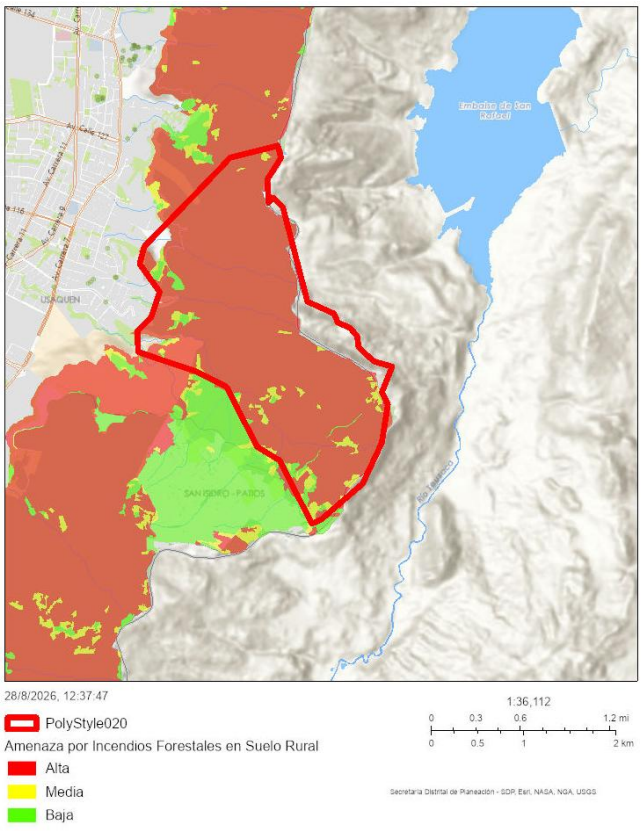
Amenaza por incendios forestales

La figura muestra la amenaza por incendios forestales en suelo rural dentro del polígono de

estudio. La categoría alta, representada en color rojo, predomina en los sectores norte, central y oriental, y ocupa una parte considerable del área delimitada. La amenaza baja se concentra principalmente en el sector suroccidental, mientras que la categoría media aparece en pequeños parches dispersos.

Esta distribución indica que buena parte del polígono presenta condiciones favorables para la ocurrencia y propagación de incendios forestales. Por lo tanto, estas zonas requieren medidas de prevención, vigilancia y manejo de la cobertura vegetal, especialmente durante temporadas secas y en sectores cercanos a viviendas, vías, senderos u otras actividades humanas que puedan actuar como fuentes de ignición.

Figura 4-10 Amenaza por incendios forestales



Fuente: SIRE

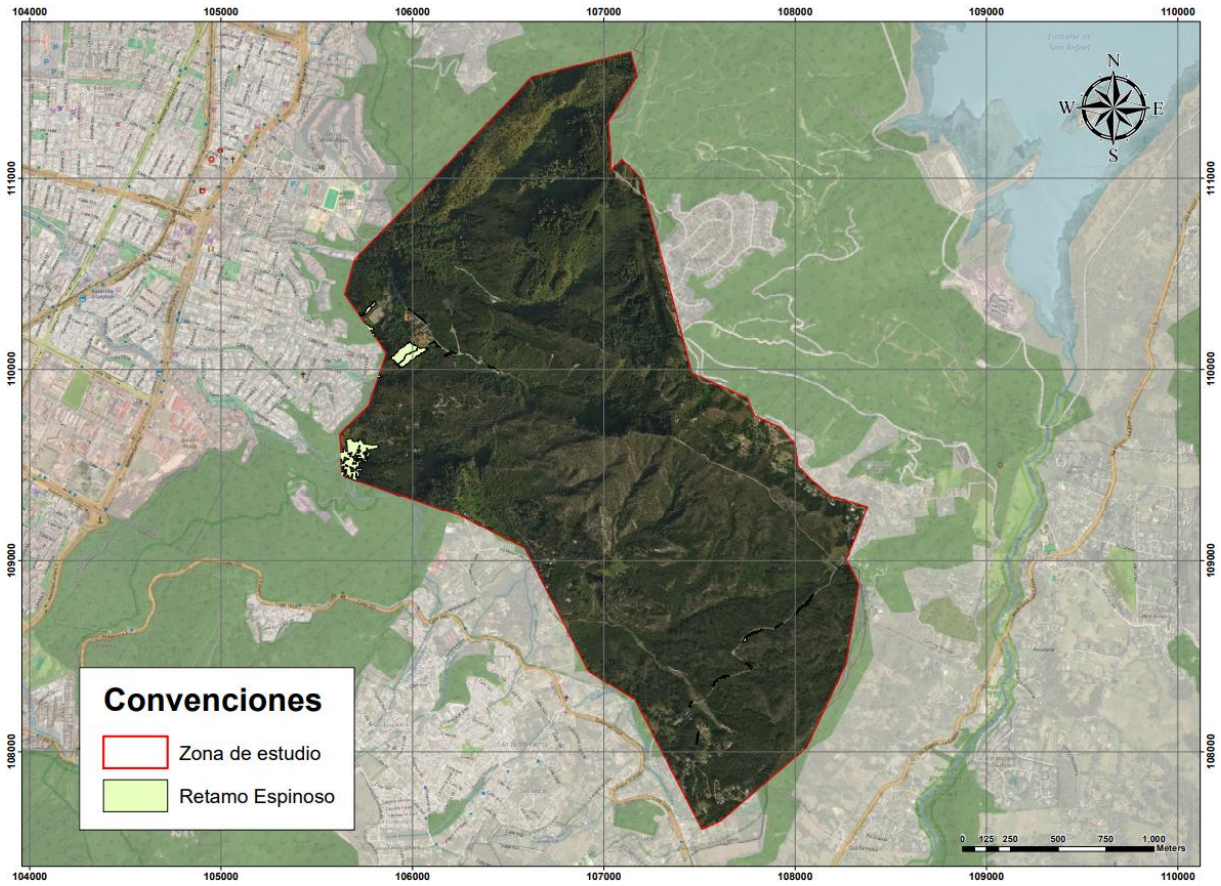
4.4.3 ESPECIES INVASORAS

4.4.3.1 Retamo espinoso

El retamo espinoso constituye un tensor ambiental debido a su capacidad para colonizar áreas abiertas, zonas degradadas y bordes de caminos. En el Polígono 3, la cartografía registra dos núcleos localizados sobre el borde occidental: uno en el sector centro-occidental y otro hacia el suroccidente, ambos próximos a la interfaz entre la cobertura vegetal y las áreas urbanizadas. Aunque su extensión es reducida frente al área total del polígono, su ubicación en sectores de borde puede favorecer la dispersión hacia coberturas cercanas.

Por esta razón, el manejo del retamo espinoso debe incorporarse en las estrategias de restauración ecológica y en las Soluciones Basadas en la Naturaleza propuestas para el polígono. Las acciones deben concentrarse inicialmente en los dos núcleos identificados e incluir el retiro progresivo de los individuos, el control de rebrotes y del banco de semillas, y la sustitución con especies nativas. El seguimiento posterior es necesario para evitar su recolonización y reducir su posible incidencia sobre la regeneración natural y la propagación de incendios durante los periodos secos.

Figura 4-11 Retamo espinoso



Fuente: Elaboración propia

4.4.4 GESTIÓN SOCIAL

4.4.4.1 Objetivo General

Consolidar, sistematizar, documentar para la presentación de resultados de la gestión social, los espacios de información, participación y articulación comunitaria, así como de la cartografía social desarrollada en el Polígono 3, en el marco del contrato No. IDIGER-294-2025, evidenciando el cumplimiento de los lineamientos establecidos en el Programa de Gestión Social y la apropiación comunitaria frente a las medidas propuestas, como insumo técnico y social para la implementación y posterior ejecución de las obras de bioingeniería.

4.4.4.2 Objetivos Específicos

- Sistematizar y analizar los resultados de la caracterización e identificación de los actores sociales e institucionales, así como de los espacios de relacionamiento, información y participación desarrollados con los actores clave del Polígono 3, incluyendo las socializaciones iniciales, talleres de cartografía social y entrevistas semiestructuradas, evidenciando sus dinámicas, intereses, necesidades, expectativas y aportes frente al proyecto.
- Documentar y analizar los resultados de la cartografía social y del diálogo comunitario, identificando y georreferenciando dinámicas territoriales, necesidades, potencialidades, conflictos socioambientales y particularidades del saber local relacionadas con las condiciones de riesgo por remoción en masa y con las medidas propuestas para el territorio.
- Analizar la viabilidad sociocultural y socio ecológica de las medidas propuestas, identificando las barreras, habilitadores, condiciones territoriales y factores comunitarios que inciden en la implementación de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).
- Documentar y evidenciar los mecanismos de atención y relacionamiento con la comunidad, incluyendo los canales de atención de PQRS implementados durante la etapa de estudios y diseños, así como las acciones de información, participación y articulación desarrolladas con los actores sociales e institucionales del Polígono 3.
- Establecer los lineamientos y la estructura programática del Plan de Gestión Social para la etapa de obra, incorporando estrategias orientadas a la apropiación comunitaria, la gobernanza y el co-mantenimiento de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), a partir de los resultados y aprendizajes obtenidos durante la etapa de estudios y diseños.

4.4.4.3 Programa de planeación y definición de actores convocados

El desarrollo de las actividades de gestión social partió de una revisión de la ubicación de los polígonos mediante el análisis de información secundaria, lo que permitió estructurar un perfil de caracterización previo para cada área de intervención. Esta información resultó clave para orientar el desarrollo de las jornadas participativas en cada sector, garantizando

que el abordaje comunitario se realizara de manera concertada y adaptada a las dinámicas sociales, realidades de seguridad y facilidades logísticas de cada comunidad.

El Polígono 3 se encuentra localizado en zona rural, dentro de su área de influencia se identifica la presencia del Club La Aguadora y su colindancia con la vereda Camino al Meta, jurisdicción de la Alcaldía Municipal de La Calera.

Teniendo en cuenta estas condiciones, la convocatoria para las jornadas estuvo dirigida al Club La Aguadora y a la Junta de Acción Comunal de la vereda Camino al Meta, en calidad de actores territoriales con incidencia directa en el sector. Al respecto, es importante precisar que esta zona se localiza en el límite entre la localidad de Usaquén y la jurisdicción del municipio de La Calera, razón por la cual la comunidad está integrada en una sola junta comunal. Internamente, la comunidad se encuentra estructurada por sectores, existiendo áreas que pertenecen formalmente a la localidad de Usaquén (Bogotá D.C.) y otras al municipio de La Calera. Asimismo, se dejó constancia de que no se registran otras propiedades o asentamientos habitacionales dentro del área de estudio inmediata.

Anexo 1. Listado de Actores - Polígono 3

4.4.4.4 Programa de información y divulgación

Este programa comprende la planificación y desarrollo de las actividades de socialización y talleres que se implementaron, contemplando una fase inicial, un taller participativo y una fase final.

4.4.4.4.1 Socialización inicial

La socialización inicial tuvo como objetivo relacionarle a la comunidad los alcances generales del proyecto, exponer las actividades a desarrollar y resolver inquietudes preliminares, generando un espacio de diálogo que permitió recoger percepciones, aportes y observaciones por parte de los actores frente a la información presentada.

Para la convocatoria de la socialización inicial del Polígono 3, se identificó que el área de estudio se localiza en la zona de límite entre Bogotá D.C. (localidad de Usaquén) y el municipio de La Calera. Durante el diagnóstico territorial previo, se evidenció una sólida

organización comunitaria que, independientemente de la división político-administrativa entre ambas jurisdicciones, conformó una sola estructura comunal para todo el sector. En razón a ello, se convocó activamente a la Junta de Acción Comunal de la vereda Camino al Meta (registrada ante el municipio de La Calera).

En el marco de la convocatoria para el Polígono 3, se identificó al Club La Aguadora (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB) como un actor institucional por estar localizado dentro del perímetro del estudio. Se adelantaron las siguientes gestiones formales de vinculación:

1. **Radicación de Oficio Formal:** Envío de carta de invitación y presentación del proyecto detallando los objetivos técnicos y la logística de las jornadas de participación.
2. **Seguimiento Telefónico:** Reiteración de la invitación a través de llamadas institucionales las cuales fueron atendidas indicando que se debía enviar la información al correo electrónico.

A pesar de haber agotado las vías de notificación y contacto formal, no se obtuvo respuesta ni asistencia por parte de la administración del Club. No obstante, las evidencias de las comunicaciones enviadas se incorporan en el **Anexo 5. Contacto Club La Aguadora y La Serrana.**

Figura 4-12 Pieza Grafica Invitación Reunión de Inicio Polígono 3



Fuente: Elaboración Propia

La difusión del evento se realizó a través de una pieza gráfica informativa compartida en el grupo de WhatsApp de la Junta de Acción Comunal, espacio en el que se mantuvo un seguimiento constante, telefónico y digital, con la presidenta. Asimismo, en lo correspondiente al Club La Aguadora, se formalizó la citación mediante un oficio de invitación formal en el cual se detallaron el objeto, los alcances técnicos del proyecto y la logística del encuentro.

Figura 4-13 Evidencia Convocatoria vía WhatsApp Reunión de inicio Polígono 3



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

La socialización inicial se realizó el día sábado 23 de mayo de 2026 a las 9:00 a.m. en el Salón Comunal de la Junta de Acción Comunal de la Vereda Camino al Meta. Durante la jornada de socialización en el Polígono 3, la comunidad y la presidenta de la Junta de Acción Comunal (JAC) manifestaron especial interés en el alcance institucional y las competencias territoriales del proyecto. La presidenta de la JAC, evidenció la necesidad de avanzar en intervenciones ambientales en la zona, señalando como antecedente que una gestión comunitaria para la siembra de árboles con la Alcaldía Local de Usaquén fue suspendida previamente a la espera de contar con estudios técnicos formalizados.

Asimismo, los asistentes expresaron inquietud respecto al abordaje del predio denominado "La Serrana", identificado por los vecinos como el sector con mayor nivel de afectación; al respecto, el equipo consultor expuso las gestiones de notificación previa realizadas (vía

oficio, telefónica y digital) y solicitó la articulación social para vincular a dichos propietarios. Adicionalmente, se reafirmó que el ámbito del estudio se circunscribe estrictamente al polígono delimitado por el IDIGER en la jurisdicción de Bogotá D.C.

Por otra parte, frente a las observaciones sobre la baja asistencia presencial y la importancia de divulgar masivamente la información (especialmente por la alta afluencia de personas en las rutas ecológicas del sector), la consultoría asumió el compromiso de compartir la presentación en formato digital.

Figura 4-14 Reunión de inicio Polígono 3



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Todas las evidencias de la reunión de inicio se encuentran en el **Anexo 2. Reunión de inicio.**

4.4.4.4.2 Taller territorial participativo

El desarrollo del taller territorial participativo tuvo como objetivo generar espacios de diálogo e intercambio con las comunidades locales, orientados a complementar la información técnica con los saberes y experiencias del territorio. A través de esta jornada se buscó identificar la memoria territorial, las prácticas de cuidado y las formas de gobernanza socio ecológica presentes en la zona de estudio, además de preguntar acerca de las soluciones basadas en la naturaleza, reconocer de que se tratan y como se pueden implementar en espacios con una importancia ambiental, como son las áreas aledañas a los polígonos.

La concertación para el Taller Territorial Participativo del Polígono 3 se abordó de manera preliminar durante la jornada de socialización inicial. En dicho espacio, la comunidad solicitó evaluar la factibilidad de desarrollar la actividad bajo la modalidad virtual, argumentando

que este formato superaría las barreras de desplazamiento en la zona rural y permitiría un mayor nivel de participación e integración de los pobladores. Atendiendo a este requerimiento, la consultoría acogió el esquema virtual y acordó definir la fecha definitiva una vez estructurada la metodología interactiva y seleccionada la plataforma tecnológica correspondiente.

Una vez consolidado el diseño metodológico para el taller virtual, se entabló comunicación con la presidenta de la Junta de Acción Comunal para coordinar la agenda comunitaria. A partir de las fechas propuestas por la JAC, se estableció formalmente la realización del evento para el jueves 25 de junio de 2026 a las 7:00 p.m.

Figura 4-15 Pieza Grafica Invitación Taller Participativo Polígono 3

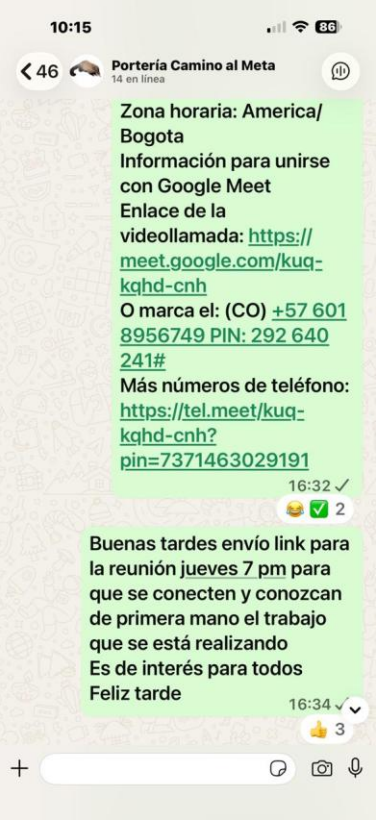


Fuente: Elaboración Propia

Con el propósito de garantizar la difusión oportuna de la jornada y asegurar una adecuada concurrencia, se diseñó una pieza gráfica informativa con los detalles logísticos del Taller Territorial Participativo. Este material fue difundido a través del grupo oficial de WhatsApp

de la comunidad y, de manera complementaria, se envió mediante mensajería directa a los contactos personales de los participantes registrados en la sesión de socialización inicial.

Figura 4-16 Evidencia Convocatoria vía WhatsApp Taller Participativo Polígono 3



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Durante el desarrollo del Taller Territorial Participativo del Polígono 3 se implementó la plataforma FigJam como herramienta para la construcción participativa de la cartografía social, permitiendo que la comunidad y los líderes del sector georreferenciaran de manera interactiva las principales amenazas, los valores ecológicos y las dinámicas socioambientales presentes en el territorio.

En el componente de inestabilidad física, los participantes identificaron como principal punto crítico un sector de la reserva La Serrana donde ocurrió un evento de remoción en masa que ocasionó la pérdida de dos vidas humanas, hecho que permanece en la memoria colectiva de la comunidad. Posteriormente, los habitantes intentaron adelantar un proceso de reforestación comunitaria; sin embargo, manifestaron que la Alcaldía Local de Usaquén

indicó que no era posible intervenir el área hasta contar con los estudios técnicos correspondientes. No obstante, señalaron que este predio, de carácter privado, actualmente desarrolla un proyecto de ecoturismo y restauración ambiental, cuyos propietarios han establecido un vivero y adelantan la recuperación del ecosistema.

Figura 4-17. Cartografía Social Polígono 3



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

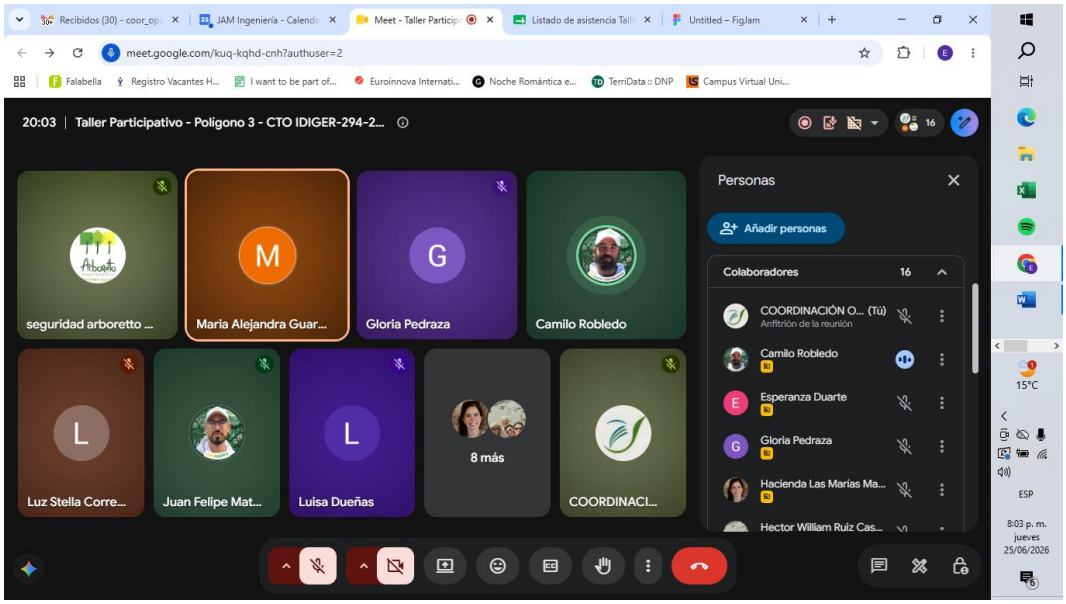
Asimismo, la comunidad georreferenció los sectores 8, 14 y la zona de La Serrana como áreas de alta vulnerabilidad por la ocurrencia de deslizamientos, destacando eventos registrados en noviembre de 2022, y reconstruyó la memoria histórica de caídas de rocas de gran volumen ocurridas en los sectores 7 y 8 durante los años 2011 y 2017. Complementariamente, con el aporte técnico del asistente de la reserva La Serrana, se caracterizaron aproximadamente 90 hectáreas del predio, identificando como principales ejes hídricos las quebradas Morací y La Chorrera, así como las acciones de restauración ecológica orientadas al reemplazo de especies exóticas, como pinos y eucaliptos, por

vegetación nativa para favorecer la estabilización de los suelos.

Por otra parte, la cartografía permitió visibilizar diversas presiones antrópicas que contribuyen al deterioro ambiental y al incremento de las condiciones de riesgo. Los participantes denunciaron el vertimiento continuo de escombros, llantas y residuos plásticos sobre la reserva La Serrana y las rondas de las quebradas Morací y La Chorrera, principalmente por parte de pobladores flotantes provenientes de barrios cercanos como San Luis y San Isidro. Indicaron además que la acumulación de residuos sólidos en las quebradas reduce su capacidad hidráulica, favoreciendo desbordamientos e inundaciones durante las temporadas de lluvias intensas.

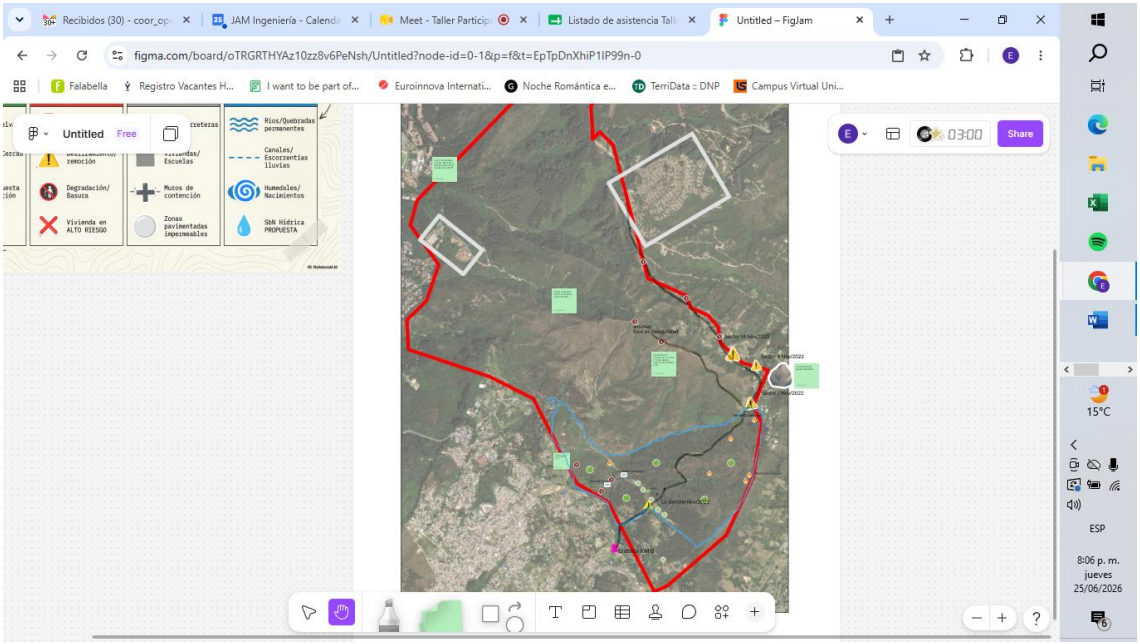
De igual forma, los asistentes señalaron que la vía principal constituye un corredor frecuentemente utilizado por visitantes externos para la práctica de caminatas y senderismo, así como para acceder a varios miradores con vista hacia el embalse de San Rafael. Aunque estas actividades representan un potencial para el aprovechamiento recreativo y ecoturístico del territorio, también generan impactos negativos asociados al abandono de residuos sólidos y a la realización de fogatas en zonas no autorizadas, incrementando el riesgo de incendios forestales. Finalmente, se identificó un sector donde permanecen unas antiguas antenas de telefonía en estado de abandono, las cuales han sido asociadas por la comunidad con problemas de inseguridad y acumulación de basura.

Figura 4-18 Taller Participativo Polígono 3



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Figura 4-19 Mapa elaborado por la comunidad Polígono 3



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

A continuación, se presentan los puntos identificados durante el taller de cartografía social en el Polígono 3, detallando la situación encontrada, su ubicación de referencia y la percepción territorial de la comunidad:

Tabla 4-9 Resultado Cartografía Social Polígono 3

PUNTO	SITUACIÓN IDENTIFICADA	UBICACIÓN / REFERENCIA	PERCEPCIÓN COMUNITARIA
Punto 1	Evento de remoción en masa y avalancha (noviembre de 2022).	Reserva La Serrana y Vía Camino al Meta.	Evento crítico en la memoria colectiva por la pérdida de dos vidas humanas e infraestructura.
Punto 2	Desprendimiento y caída de bloques rocosos de gran volumen.	Sectores 7 y 8 de la Vereda Camino al Meta.	Amenaza recurrente (registrada en 2011 y 2017) que pone en peligro a los transeúntes.
Punto 3	Inestabilidad de ladera sobre la única vía de conectividad veredal.	Vía Camino al Meta (Sector 1, Sectores 8 y 14).	Preocupación por el riesgo de aislamiento vial de más de 300 familias.
Punto 4	Vertimiento ilegal de escombros, llantas y residuos plásticos.	Rondas de las quebradas Morací y La Chorrera.	Indignación por afectaciones causadas por visitantes y pobladores flotantes.
Punto 5	Desbordamiento de cauces por represamiento de basura.	Quebrada La Chorrera / Entrada Km 6.	Incremento del riesgo de inundación durante la temporada invernal.
Punto 6	Quemas y riesgo de incendios forestales por visitantes recreativos.	Corredores de senderismo, Mirador Salto del Halcón y zona de antenas.	Preocupación por encendido de fogatas no autorizadas en coberturas de bosque de pino.

Fuente: Elaboración Propia

Todas las evidencias del taller participativo se encuentran en el **Anexo 3. Taller Participativo.**

4.4.4.4.3 Entrevistas semi-estructuradas

Se realizaron entrevistas semiestructuradas a actores clave institucionales y comunitarios. El objetivo de este instrumento fue contrastar y complementar la información técnica con los saberes locales. Estos espacios de diálogo directo permitieron identificar las formas de gobernanza socio ecológica, las prácticas de cuidado, la memoria del territorio y las aspiraciones de permanencia de la población.

Se plantearon 5 ejes temáticos historia y memoria del territorio, datos demográficos y afectaciones, percepción de SbN y su entorno, acciones comunitarias y autogestión y expectativas e institucionalidad, garantizando así que el diseño de las intervenciones responda a la realidad de cada sector. Estas entrevistas se realizaron entre el 19 y el 23 de junio de 2026.

Para el abordaje del Polígono 3, dada la sólida estructura organizativa y la cohesión comunitaria identificadas en el sector, la entrevista semiestructurada se aplicó a la presidenta de la Junta de Acción Comunal, en su calidad de líder representativa del territorio. De otra parte, si bien se identificó al Club La Aguadora como un actor institucional dentro del perímetro de estudio, a pesar de adelantarse las gestiones de notificación y contacto por los canales formales disponibles, no se obtuvo respuesta por parte de dicha entidad.

En la ejecución de las entrevistas se identificó que es un sector de aproximadamente 350 familias con un fuerte tejido comunitario, pero altamente vulnerable a emergencias geológicas y ambientales. El hito histórico más crítico fue una avalancha ocurrida en 2022 que provocó severos daños en la infraestructura vial y la lamentable pérdida de dos vidas humanas, sumado a antecedentes de grandes incendios forestales. Frente a estos riesgos latentes, el liderazgo local manifiesta un respaldo total a la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN); destacan que aplicar técnicas de bioingeniería garantiza una intervención técnica, segura y ecológica que mitigará la inestabilidad de la montaña sin generar los impactos negativos de las obras civiles tradicionales en concreto.

A continuación, se presenta la correspondencia con los actores y una síntesis de los temas abordados durante las entrevistas semiestructuradas en el Polígono 2, se adjunta el **Anexo 4. Entrevista Semi-Estructurada** en donde están todos los soportes.

Tabla 4-10. Consolidado Entrevistas Semi-Estructuradas Polígono 3

ACTOR ENTREVISTADO	CARGO / REPRESENTACIÓN	FECHA	EJES TEMÁTICOS ABORDADOS
Luz Stella Correa	Presidenta JAC Vereda Camino al Meta	22/06/2026	Memoria de la avalancha de nov/2022 (pérdida de vidas), falta de acueducto potable para 120 familias, desatención por límites Bogotá-La Calera y respaldo total a la bioingeniería.

Fuente: Elaboración Propia

4.4.4.4.4 Socialización final

La socialización final se llevará a cabo en los días previos a la finalización del último mes de ejecución del proyecto, en la cual se presentarán los resultados de los estudios y diseños resultantes.

4.4.4.4.5 Socializaciones extraordinarias

En caso de requerirse, se desarrollarán socializaciones extraordinarias, entendidas como aquellas que surjan por solicitud de la comunidad o de actores institucionales, ya sean públicos o privados, atendiendo las necesidades metodológicas planteadas. Por el momento no se han requerido.

4.4.4.5 Programa de atención a la comunidad

El Programa de Atención a la Comunidad tuvo como propósito establecer canales efectivos de comunicación entre el proyecto y los actores sociales ubicados en el área de influencia, garantizando la atención oportuna frente a las peticiones, quejas, reclamos, solicitudes o felicitaciones (PQRS) por medio escrito, telefónico y/o correo electrónico.

4.4.4.5.1 Canales de atención a la comunidad

Con el propósito de brindar una atención oportuna y de calidad a la comunidad, participantes e interesados del proyecto, se dispusieron diversos canales de comunicación. Para ello, se estableció un punto de atención virtual operado mediante correo electrónico y atención telefónica, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 4-11 Canales de atención

PROGRAMA DE SERVICIO A LA CIUDADANÍA

CANAL DE ATENCIÓN	MEDIO DE ATENCIÓN	HORARIO DE ATENCIÓN
Virtual	Punto de atención a la comunidad	De lunes a viernes de 8:00 a.m. a 4:00 p.m.
	Dirección	N:A
Línea de atención al ciudadano	Línea telefónica móvil 3007782858	De lunes a viernes de 8:00 a.m. a 4:00 p.m.
Correo electrónico	est_idigersbn2@jamingenieria.com	Permanente

Fuente: Elaboración propia

Desde las jornadas de socialización, se garantizó la divulgación de los canales de atención a la comunidad del área de influencia (punto virtual, línea telefónica, correo electrónico y horarios de atención). Cabe destacar que, durante el periodo de ejecución del proyecto, no se registraron peticiones, quejas, reclamos, solicitudes, felicitaciones ni denuncias (PQRSD).

4.4.4.6 Resultados

4.4.4.6.1 Diagnóstico y caracterización territorial

La ocupación de este territorio se inició hace más de cuatro décadas, articulada en sus orígenes alrededor de la vía Camino al Meta, la cual consistía en un tramo de tierra abierto para la instalación de torres de energía eléctrica en los filos de los cerros. En sus inicios, la comunidad nativa de la cual aún permanecen entre 25 y 30 familias tradicionales, subsistía mediante la extracción de madera de eucalipto y su transporte en burros hacia Bogotá. Con el paso de los años, el territorio se transformó en una interfaz periurbana-rural heterogénea que hoy alberga entre 300 y 350 familias, integrando tanto la vereda rural (alrededor de 120 familias) como desarrollos urbanos consolidados.

A lo largo de su historia, el área ha estado marcada por hitos críticos de riesgo y desastres ambientales:

Entre los eventos críticos registrados en la memoria comunitaria destacan:

- **Incendios forestales:** Ocurridos hace 20 años, destruyeron grandes extensiones de vegetación nativa y generaron emergencias por humo.
- **Desprendimiento de rocas:** Caídas de bloques de gran dimensión registradas en los sectores 7 y 8 durante los años 2011 y 2017.
- **Avalanchas y deslizamientos de noviembre de 2022:** Un evento pluviométrico

extremo colapsó la ladera en los Sectores 1, 8, 14 y la zona de La Serrana, destruyendo infraestructura vial y cobrando la vida de dos personas.

Frente a estos escenarios, existe una estructura comunitaria sólida liderada por la Junta de Acción Comunal (JAC) de la Vereda Camino al Meta y respaldada por redes de conservación privada como la Reserva La Serrana, enfocada en la restauración ecológica y la sustitución de pinos y eucaliptos por especies nativas. Paralelamente, los propios habitantes han identificado diversos factores antrópicos que aceleran el riesgo como focos de inestabilidad activa en varios sectores, acumulación de escombros, llantas y plásticos en la cuenca de la Quebrada Morací por transeúntes externos, peligro de incendios por fogatas mal apagadas en zonas turísticas y de mirador, y focos de inseguridad junto con vertimiento de basuras en infraestructuras abandonadas, como las antiguas antenas de telefonía.

Ante este panorama, la comunidad reclama su derecho a permanecer de forma segura en el territorio. Rechazan rotundamente las soluciones exclusivamente grises o las intervenciones improvisadas, y apuestan de manera decidida por la bioingeniería como un enfoque integral y respetuoso con el entorno, capaz de proteger la vida y mitigar la vulnerabilidad sin destruir el paisaje natural.

4.4.4.6.2 Análisis de necesidades y oportunidades

- **Diagnóstico de necesidades socio ecológicas**

La vulnerabilidad del territorio evidencia necesidades socio ecológicas ubica en la seguridad, la movilidad y el bienestar de la población del territorio. La elevada pendiente de las laderas representa un riesgo constante para los habitantes, haciendo prioritaria la estabilización de taludes y el control de la erosión. Asimismo, para proteger a las comunidades de inundaciones y crecidas, se requiere regular el recurso hídrico y amortiguar los picos de escorrentía superficial. Estas medidas de conservación se complementan con la estabilización mediante bioingeniería en la Vía Camino al Meta específicamente en el Sector 1, una obra fundamental para salvaguardar la integridad física de los vecinos y garantizar la conectividad vial que permite el acceso a servicios esenciales.

Por otra parte, la dimensión social evidencia profundas brechas en salud pública, equidad

y justicia ambiental. Las familias enfrentan un deterioro de su calidad de vida por la falla en la PTAR del Conjunto Arboreto ubicado a las afueras del polígono, cuyo colapso en época invernal debido a la mala conexión entre redes de aguas lluvias y residuales, genera la descarga directa de espumas y contaminantes en las quebradas locales. Esta problemática afecta directamente la salud ambiental y el Embalse San Rafael. La inequidad se hace aún más evidente al constatar que, a pesar de convivir con la infraestructura de conducción hídrica hacia Bogotá y colindar con el propio embalse, 120 familias veredales carecen de red de agua potable y dependen exclusivamente de carrotanques, configurando una situación de vulnerabilidad social y vulneración de derechos que exige atención prioritaria.

- **Matriz de necesidades, conflictos y potencialidades**

Tabla 4-12 Matriz de Necesidades, Conflictos y Potencialidades Polígono 3

VARIABLE SOCIAL COMUNITARIA	NECESIDADES IDENTIFICADAS	CONFLICTOS SOCIOAMBIENTALES	POTENCIALIDADES
Deslizamiento ya presentado en el cual hubo víctimas mortales	Estabilización física de laderas y contención de caída de rocas a partir de soluciones que no manejen obras duras	Temor comunitario al estar en una zona límite entre Bogotá D.C. - localidad de Usaquén y el Municipio de La Calera, lo que dificulta la coordinación interinstitucional y la respuesta a las necesidades de la comunidad.	Presencia de iniciativas de restauración ambiental (propiedad privada), que constituyen una oportunidad para consolidar medidas de bioingeniería.
Uso, apropiación y gestión comunitaria del territorio	Erradicación gradual de especies exóticas y siembra de especies endémicas	Prohibición por parte de la localidad de Usaquén a la iniciativa comunitaria de siembra de especies endémicas.	Interés por parte de la comunidad para promover el enriquecimiento florístico, restauración ecológica participativa y corredores verdes.
Denuncia de basuras, fogatas ilegales e inseguridad en zonas abandonadas.	Control de acceso, gestión de residuos y señalización ambiental de senderos.	Fricción entre residentes locales y visitantes recreativos externos.	El entorno da viabilidad para realizar ecoturismo regulado y miradores sostenibles.

Fuente: Elaboración Propia

- **Oportunidades y espacios de valor cultural**

Espacios de Valor Cultural y Conservación: La Reserva La Serrana constituye el nodo central para la conectividad biológica del polígono.

Áreas de Apropiación Barrial y Prácticas de Cuidado: La comunidad realiza jornadas de recolección selectiva de basuras y vigilancia comunitaria.

Espacios de Valor Simbólico: El Mirador Salto del Halcón y los relictos de nativas conservados por la población para el avistamiento de aves, búhos y fauna silvestre.

4.4.4.6.3 Viabilidad: Barreras y habilitadores

- Análisis de barreras

Barreras Institucionales y de Gestión Pública: Persiste la falta de acueducto formal tras 30 años pese a la cercanía con el Embalse San Rafael, junto a vacíos de atención estatal por estar en el límite entre Usaquén y La Calera, y trabas administrativas que han llegado a prohibir reforestaciones comunitarias.

Barreras Técnicas, Geotécnicas e Infraestructurales: Inestabilidad de laderas y riesgo de avenidas torrenciales que amenazan la vía "Camino al Meta", única arteria que podría dejar incomunicadas a más de 300 familias.

Barreras Socioculturales, Turísticas y de Residuos: Flujo incontrolado de visitantes externos que encienden fogatas en bosques de pinos y miradores, creando un alto riesgo de incendios forestales. Se suma la disposición de escombros, llantas y plásticos en las quebradas Morací y La Chorrera, e infraestructura de antenas abandonada que funciona como foco de basuras e inseguridad.

Barreras Prediales y Financieras: Dificultad para contactar a propietarios de lotes estratégicos de gran extensión, restricciones de intervención por ser área protegida de Cerros Orientales e histórico olvido presupuestal donde la misma comunidad ha financiado sus obras de bolsillo.

- **Factores habilitantes**

En el ámbito normativo e institucional, el proyecto cuenta con el respaldo legal y presupuestal del IDIGER y el Plan de Acción Climática Distrital. Esta estructura institucional

viabiliza técnica y legalmente la formulación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), garantizando el marco normativo adecuado para la intervención adaptativa en la zona protegida de los Cerros Orientales.

Por otro lado, respecto a los habilitadores comunitarios y de liderazgo local, la vereda cuenta con un arraigo histórico de más de 40 años, una fuerte cohesión social y una actitud propositiva encauzada por la Junta de Acción Comunal (JAC) y su lideresa. Este liderazgo de base facilita la concertación social, la convocatoria a la comunidad.

En cuanto a los factores ambientales y de autogestión, existe una sólida base representada en la Reserva La Serrana y en iniciativas comunitarias como la compra directa de entre 100 y 300 árboles nativos endémicos para reforestar. Adicionalmente, los vecinos mantienen esquemas voluntarios de vigilancia contra incendios y recolección selectiva de residuos, ofreciendo condiciones idóneas para implementar obras de bioingeniería y siembras de protección.

4.4.4.7 Conclusiones

- **Cumplimiento y aporte de la gestión social:** Se dio cumplimiento al componente de relacionamiento comunitario establecido en el Plan de Gestión Social para el polígono 3, mediante el desarrollo de la reunion de inicio, el taller de cartografía social y las entrevistas semiestructuradas. Estos espacios permitieron fortalecer la participación ciudadana, recopilar información territorial y articular el saber local con los componentes técnicos de los estudios y diseños.
- **Viabilidad social y favorabilidad hacia las Soluciones Basadas en la Naturaleza:** Se evidenció una alta favorabilidad de las comunidades y actores institucionales frente a la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), particularmente obras de bioingeniería, como alternativa para la reducción del riesgo. En el Polígono 3, la comunidad de la Vereda Camino al Meta y el liderazgo local manifestaron un respaldo a la bioingeniería, rechazando rotundamente las intervenciones improvisadas o exclusivas de obras civiles tradicionales en concreto. Apostaron por las SbN como un enfoque integral, técnico y seguro que permitirá mitigar la inestabilidad de la montaña y salvaguardar la vida

de los habitantes, sin generar impactos negativos ni destruir el paisaje natural de los Cerros Orientales.

- **Reconocimiento comunitario de las condiciones de riesgo:** Los ejercicios de cartografía social permitieron evidenciar el conocimiento y la memoria territorial de las comunidades frente a los eventos de riesgo y sus principales factores asociados. La participación comunitaria contribuyó a identificar y georreferenciar puntos críticos, antecedentes de afectaciones, dinámicas territoriales y condiciones que inciden en la estabilidad de las áreas intervenidas, constituyéndose en un insumo complementario para la definición y validación de las medidas propuestas.
- **Desconfianza institucional y necesidad de materialización de las intervenciones:** Se identificó como una de las principales condiciones sociales a considerar el escepticismo y cansancio de las comunidades frente a los procesos institucionales, asociado a la existencia de estudios e iniciativas anteriores que no se han materializado en intervenciones definitivas. Para el Polígono 3, el escepticismo comunitario obedece a un vacío de atención estatal derivado de su ubicación limítrofe entre la localidad de Usaquén y el municipio de La Calera, sumado a un histórico olvido presupuestal que ha obligado a los habitantes a financiar intervenciones con sus propios recursos. La desconfianza institucional se evidencia además en la frustración generada por trabas administrativas previas.
- **Fortalecimiento del tejido social como condición para la sostenibilidad:** La existencia de organizaciones y redes comunitarias activas, como la Junta de Acción Comunal, evidencia capacidades de organización, participación y autogestión que pueden constituirse en un factor favorable para la implementación y sostenibilidad de las medidas. Estas capacidades pueden facilitar el acompañamiento comunitario durante la ejecución, la vinculación de mano de obra local, el seguimiento a las intervenciones y la apropiación de las acciones de mantenimiento y protección de las obras de bioingeniería.
- **Barreras territoriales e institucionales:** Además de las condiciones asociadas al escepticismo institucional, se identificaron factores territoriales que pueden incidir en la efectividad y sostenibilidad de las medidas de reducción del riesgo, como la presión de visitantes externos que generan riesgos de incendios forestales por

fogatas no autorizadas, la disposición inadecuada de escombros, llantas y plásticos en el sector.

- **Sostenibilidad, apropiación y gobernanza:** La sostenibilidad de las medidas propuestas requiere complementar la ejecución física de las obras con estrategias de apropiación social, participación y gobernanza. En este sentido, resulta pertinente fortalecer mecanismos como la vinculación de mano de obra local, la formación comunitaria, la participación de vigías comunitarios del riesgo y la capacitación para el cuidado y mantenimiento de las intervenciones, promoviendo responsabilidades compartidas entre comunidad e instituciones que contribuyan a la conservación y funcionalidad de las Soluciones Basadas en la Naturaleza en el largo plazo.

4.5 ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO

4.5.1 CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA REGIONAL

La caracterización se realizó con base en el Atlas Climatológico del IDEAM, considerando precipitación, días con lluvia, temperatura media y clasificación climática, la información permite comprender a la localidad de Usaquén dentro de un contexto y una referencia regional, cuya aplicación puntual debe complementarse con datos de mayor detalle.

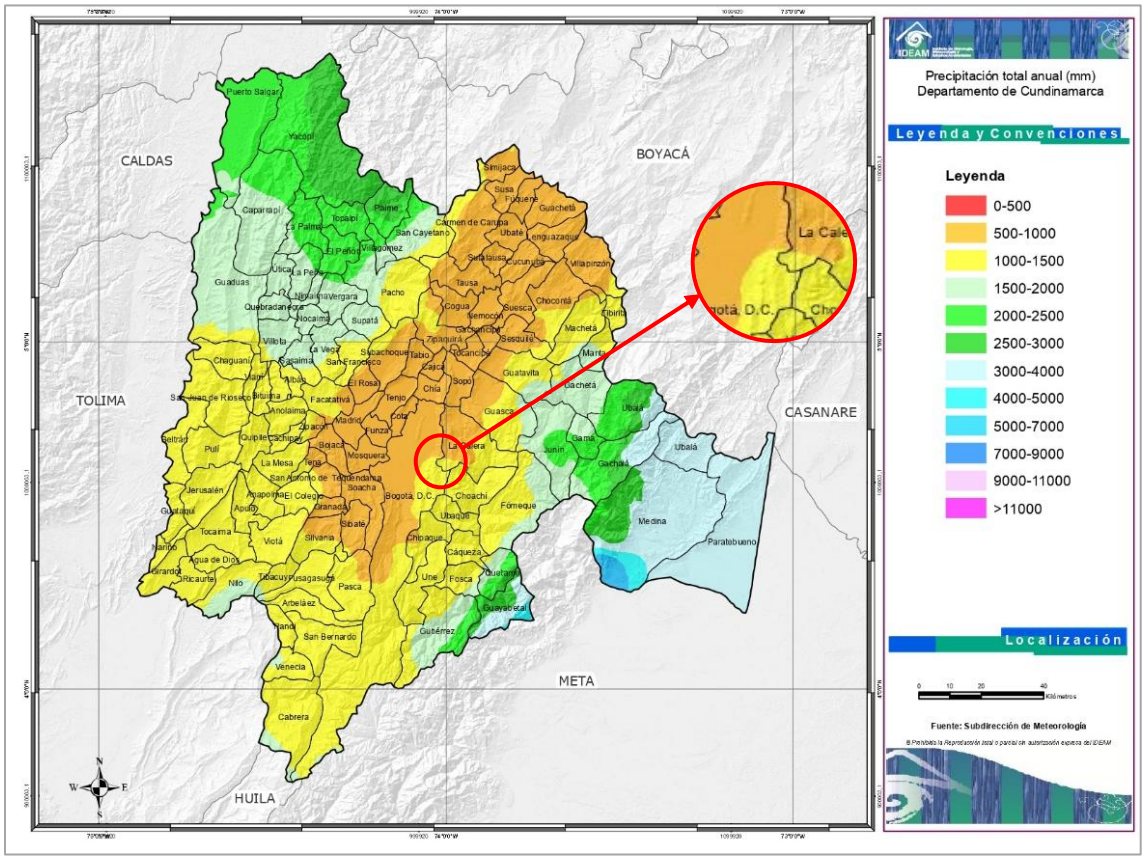
4.5.1.1 Precipitación total anual

La distribución espacial de la precipitación total anual en Bogotá D. C. presenta variaciones asociadas principalmente con el relieve y la cercanía a los cerros Orientales. De acuerdo con el mapa del Atlas Climatológico del IDEAM, en el área urbana de la ciudad predominan acumulados comprendidos entre 500 y 1.500 mm/año.

En el sector de Usaquén, se observan principalmente precipitaciones anuales entre 500 y 1.000 mm; y tiende a mantenerse en l mismo rango hacia el noroccidente de la ciudad, con referencia a esta localidad.

Hacia el suroriente, en la localidad de chapinero, se evidencia un gradiente general de aumento de la precipitación desde los sectores urbanos occidentales hacia el borde centro oriental de Bogotá, donde el ascenso de las masas de aire sobre el relieve favorece la formación de nubosidad y lluvia.

Figura 4-20 Valores de precipitación total anual para el departamento de Cundinamarca y Bogotá D.C.



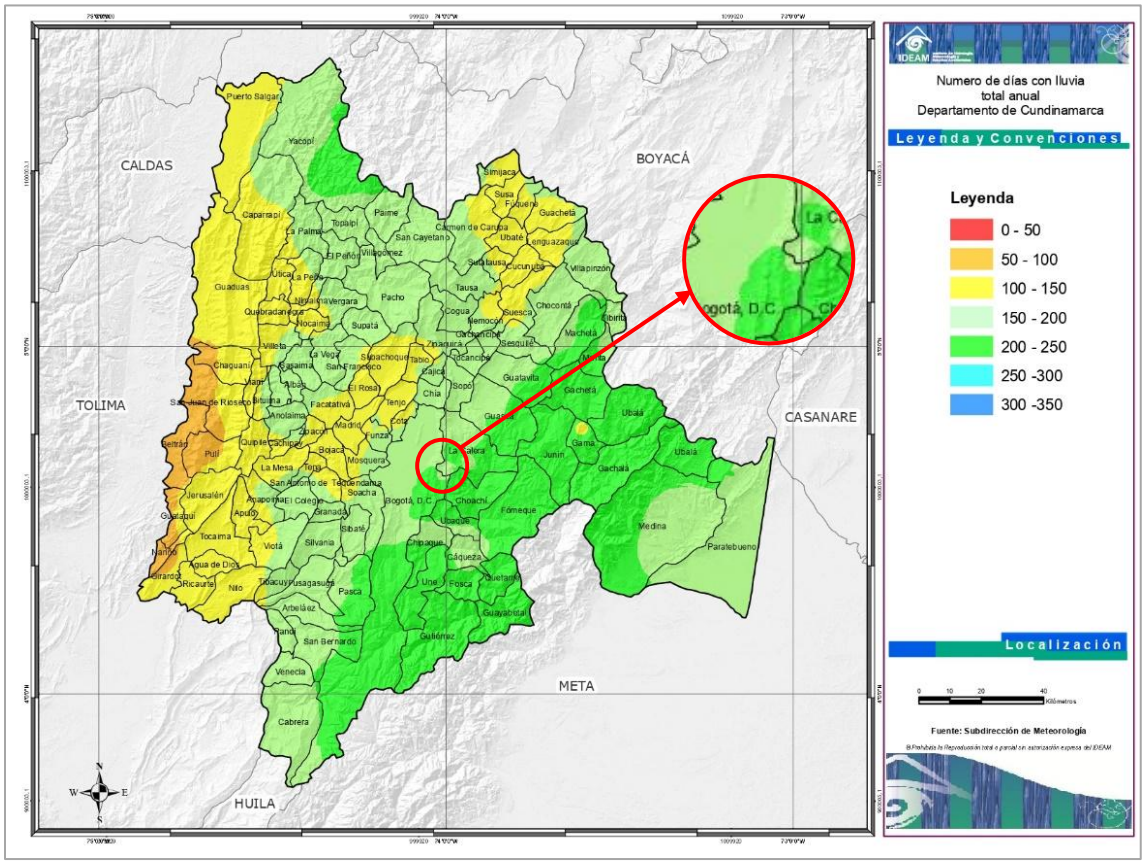
Fuente: IDEAM, 2017

4.5.1.2 Número de días con lluvia al año

El número de días con lluvia constituye un indicador de la frecuencia con la que se presentan eventos de precipitación durante el año, independientemente del volumen total acumulado. De acuerdo con el mapa analizado, en Bogotá D. C. se presentan aproximadamente entre 150 y 250 días con lluvia al año, con diferencias espaciales asociadas con la topografía y la localización dentro de la ciudad.

Para el sector de Usaquén, predominan valores comprendidos entre 150 y 200 días con lluvia al año; y esta tendencia se mantiene hacia el noroccidente de esta localidad, mientras que los sectores urbanos de mayor elevación, en la localidad de chapinero, los valores pueden aproximarse al intervalo de 200 a 250 días al año.

Figura 4-21 Valores de No. de días de lluvia al año para el departamento de Cundinamarca y Bogotá D.C.



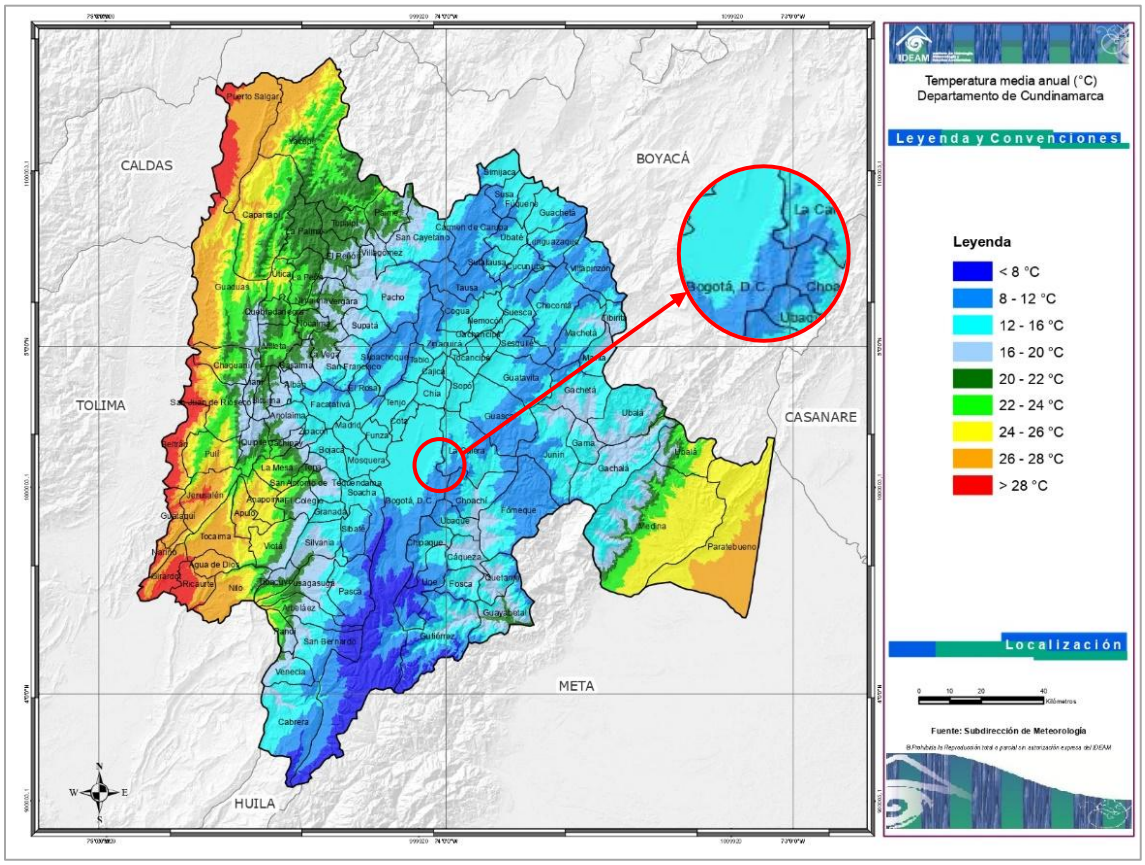
Fuente: IDEAM, 2017

4.5.1.3 Temperatura media anual

La temperatura media anual en Bogotá D. C. está condicionada principalmente por la elevación, el relieve, la cobertura del suelo y el grado de urbanización; según el mapa del IDEAM, en la mayor parte del territorio distrital se presentan temperaturas medias anuales comprendidas entre 8 y 16 °C.

En Usaquén, se presentan predominantemente temperaturas medias entre 12 y 16 °C, siendo relativamente homogéneo hacia el noroccidente de la ciudad con respecto a esta localidad, mientras que, en los sectores más elevados de las zonas montañosas del oriente, como en la localidad de chapinero, se identifican temperaturas medias anuales cercanas al intervalo de 8 a 12 °C.

Figura 4-22 Valores de temperatura media anual para el departamento de Cundinamarca y Bogotá D.C.



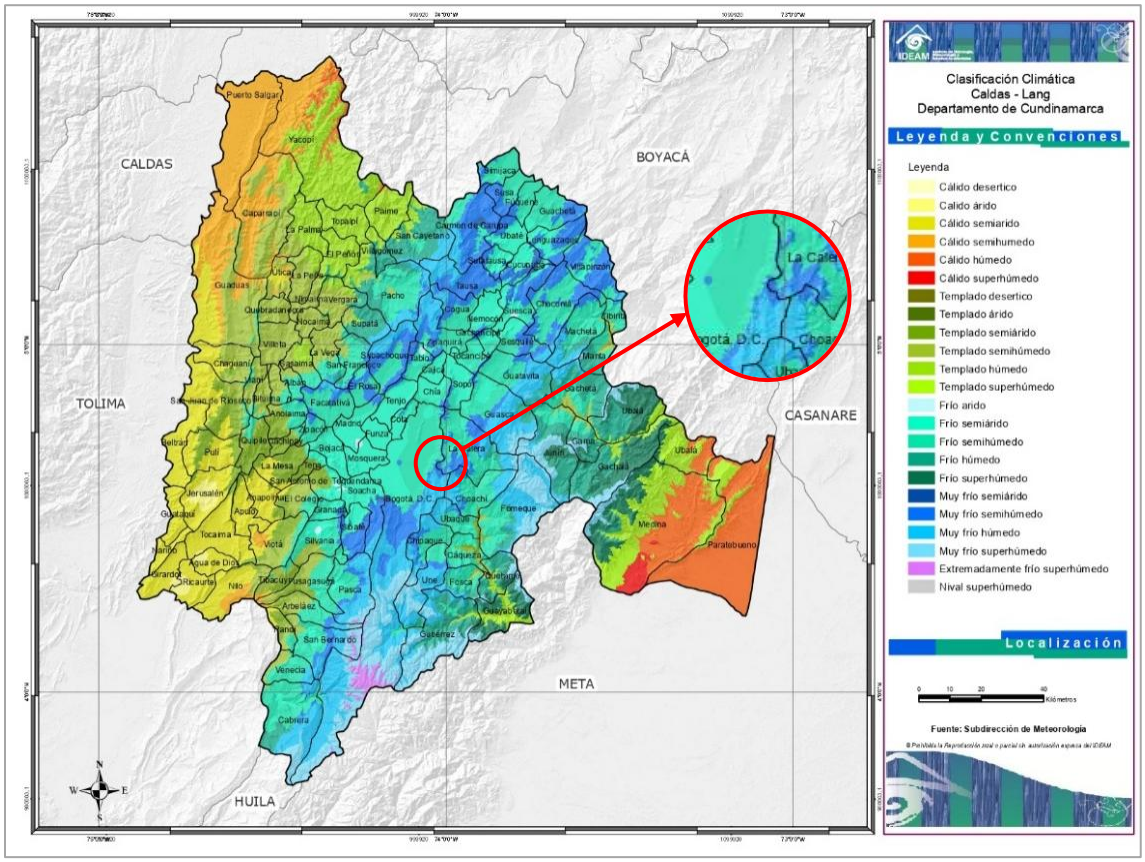
Fuente: IDEAM, 2017

4.5.1.4 Clasificación climática

De acuerdo con la clasificación climática de Caldas-Lang, Bogotá D. C. presenta diferentes tipos de clima como consecuencia de las variaciones de temperatura, precipitación y elevación existentes dentro del territorio distrital.

En Usaquén se identifica cierta homogeneidad entre climas fríos semihúmedos, transitando a climas fríos semiáridos hacia el occidente; mientras que al suroriente desde este punto se identifica una transición desde condiciones de clima frío semihúmedo en los sectores urbanos de menor elevación hacia condiciones de clima frío húmedo o frío superhúmedo en dirección a los cerros Orientales.

Figura 4-23 Clasificación climática del departamento de Cundinamarca y Bogotá D.C.



Fuente: IDEAM, 2017.

Las figuras mostradas se encuentran en el **anexo Figuras**

4.5.2 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

4.5.2.1 Recopilación de información hidroclimatológica disponible

Para la caracterización de la precipitación en las áreas de interés se emplearon los registros diarios disponibles de estaciones hidrometeorológicas del IDIGER, seleccionadas por su proximidad y representatividad respecto de los sectores evaluados en la localidad de Usaquén.

Las estaciones consideradas para el análisis corresponden a Estación Escuela Pedagógica Experimental, Estación Fundación Ana Restrepo del Corral y la Estación Cerro Cazadores.

Tabla 4-13 Estaciones con Influencia en la Zona de Estudio

Código	Estación	Localidad asociada
2120000139	Escuela Pedagógica Experimental	Usaquén
2120000140	Fundación Ana Restrepo del Corral	Usaquén
21206890	Cerro Cazadores	Usaquén

Fuente: IDIGER, 2026.

A partir de los registros diarios se determinaron los valores medios de precipitación total mensual multianual y los valores máximos de precipitación en 24 horas, la información de referencia del IDIGER señala que la precipitación en Bogotá presenta una variabilidad espacial significativa.

Figura 4-24 Ubicación de estaciones IDIGER asociadas a polígono 3



Fuente: IDIGER,2026.

4.5.3 RESUMEN DEL CLIMA A PARTIR DE INFORMACIÓN OBTENIDA DE ESTACIONES

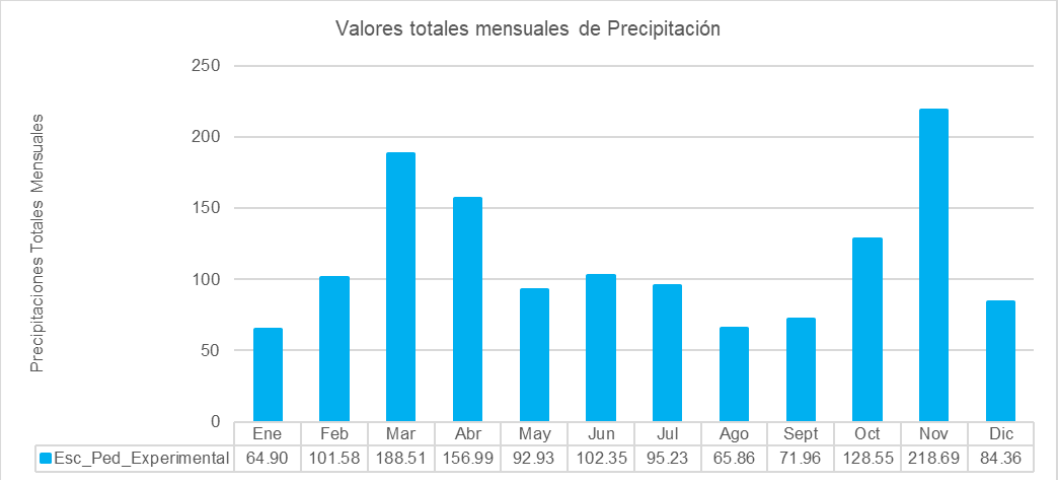
En base a la información obtenida de las estaciones meteorológicas operadas por el IDIGER, se caracterizan las siguientes variables climatológicas.

4.5.3.1 PRECIPITACIÓN

4.5.3.1.1 Precipitación total mensual y anual

En la estación Escuela Pedagógica Experimental se identifica un régimen de lluvias bimodal, con una primera temporada húmeda entre marzo y junio, cuyo máximo se presenta en marzo con 188.51 mm, seguido de abril con 156.99 mm. La segunda temporada húmeda se presenta entre octubre y noviembre, alcanzando el mayor valor mensual del año en noviembre con 218.69 mm. Los periodos de menor precipitación se presentan principalmente al inicio del año y entre agosto y septiembre, registrándose el mínimo mensual en enero, con 64.90 mm. La precipitación media anual de la estación es de 1371.89 mm.

Figura 4-25 Regimén de precipitaciones – Estación Escuela pedagogica experimental

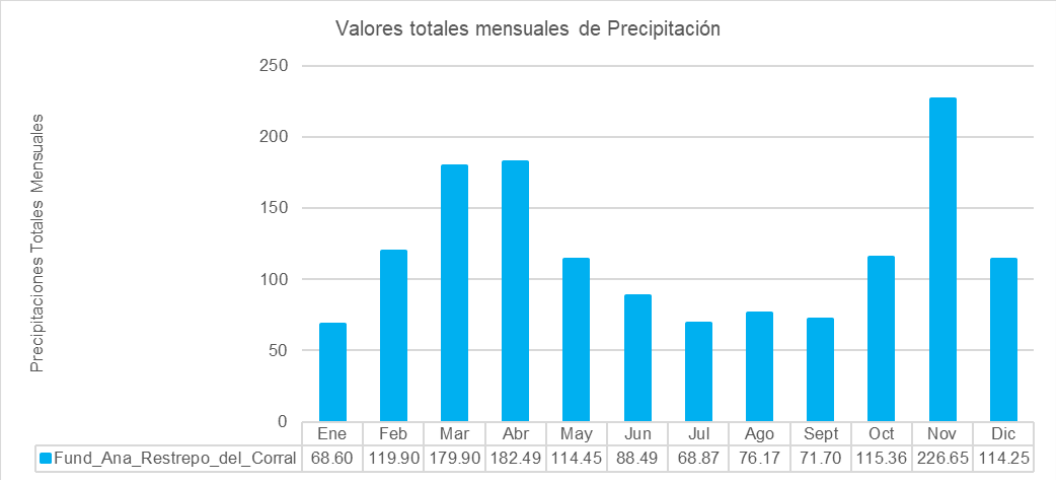


Fuente: Consorcio Adaptación 2025

En la estación Fundación Ana Restrepo del Corral se observa un régimen de lluvias bimodal, con una primera temporada húmeda entre marzo y mayo, en la cual el mayor valor se registra en abril con 182.49 mm, seguido de marzo con 179.90 mm. La segunda temporada húmeda se presenta entre octubre y noviembre, con el máximo mensual del año en noviembre, correspondiente a 226.65 mm. Los menores valores de precipitación se

registran principalmente en enero y entre julio y septiembre, siendo enero el mes más seco, con 68.60 mm. La precipitación media anual de la estación es de 1426.83 mm.

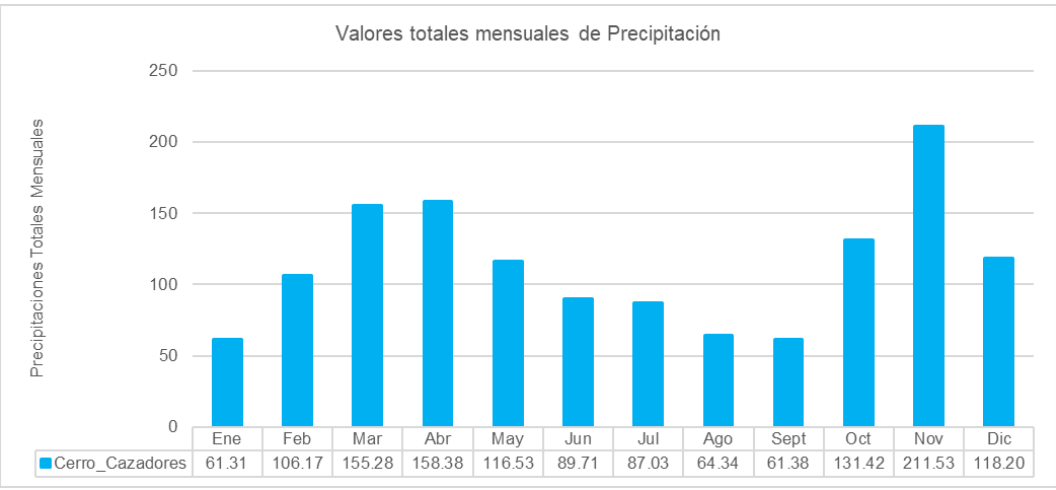
Figura 4-26 Regimén de precipitaciones – Estación Fundación Ana Restrepo del Corral



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

En la estación Cerro Cazadores se identifica igualmente un comportamiento bimodal, con una primera temporada húmeda entre marzo y mayo, cuyo máximo se presenta en abril con 158.38 mm, y una segunda temporada entre octubre y noviembre, alcanzando el mayor valor mensual del año en noviembre con 211.53 mm. Los periodos de menor precipitación se presentan al inicio del año y entre agosto y septiembre, registrándose el mínimo mensual en enero, con 61.31 mm. La precipitación media anual de la estación es de 1361.27 mm.

Figura 4-27 Regimén de precipitaciones – Estación Cerro Cazadores



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Tabla 4-14 Resumen de resultados obtenidos de Precipitación total multianual

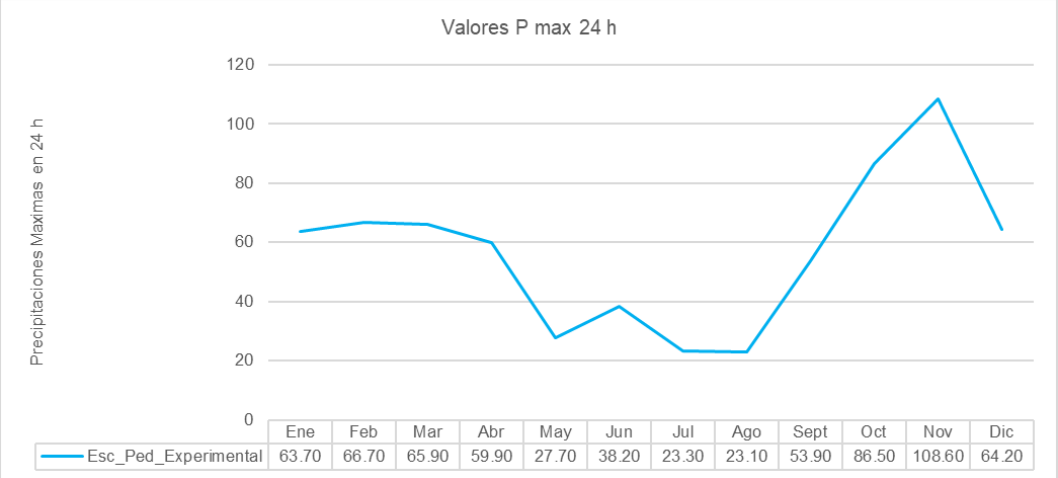
Estación	Total promedio multianual (mm)	Mes más lluvioso	Máximo promedio mensual (mm)	Mes menos lluvioso	Mínimo promedio mensual (mm)
Escuela Pedagógica Experimental	1371.89	Noviembre	218.69	Enero	64.90
Fundación Ana Restrepo del Corral	1426.83	Noviembre	226.65	Enero	68.60
Cerro Cazadores	1361.27	Noviembre	211.53	Enero	61.31

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

4.5.3.1.2 Precipitación máxima en 24 horas

En la estación Escuela Pedagógica Experimental, el mayor valor mensual de precipitación máxima en 24 horas se presenta en noviembre, con 108.60 mm, seguido de octubre con 86.50 mm y febrero con 66.70 mm. Los menores valores se registran en agosto y julio, con 23.10 mm y 23.30 mm, respectivamente. El valor denominado máximo anual corresponde a 62.78 mm.

Figura 4-28 P max 24 horas mensual multianual – Estación Escuela pedagogica experimental

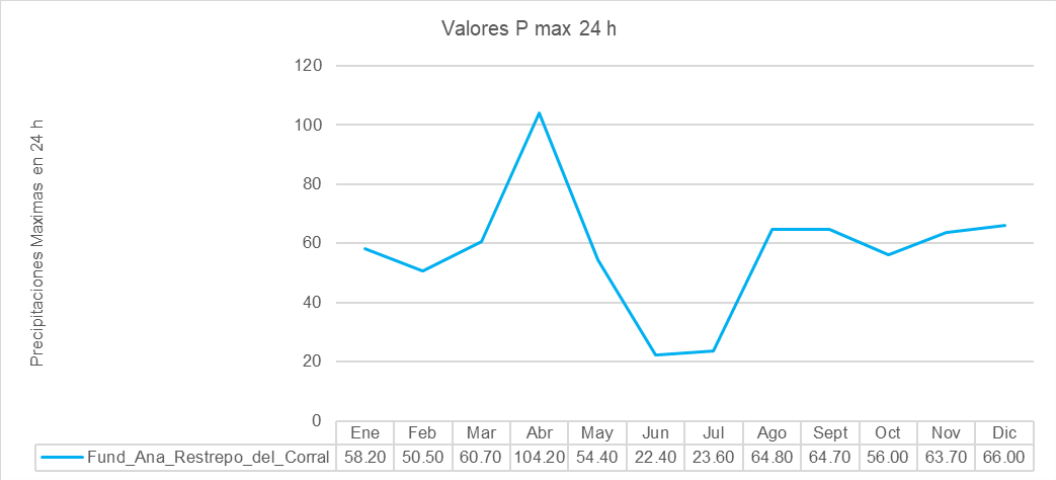


Fuente: Consorcio Adaptación 2025

En la estación Fundación Ana Restrepo del Corral, el mayor valor mensual de precipitación máxima en 24 horas ocurre en abril, con 104.20 mm, seguido de diciembre con 66.00 mm

y agosto con 64.80 mm. El menor valor se presenta en junio, con 22.40 mm. El valor denominado máximo anual corresponde a 64.49 mm.

Figura 4-29 P max 24 horas mensual multianual – Estación Fundación Ana Restrepo del Corral

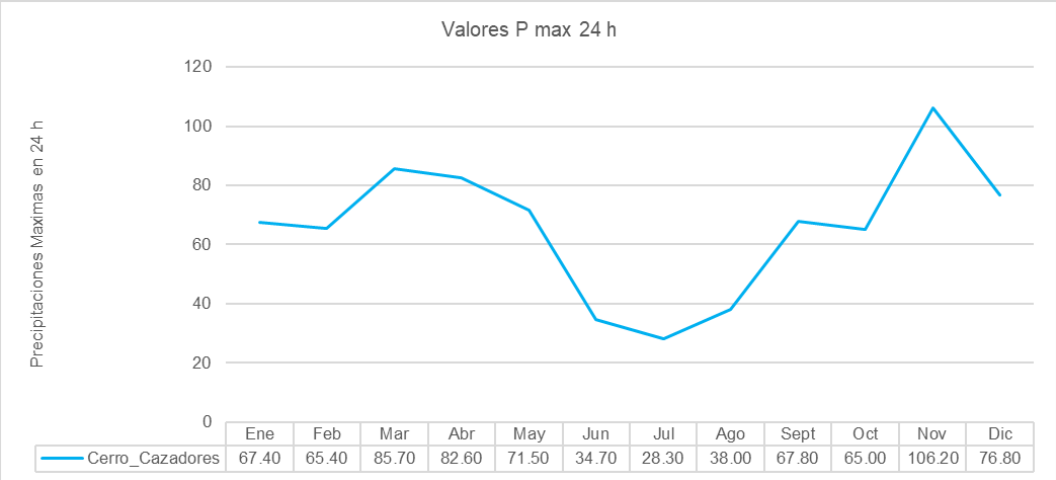


	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Fund_Ana_Restrepo_del_Corral	58.20	50.50	60.70	104.20	54.40	22.40	23.60	64.80	64.70	56.00	63.70	66.00

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

En la estación Cerro Cazadores, el mayor valor mensual de precipitación máxima en 24 horas se presenta en noviembre, con 106.20 mm, seguido de marzo con 85.70 mm y abril con 82.60 mm. Los menores valores se registran en julio y junio, con 28.30 mm y 34.70 mm, respectivamente. El valor denominado máximo anual corresponde a 69.56 mm.

Figura 4-30 P max 24 horas mensual multianual – Estación Cerro Cazadores



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Cerro_Cazadores	67.40	65.40	85.70	82.60	71.50	34.70	28.30	38.00	67.80	65.00	106.20	76.80

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

En conjunto, las estaciones evaluadas presentan mayores precipitaciones totales durante dos periodos principales: una primera temporada húmeda entre marzo y mayo, y una segunda entre octubre y noviembre. En términos de precipitación máxima en 24 horas, los mayores registros se concentran principalmente en abril y noviembre, aunque su distribución mensual varía entre estaciones. Esto evidencia que los eventos intensos de corta duración responden a condiciones locales y no necesariamente coinciden de forma estricta con los meses de mayor precipitación total.

Tabla 4-15 Resumen de resultados obtenidos de Precipitación máxima en 24 horas

Estación	Mayor valor mensual de P máx. 24 h (mm)	Mes de ocurrencia	Valor denominado «Máx. anual» (mm)
Escuela Pedagógica Experimental	108.60	Noviembre	62.78
Fundación Ana Restrepo del Corral	104.20	Abril	64.49
Cerro Cazadores	106.20	Noviembre	69.56

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

4.5.3.2 TEMPERATURA

Con la información suministrada, la caracterización de temperatura se desarrolla para la estación Cerro Cazadores, para la cual se dispone de registros horarios de esta variable. En consecuencia, el análisis de temperatura mínima, media y máxima se presenta exclusivamente para esta estación.

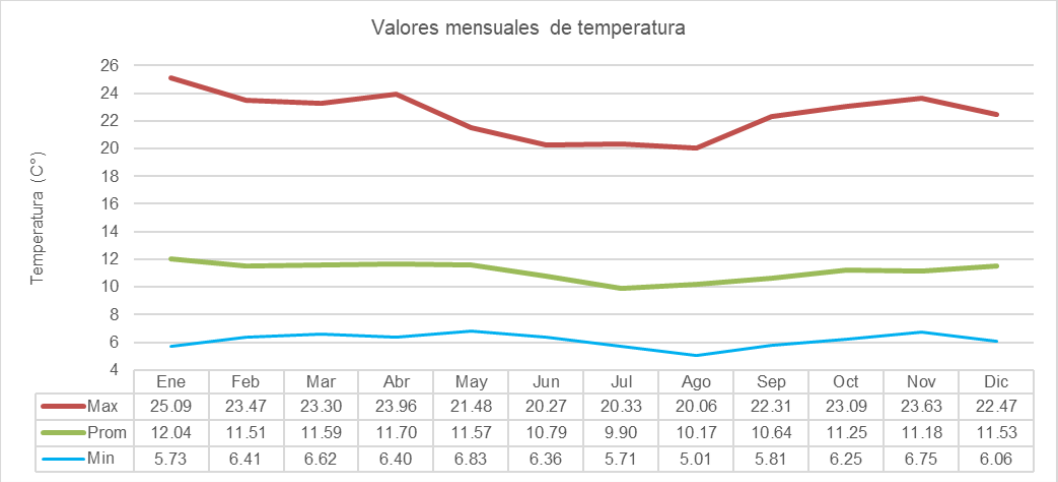
La serie de temperatura disponible presenta una resolución horaria. A partir de esta información, se realizó el procesamiento de los registros para obtener, en primera instancia, los valores mínimo, medio y máximo diarios. Posteriormente, estos resultados fueron agregados a escala mensual y anual, con el fin de establecer una síntesis mensual multianual del comportamiento térmico de la estación.

En términos generales, la estación Cerro Cazadores presenta una temperatura media anual de 11.16 °C, con variaciones mensuales moderadas a lo largo del año. Los valores medios mensuales más altos se registran en enero y abril, con 12.04 °C y 11.70 °C, respectivamente, mientras que los valores más bajos se presentan en julio y agosto, con 9.90 °C y 10.17 °C.

Respecto a las temperaturas mínimas, se obtiene un promedio anual de 6.16 °C. Los menores valores se presentan en agosto y julio, con 5.01 °C y 5.71 °C, respectivamente, mientras que el mayor valor mínimo mensual se registra en mayo, con 6.83 °C. Este comportamiento evidencia condiciones más frías durante el periodo de mitad de año.

En cuanto a las temperaturas máximas, la estación registra un promedio anual de 22.46 °C. El mayor valor mensual se presenta en enero, con 25.09 °C, seguido de abril con 23.96 °C y noviembre con 23.63 °C. Los valores máximos más bajos se presentan entre junio y agosto, con registros entre 20.06 °C y 20.33 °C, coincidiendo con el periodo de menor temperatura media mensual

Figura 4-31 P Temperatura mensual multianual – Estación La Fiscala (2120000107)



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max	25.09	23.47	23.30	23.96	21.48	20.27	20.33	20.06	22.31	23.09	23.63	22.47
Prom	12.04	11.51	11.59	11.70	11.57	10.79	9.90	10.17	10.64	11.25	11.18	11.53
Min	5.73	6.41	6.62	6.40	6.83	6.36	5.71	5.01	5.81	6.25	6.75	6.06

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

En síntesis, la estación Cerro Cazadores presenta un régimen térmico relativamente uniforme, con una temperatura media anual de 11.16 °C. Los valores medios más altos se concentran al inicio del año, con máximo en enero (12.04 °C), mientras que el periodo más frío se presenta entre julio y agosto, alcanzando el menor promedio mensual en julio (9.90 °C). Las temperaturas mínimas muestran su menor valor en agosto (5.01 °C), y las máximas mensuales alcanzan su mayor registro en enero (25.09 °C). En general, el comportamiento térmico evidencia variaciones estacionales moderadas, sin contrastes extremos marcados entre temporadas.

4.6 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y DE CAMBIO CLIMÁTICO

4.6.1 METODOLOGÍA

Se recopila y evalúa la información disponible de estaciones hidrometeorológicas localizadas en el entorno del polígono objeto de estudio. La selección preliminar consideró criterios de proximidad espacial, representatividad climática, longitud de registro, disponibilidad de información y calidad de los datos observados. Para el polígono 3, localizado en la localidad de Usaquén se consideró la siguiente estación:

- Estación 2120000139: registro mensual de precipitación para el periodo 2018–2026.

La selección definitiva de estaciones se realizó posteriormente mediante la evaluación de calidad, completitud temporal y consistencia estadística de los registros disponibles. Debido a la ausencia de estaciones climatológicas o meteorológicas con registros de temperatura representativos para el polígono estudiado, la caracterización climática se desarrolla principalmente a partir de información de precipitación.

En consecuencia, los análisis asociados al cambio climático se complementaron mediante información oficial producida por IDEAM, IDIGER y otros instrumentos institucionales disponibles para Bogotá D.C.

Respecto a las series históricas de precipitación, éstas fueron sometidas a un proceso de control de calidad orientado a verificar su consistencia temporal y estadística:

- Identificación de registros faltantes e inconsistencias temporales.
- Verificación de continuidad de los registros.
- Evaluación de la completitud anual y mensual de las series.
- Análisis exploratorio de valores atípicos y posibles errores de registro.
- Generación de estadísticas descriptivas de calidad de los datos.

Mientras que la caracterización se desarrolla mediante el análisis de diferentes indicadores de precipitación orientados a describir el régimen pluviométrico del polígono evaluado.

- Cálculo de la precipitación acumulada mensual (Pm).
- Incorporación de curvas IDF oficiales empleadas en Bogotá para la caracterización
- de eventos extremos de precipitación.

- Cálculo de la precipitación máxima mensual (Pmáx).
- Estimación de módulos climatológicos mensuales.
- Normalización de las series para facilitar la comparación estacional.
- Identificación de periodos húmedos y secos.
- Evaluación de condiciones de déficit y exceso hidrológico.

Para el análisis de variabilidad climática, se evaluó la posible influencia de la variabilidad climática interanual sobre el comportamiento de la precipitación mediante el análisis de la relación entre las series observadas y los fenómenos El Niño y La Niña:

- Identificación de periodos asociados a fases ENSO.
- Evaluación del comportamiento de la precipitación bajo condiciones Niño, Niña y Neutral.
- Análisis de déficit y exceso hidrológico asociados a la variabilidad climática.
- Estimación de factores relativos de ajuste para diferentes escenarios climáticos.

Finalmente, la evaluación de cambio climático se desarrolló a partir de la revisión de escenarios oficiales disponibles para Bogotá D.C., considerando la ausencia de registros locales de temperatura representativos para el polígono analizados:

- Revisión de escenarios oficiales de cambio climático.
- Identificación de tendencias proyectadas de precipitación.
- Análisis de horizontes temporales 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100.
- Interpretación de posibles efectos sobre las condiciones hidrológicas del polígono evaluados.

Se evaluó la información de precipitación disponible en la estación Escuela Pedagógica Experimental (2120000139), localizada dentro del área de influencia del polígono analizado.

La estación contiene registros entre octubre de 2000 y mayo de 2026; sin embargo, la disponibilidad efectiva de información se concentra entre octubre de 2018 y mayo de 2026, periodo durante el cual la serie presenta una elevada continuidad temporal.

La Figura 4-32 muestra la distribución temporal de los registros y los periodos con ausencia de datos. Aunque la completitud calculada sobre el periodo total contenido en la base de datos es del 29.03 %, este valor se encuentra condicionado por la ausencia de registros

previos al inicio efectivo de operación de la estación. Considerando exclusivamente el periodo comprendido entre octubre de 2018 y mayo de 2026, la serie presenta una completitud del 97.31%, evidenciando una adecuada continuidad temporal y una muy baja proporción de datos faltantes.

Los registros disponibles permiten identificar de manera confiable la variabilidad pluviométrica reciente del área de estudio, incluyendo la distribución temporal de las lluvias, la ocurrencia de eventos de precipitación intensa y los patrones de estacionalidad característicos de la zona. Asimismo, la longitud y calidad de la serie resultan suficientes para el cálculo de módulos pluviométricos, la evaluación de déficits de precipitación y la caracterización de la variabilidad climática.

En consecuencia, los análisis posteriores corresponden al periodo efectivo de observación disponible (2018–2026) y permiten describir adecuadamente las condiciones hidrometeorológicas recientes asociadas a los procesos de inestabilidad potencialmente inducidos por la lluvia.

Figura 4-32 Continuidad temporal y distribución de datos faltantes – Estación Escuela Pedagógica Experimental



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

4.6.2 COMPARACIÓN NORMALIZADA DE MÓDULOS MENSUALES

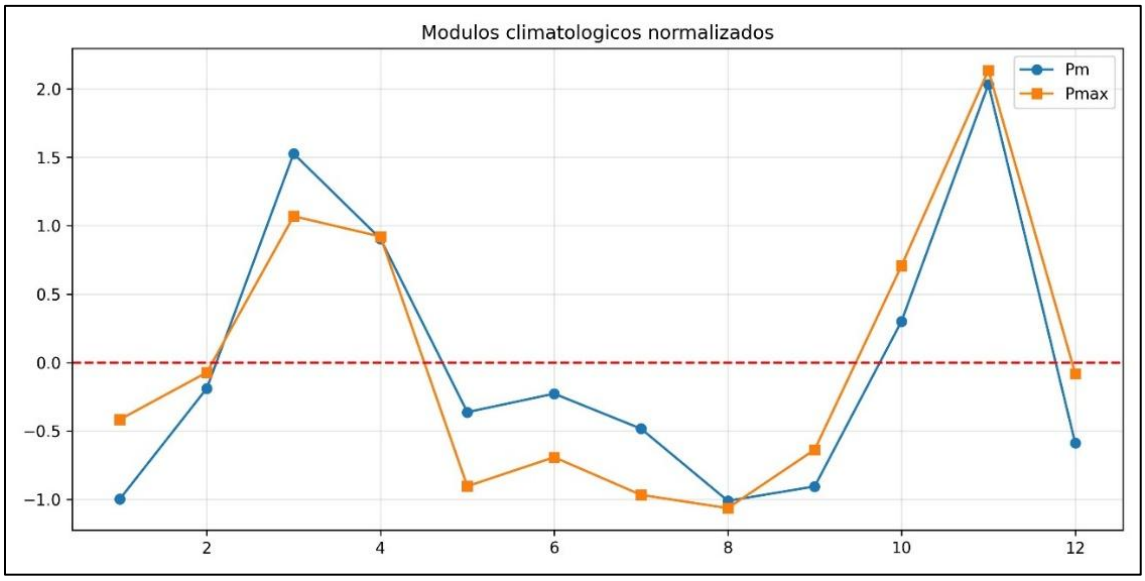
Con el fin de comparar el comportamiento estacional de la precipitación acumulada mensual (Pm) y la precipitación máxima mensual (Pmáx), se normalizaron los módulos climatológicos mediante unidades de desviación estándar. Este procedimiento permite analizar simultáneamente ambas variables independientemente de sus magnitudes absolutas y facilita la identificación de coincidencias o diferencias en los periodos de mayor

y menor actividad hidrológica.

Los valores positivos representan meses con precipitaciones superiores al comportamiento medio anual, mientras que los valores negativos corresponden a periodos relativamente secos o con menor ocurrencia de eventos intensos de precipitación.

La Figura 4-33 muestra la comparación entre los módulos climatológicos normalizados de precipitación acumulada mensual y precipitación máxima mensual para la estación Escuela Pedagógica Experimental.

Figura 4-33 Comparación normalizada de los módulos climatológicos de precipitación acumulada mensual (Pm) y precipitación máxima mensual (Pmáx) – Estación Escuela Pedagógica Experimental



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Se observa una alta correspondencia entre ambas variables a lo largo del ciclo anual. Los máximos positivos se presentan durante marzo y noviembre, mientras que los valores mínimos se registran entre julio y septiembre. La correspondencia observada entre Pm y Pmáx indica que los meses con mayores acumulados de precipitación también concentran los eventos diarios más intensos, sugiriendo una sincronía entre los procesos de acumulación de humedad y la ocurrencia de lluvias extremas.

4.6.3 DÉFICIT HIDROLÓGICO

El análisis de déficit hidrológico se desarrolló con el propósito de identificar periodos

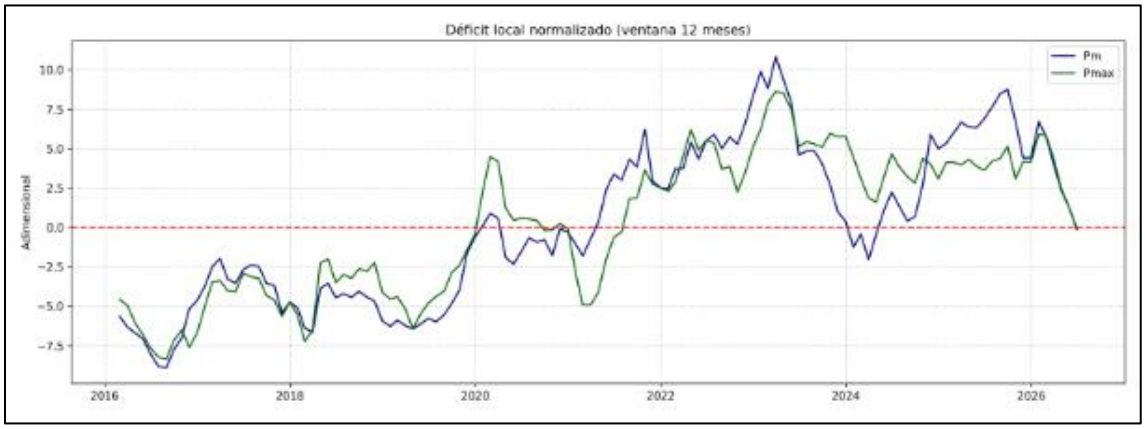
prolongados de déficit y exceso de precipitación, así como evaluar la persistencia temporal de condiciones relativamente secas o húmedas en el área de estudio. Para ello se calcularon dos indicadores complementarios: el déficit local normalizado y el déficit acumulado.

El déficit local normalizado se obtuvo mediante una ventana móvil de 12 meses aplicada a las anomalías de precipitación respecto a la climatología mensual, permitiendo identificar fluctuaciones de corto y mediano plazo alrededor del comportamiento esperado. Por su parte, el déficit acumulado se calculó mediante la suma acumulada de las desviaciones respecto al promedio, permitiendo reconocer tendencias persistentes de exceso o déficit hidrológico.

La Figura 4-34 presenta la evolución del déficit local normalizado para la Estación Escuela Pedagógica Experimental. Los resultados muestran una alternancia entre periodos de déficit y exceso de precipitación alrededor de la condición climática media, con oscilaciones de magnitud moderada a alta tanto para la precipitación acumulada mensual (Pm) como para la precipitación máxima mensual (Pmáx).

Las condiciones relativamente deficitarias predominan entre 2020 y 2022, periodo durante el cual ambas variables presentan valores persistentemente negativos respecto a la climatología de referencia. A partir de finales de 2022 se observa una transición hacia condiciones húmedas, alcanzándose los mayores excesos durante 2023. En particular, la precipitación acumulada mensual registra anomalías positivas significativas durante este periodo, mientras que la precipitación máxima mensual mantiene condiciones de exceso hasta buena parte de 2024.

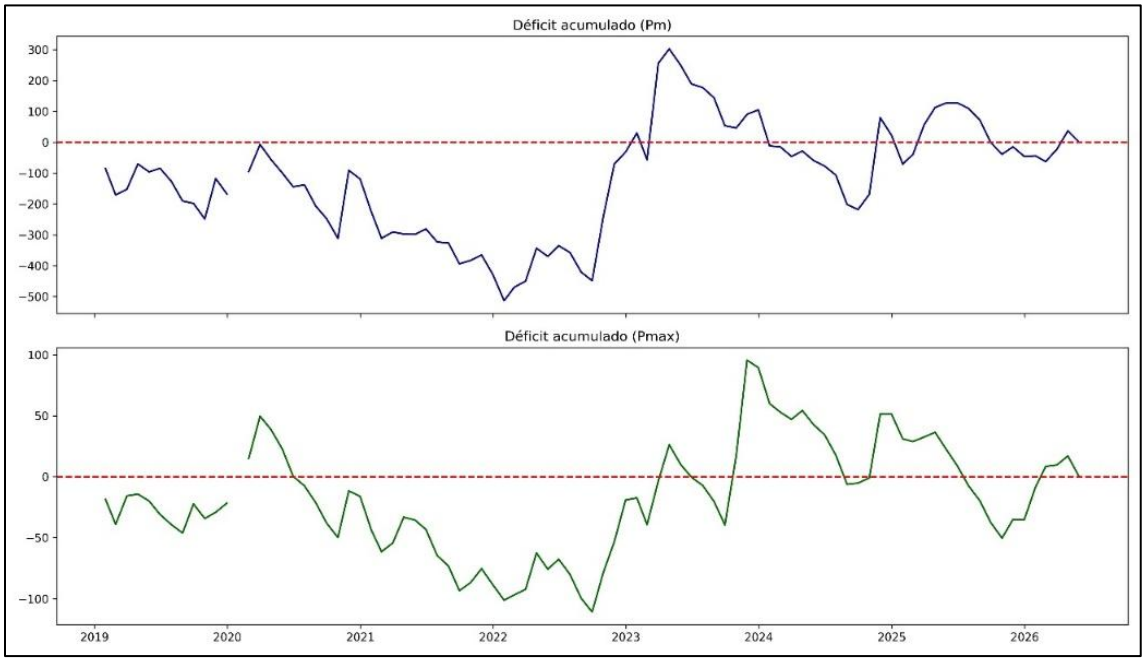
Figura 4-34 Déficit local normalizado para precipitación acumulada mensual (Pm) y precipitación máxima mensual (Pmáx) – Estación Escuela Pedagógica Experimental



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

La Figura 4-35 muestra el comportamiento del déficit acumulado. La trayectoria acumulada evidencia una fase seca dominante entre 2019 y 2022, caracterizada por una disminución progresiva del déficit acumulado tanto para Pm como para Pmáx. Posteriormente se observa una recuperación importante durante 2023 y 2024, cuando ambos indicadores alcanzan valores positivos que reflejan una condición de exceso hídrico relativo respecto al comportamiento medio.

Figura 4-35 Déficit acumulado de precipitación acumulada mensual (Pm) y precipitación máxima mensual (Pmáx) – Estación Escuela Pedagógica Experimental.



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

La Tabla 4-16 resume los principales indicadores derivados del análisis de fases para la estación Escuela Pedagógica Experimental.

Tabla 4-16 Resumen de fases de déficit y exceso hidrológico para la estación Escuela Pedagógica Experimental

Estación	Variable	Def.	Exc.	Duración Máx.	Duración Media
Escuela Pedagógica Experimental	Pm	6	5	30	9.5
	Pmáx	5	4	24	10.0

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Los resultados evidencian una alternancia recurrente entre fases deficitarias y fases de exceso de precipitación en la estación analizada, comportamiento consistente con la influencia de la variabilidad climática interanual sobre el régimen pluviométrico de Bogotá.

La estación muestra una evolución temporal altamente coherente, caracterizada por una transición reciente desde condiciones predominantemente deficitarias hacia condiciones relativamente húmedas durante los últimos años del periodo analizado.

Desde el punto de vista de la amenaza por movimientos en masa, los periodos de exceso identificados constituyen fases potencialmente favorables para la acumulación progresiva de humedad antecedente en ladera, mientras que las transiciones abruptas entre déficit y exceso pueden favorecer cambios significativos en las condiciones hidrológicas del terreno. En consecuencia, estos resultados aportan elementos fundamentales para la evaluación posterior de la variabilidad climática, la influencia del fenómeno ENSO y la construcción de escenarios de factores detonantes asociados a la precipitación.

4.6.4 VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y RELACIÓN CON ENSO

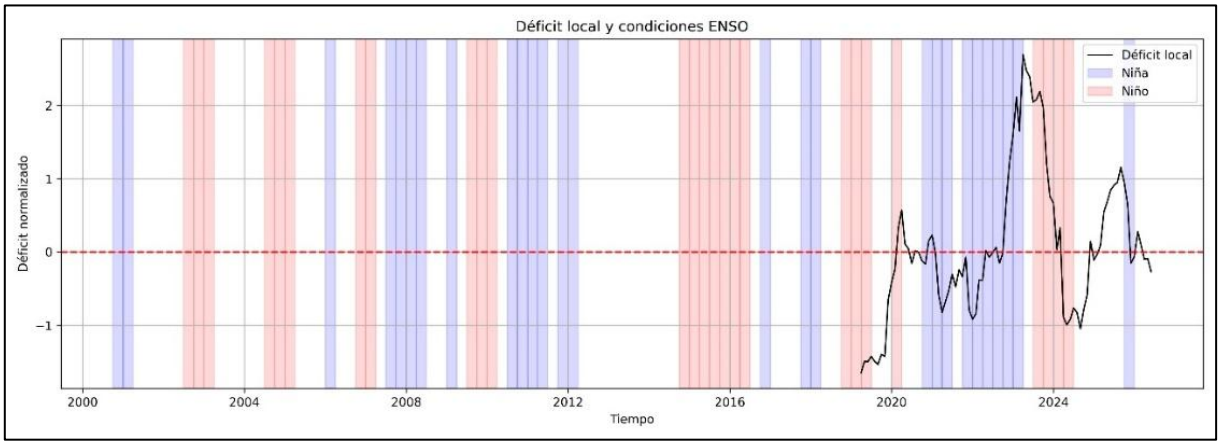
Con el propósito de evaluar la posible influencia de la variabilidad climática interanual sobre el comportamiento de la precipitación en el polígono analizado, se examinó la relación entre el déficit hidrológico local normalizado y las condiciones asociadas al fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENSO).

La clasificación de las fases Niño, Niña y Neutral se realizó a partir del Índice Oceánico Niño Index (ONI), empleando umbrales convencionales de anomalía de temperatura superficial del mar en el océano Pacífico ecuatorial. Posteriormente, se comparó el comportamiento del déficit hidrológico local normalizado y de la precipitación trimestral para cada una de las fases identificadas.

Adicionalmente, se estimaron factores de ajuste relativos definidos como la razón entre la precipitación media observada durante cada condición ENSO y la precipitación media total de la serie analizada. Estos factores permiten cuantificar la magnitud relativa de las variaciones de precipitación asociadas a la variabilidad climática interanual.

La Figura 4-36 presenta la evolución temporal del déficit hidrológico local normalizado para la estación Escuela Pedagógica Experimental (2120700164), junto con los periodos clasificados como fases Niño y Niña.

Figura 4-36 Déficit local normalizado y condiciones ENSO - Estación Escuela Pedagógica Experimental



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

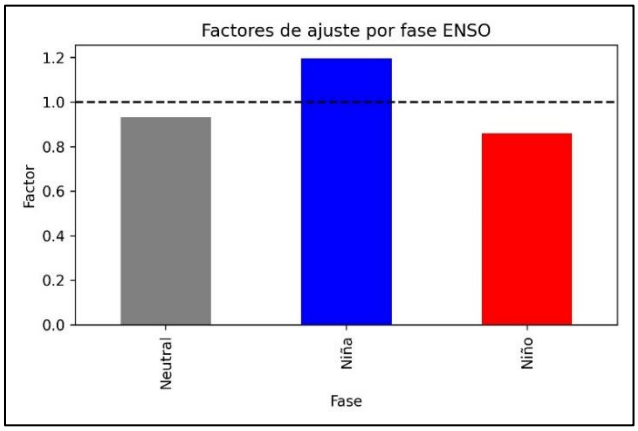
Los resultados muestran una asociación general entre la variabilidad hidrológica local y las distintas fases ENSO. En términos generales, los periodos clasificados como La Niña coinciden con condiciones relativamente más húmedas, mientras que las fases El Niño tienden a asociarse con condiciones deficitarias o reducciones temporales de la precipitación.

La respuesta más evidente se observa durante el evento La Niña prolongado desarrollado entre 2020 y 2023, periodo durante el cual el déficit normalizado experimenta una transición desde condiciones próximas a la neutralidad hacia anomalías positivas significativas. Los mayores excesos hidrológicos de la serie se registran durante 2023, cuando el déficit normalizado supera valores de dos unidades de desviación estándar respecto a la climatología de referencia. Por el contrario, durante el evento El Niño 2023–2024 se observa una disminución importante de las anomalías positivas y el retorno a condiciones próximas o ligeramente inferiores al promedio climatológico.

La Figura 4-37 muestra los factores de ajuste estimados para cada fase ENSO. Los factores obtenidos muestran un incremento relativo de la precipitación durante las condiciones La Niña (factor = 1.196), mientras que las fases El Niño presentan una disminución respecto al promedio climatológico (factor = 0.858). Las condiciones Neutrales registran un factor de 0.931, indicando un comportamiento cercano a la media histórica de la serie. Estos resultados evidencian una respuesta coherente con la observada en las demás estaciones

analizadas y confirman la influencia de la variabilidad climática inter- anual sobre el comportamiento hidrológico del sector.

Figura 4-37 Factores de ajuste de precipitación asociados a las fases ENSO para la Estación Escuela Pedagógica Experimental.



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

4.6.5 ESCENARIOS HIDROLÓGICOS ASOCIADOS A ENSO

Los resultados obtenidos en el análisis de variabilidad climática permiten construir escenarios hidrológicos representativos asociados a las fases Niño, Niña y Neutral. Estos escenarios se fundamentan en los factores de ajuste derivados de la relación entre la precipitación observada y las diferentes fases del fenómeno ENSO.

Los factores obtenidos representan la variación relativa de la precipitación respecto a la condición climatológica media de cada polígono. Valores superiores a la unidad indican incrementos de precipitación asociados a una determinada fase climática, mientras que valores inferiores a uno representan reducciones relativas de la disponibilidad hídrica.

Para el polígono 3, los resultados indican que las fases Niña se asocian con incrementos de precipitación cercanos al 20% respecto al promedio climatológico, mientras que las fases Niño presentan reducciones aproximadas del 15%.

En consecuencia, pueden definirse tres escenarios hidrológicos de referencia:

- **Escenario Niño:** factor de ajuste igual a 0.858.
- **Escenario Neutral:** factor de ajuste igual a 0.931.

- **Escenario Niña:** factor de ajuste igual a 1.196.

4.6.6 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Con el fin de incorporar una perspectiva de largo plazo en la evaluación hidrológica del polígono estudiado, se revisaron los escenarios oficiales de cambio climático disponibles para Bogotá D.C. y su área de influencia.

El análisis se fundamentó en los Escenarios de Cambio Climático de la Cuarta Comunicación Nacional de Colombia desarrollados por el IDEAM y en la actualización de los Escenarios de Cambio Climático para Bogotá 2021–2100 elaborada por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER). Ambos estudios incorporan las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) del Sexto Informe de Evaluación del IPCC y representan actualmente la referencia oficial para el análisis de condiciones climáticas futuras en el Distrito Capital.

Es importante resaltar que los escenarios de cambio climático no constituyen predicciones determinísticas, sino representaciones plausibles de la evolución futura del sistema climático bajo diferentes trayectorias de desarrollo socioeconómico y emisiones de gases de efecto invernadero. En consecuencia, los resultados presentados deben interpretarse como escenarios de referencia para la planificación y la gestión del riesgo.

4.6.6.1 Escenarios regionales de precipitación

Los resultados reportados por el IDEAM indican que la precipitación futura para la región de Bogotá presentar ‘a modificaciones tanto en la magnitud total anual como en la distribución temporal de las lluvias.

A escala anual, los escenarios proyectan incrementos progresivos de precipitación a lo largo del siglo XXI. Para la primera mitad del siglo se estiman aumentos generalmente comprendidos entre 5 % y 20%, mientras que hacia finales del siglo podrían alcanzarse incrementos superiores al 20% e incluso cercanos al 50% en algunos sectores bajo los escenarios de mayores emisiones.

Sin embargo, los cambios proyectados no corresponden únicamente a un aumento uniforme de la precipitación, sino a una redistribución estacional de las lluvias, caracterizada por incrementos en algunos meses y reducciones en otros. Esta modificación del régimen

pluviométrico resulta particularmente relevante para la evaluación de procesos asociados a movimientos en masa, debido a su influencia sobre la humedad antecedente de las laderas y la ocurrencia de eventos intensos de precipitación.

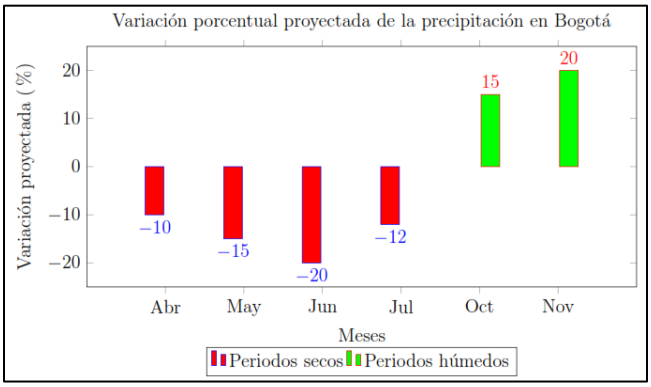
4.6.6.2 Escenarios para Bogotá D.C.

La actualización de escenarios realizada por IDIGER permitió evaluar con mayor detalle la evolución proyectada de la precipitación para Bogotá durante el periodo 2021–2100.

Los resultados muestran una tendencia general al aumento de la precipitación anual, acompañada de cambios importantes en la distribución mensual. Los mayores incrementos proyectados se concentran durante algunos meses tradicionalmente húmedos, particularmente entre abril y junio, así como en sectores específicos durante septiembre. Por el contrario, algunos escenarios muestran reducciones durante octubre, noviembre y diciembre, especialmente hacia finales de siglo.

La Figura 4-38 resume de manera conceptual las principales variaciones proyectadas para los meses de mayor relevancia hidrológica en Bogotá.

Figura 4-38 Proyección de variación porcentual de la precipitación (-20% a +20%) en periodos húmedos y secos de Bogotá



Fuente: Consorcio Adaptación 2025 con información de IDIGER

Las modificaciones proyectadas en el régimen de precipitación tienen implicaciones directas sobre las condiciones hidrológicas que controlan los procesos asociados a movimientos en masa.

Los incrementos proyectados en precipitación durante meses tradicionalmente húmedos

pueden favorecer:

- Mayor acumulación de humedad antecedente.
- Incremento de la infiltración en laderas.
- Aumento de la escorrentía superficial.
- Mayor persistencia de condiciones de saturación del suelo.

De forma complementaria, la redistribución temporal de las lluvias podría generar una mayor concentración de la precipitación en determinados periodos del año, aumentando la probabilidad de ocurrencia de eventos de lluvia capaces de actuar como factores detonantes de movimientos en masa.

Por otra parte, los periodos con reducción proyectada de precipitación podrían favorecer condiciones de déficit hidrológico temporal. Sin embargo, estas disminuciones no necesariamente compensan los incrementos observados en los meses húmedos, razón por la cual el balance anual proyectado tiende a mostrar incrementos netos de precipitación para gran parte del Distrito Capital.

Los escenarios oficiales de cambio climático indican que la precipitación futura en Bogotá probablemente estará caracterizada por una mayor variabilidad hidrológica y por modificaciones en la distribución temporal de las lluvias. Aunque existen diferencias entre escenarios y horizontes temporales, la señal predominante corresponde a incrementos de precipitación anual acompañados de una reorganización estacional del régimen pluviométrico.

Desde la perspectiva de la gestión del riesgo por movimientos en masa, estos resultados sugieren la necesidad de considerar escenarios futuros con mayores niveles de humedad antecedente y con una posible intensificación de las condiciones favorables para la generación de escorrentía e infiltración en laderas.

En consecuencia, los escenarios de cambio climático constituyen un insumo fundamental para la evaluación de factores detonantes asociados a la precipitación y para la formulación de medidas de adaptación orientadas a fortalecer la resiliencia de los territorios analizados frente a las condiciones climáticas futuras.

4.6.6.3 Ajuste de curvas IDF bajo escenarios de cambio climático

Con el propósito de incorporar los posibles efectos del cambio climático sobre la ocurrencia de eventos extremos de precipitación, se realizó un ajuste de las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) para el polígono analizado.

El ajuste se fundamentó en el escenario climático de referencia adoptado en el presente estudio, correspondiente a un incremento representativo del 20% en los valores de precipitación asociados a los horizontes futuros evaluados para Bogotá D.C. Este porcentaje fue seleccionado a partir de los escenarios oficiales desarrollados por IDEAM e IDIGER y representa una condición conservadora dentro de los rangos de incremento proyectados para la precipitación.

La intensidad ajustada se estima mediante:

$$I_{CC} = F_{CC} \cdot I$$

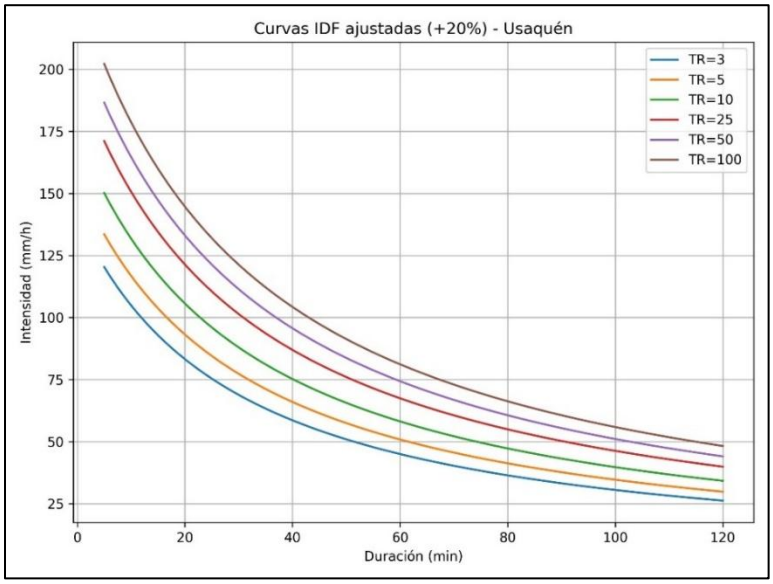
- I_{CC} corresponde a la intensidad ajustada por cambio climático.
- I corresponde a la intensidad obtenida a partir de la curva IDF actual.
- $F_{CC} = 1.20$ representa el factor de ajuste adoptado para el escenario climático considerado.

El procedimiento permite construir curvas IDF ajustadas que representan una condición hidrológica futura potencialmente más exigente, manteniendo las relaciones de frecuencia y duración definidas en las curvas originales.

La Figura 4-39 presenta las curvas IDF ajustadas por cambio climático para el Polígono 3, mientras que la Tabla 4-17 resume algunas intensidades ajustadas representativas.

Los resultados muestran incrementos sistemáticos de intensidad para todas las dura- cines y periodos de retorno analizados. Para una duración de 5 minutos y un periodo de retorno de 100 años, la intensidad aumenta de 168.47 mm/h en la condición actual a 202.16 mm/h bajo el escenario de cambio climático. De manera similar, para una duración de 120 minutos y el mismo periodo de retorno, la intensidad aumenta de 40.18 mm/h a 48.22 mm/h. Estos resultados representan escenarios hidrológicos futuros potencialmente más exigentes para la evaluación de escorrentía superficial, infiltración y factores detonantes asociados a la precipitación.

Figura 4-39 Curvas IDF ajustadas mediante un factor climático de 1.20 – Polígono 3.



Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Tabla 4-17 Intensidades IDF ajustadas – Polígono 3

Duración (min)	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
5	150.15	171.07	186.56	202.16
15	117.31	134.48	147.25	159.93
30	87.94	101.39	111.40	121.28
60	58.13	67.44	74.33	81.14
120	34.20	39.90	44.04	48.22

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

4.6.7 ESCENARIOS DETONANTES ASOCIADOS A LA PRECIPITACIÓN

La precipitación constituye uno de los principales factores detonantes de movimientos en masa en ambientes de ladera, dado que controla procesos de infiltración, generación de escorrentía superficial, variación del contenido de humedad y posibles incrementos de presión de poros en el suelo.

Los resultados hidrológicos obtenidos permiten definir escenarios representativos de comportamiento pluviométrico que pueden ser utilizados posteriormente para la evaluación de factores detonantes asociados a la lluvia.

Dichos escenarios definidos integran la información derivada del análisis de precipitación histórica, déficit hidrológico, variabilidad climática asociada al fenómeno ENSO y escenarios

oficiales de cambio climático.

4.6.7.1 Escenario base o condición histórica de referencia

El escenario base corresponde a las condiciones promedio observadas en las series históricas de precipitación. Este escenario representa el comportamiento hidrológico de referencia frente al cual se comparan los demás escenarios construidos. En términos relativos se adopta un factor de ajuste igual a uno (1).

El escenario base representa las condiciones medias de precipitación observadas durante el periodo instrumental analizado y constituye la situación de referencia para la interpretación de los demás escenarios.

4.6.7.2 Escenario asociado a condiciones Niño

Los resultados del análisis ENSO evidenciaron una reducción relativa de la precipitación durante las fases Niño. Para el polígono 3 se obtuvo un factor de ajuste de 0.858, valor que representa escenarios relativamente más secos que la condición promedio observada.

Desde una perspectiva hidrológica, este escenario se asocia con menores aportes de precipitación, reducción de la humedad antecedente y menor probabilidad de saturación prolongada del suelo.

4.6.7.3 Escenario asociado a condiciones Niña

Las condiciones Niña mostraron la relación más consistente con incrementos de precipitación y disminución de los déficits hidrológicos. El factor obtenido fue de 1.196, indicando incrementos relativos importantes respecto a las condiciones medias observadas.

Desde la perspectiva de la amenaza por movimientos en masa, este escenario constituye la condición hidrológica más relevante dentro de la variabilidad climática observada, debido a que favorece mayores niveles de humedad antecedente y una mayor disponibilidad hídrica sobre las laderas.

4.6.7.4 Escenario de cambio climático

Los escenarios oficiales de cambio climático desarrollados por IDEAM e IDIGER indican una tendencia general hacia incrementos de precipitación anual en Bogotá durante el siglo

XXI, acompañada por una redistribución temporal de las lluvias. Se identifican aumentos típicos entre 5 % y 20% durante buena parte del siglo y mayores incrementos bajo algunos escenarios de emisiones hacia finales del periodo de análisis.

Con fines de planificación y construcción de escenarios hidrológicos de referencia, se adoptó un factor representativo de incremento del 20%. Este escenario no corresponde a una predicción puntual, sino a una representación simplificada de los cambios proyectados para la precipitación en Bogotá bajo escenarios climáticos futuros.

$$F_{CC} = 1.20$$

4.6.7.5 ESCENARIO COMPUESTO DE SENSIBILIDAD HIDROLÓGICA

Con el propósito de evaluar una condición potencialmente más exigente desde la perspectiva hidrológica, se construyó un escenario compuesto mediante la combinación de:

- Condición Niña.
- Incremento de precipitación asociado al cambio climático.

El factor compuesto se calcula como:

$$F_{Compuesto} = F_{Niña} \cdot F_{CC}$$

Este escenario representa una condición de sensibilidad hidrológica elevada y permite evaluar de manera conservadora posibles incrementos futuros en la disponibilidad hídrica asociados a la superposición de variabilidad climática natural y cambio climático.

Tabla 4-18 Escenario compuesto Niña + Cambio Climático.

Estación	Factor Compuesto	Incremento Relativo
Escuela Pedagógica Experimental	1.44	44%

Fuente: Consorcio Adaptación 2025

Es importante resaltar que este escenario no constituye una predicción climática futura, sino una herramienta de análisis orientada a explorar rangos potenciales de respuesta hidrológica.

5 PLAN DE ACCIÓN

5.1 IDENTIFICACIÓN DEL ROL ESTRATÉGICO NATURALEZA (VISIÓN DE PAISAJE)

La identificación del rol estratégico de la naturaleza corresponde a una etapa de interpretación territorial orientada a reconocer la función que cumplen los elementos naturales y naturales intervenidos en la configuración actual y futura del Polígono 3 – Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque, quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara. Esta lectura parte de las condiciones ambientales, ecológicas, hidrológicas y territoriales identificadas en el área de estudio, con el propósito de establecer una visión de paisaje acorde con las características y dinámicas propias del sector.

En el Polígono 3, la naturaleza constituye un componente estructurante del territorio debido a la presencia de coberturas naturales y naturales intervenidas, el sistema de drenaje asociado a las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara y su integración con el Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque. Estas condiciones determinan una estrecha relación entre la estructura ecológica, el funcionamiento hidrológico y las dinámicas de ocupación existentes, por lo que su manejo debe orientarse a mantener las condiciones que soportan la funcionalidad ambiental del territorio.

A partir de esta lectura, el escenario futuro del polígono debe priorizar el mantenimiento de las condiciones naturales existentes y la prevención de procesos que puedan generar pérdida de cobertura, fragmentación o deterioro de los elementos ambientales estratégicos. De igual manera, la visión de paisaje debe considerar la relación entre los ecosistemas y el sistema hídrico, especialmente frente a las dinámicas de erosión, socavación y transporte de sedimentos identificadas en determinados sectores.

En este sentido, se reconocen como referentes para la construcción de la visión futura del Polígono 3 la conservación de la estructura ecológica, la protección de la funcionalidad hidrológica y el mantenimiento de la conectividad y continuidad del paisaje natural. Estos conceptos serán desarrollados posteriormente como elementos orientadores para la definición del escenario futuro y la priorización de las alternativas de Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Bajo este enfoque, el rol estratégico de la naturaleza se entiende como la capacidad del

territorio para mantener sus funciones ecológicas e hidrológicas y, simultáneamente, aportar a la adaptación frente al cambio climático y a la reducción de las condiciones de riesgo. La visión futura del Polígono 3 deberá, por tanto, reconocer la conservación como criterio rector del paisaje, complementada con intervenciones puntuales donde las condiciones particulares del territorio requieran medidas de manejo.

5.1.1 CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA

La conservación de la estructura ecológica se orienta a mantener las condiciones naturales que sustentan la funcionalidad ambiental del territorio, mediante la protección de las coberturas vegetales, los ecosistemas de importancia ecológica y los elementos que permiten la continuidad de los procesos naturales. En este contexto, la conservación busca evitar la pérdida y fragmentación de las coberturas existentes y mantener las condiciones que soportan la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

En el Polígono 3, este concepto adquiere relevancia por la presencia de coberturas naturales y naturales intervenidas que se encuentran articuladas con el Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque. La permanencia de estas coberturas permite conservar la estructura ambiental del sector y mantener su función como espacio de conexión entre diferentes elementos naturales.

La conservación de la estructura ecológica implica priorizar la protección de las coberturas existentes, prevenir nuevas transformaciones sobre áreas naturales y mantener las condiciones ambientales que permitan la continuidad de los procesos ecológicos. De esta manera, la naturaleza se consolida como un elemento estructurante del paisaje y como un componente fundamental para la resiliencia del territorio frente a las dinámicas de cambio climático.

5.1.1.1 Funciones de la estructura ecológica

La estructura ecológica contribuye al funcionamiento del territorio mediante diferentes funciones ambientales:

- Mantiene espacios de hábitat y refugio para diferentes especies, favoreciendo la conservación de la biodiversidad.
- Permite la continuidad de los procesos ecológicos mediante la conexión entre

coberturas y elementos naturales.

- Contribuye a la protección del suelo y al mantenimiento de condiciones ambientales que favorecen la regulación natural del territorio.
- Favorece la permanencia de servicios ecosistémicos asociados a la vegetación y a los sistemas naturales presentes.

5.1.2 PROTECCIÓN DE LA FUNCIONALIDAD HIDROLÓGICA DEL PAISAJE

La protección de la funcionalidad hidrológica del paisaje se orienta a mantener las condiciones naturales mediante las cuales el agua se infiltra, escurre y se distribuye dentro del territorio, conservando la relación entre las coberturas naturales, los drenajes y las áreas asociadas al sistema hídrico. Este concepto reconoce el agua como un elemento estructurante del paisaje y como un componente fundamental para la adaptación frente a eventos hidroclimáticos.

En el Polígono 3, este concepto adquiere especial importancia debido a la presencia de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara y a los procesos de erosión, socavación y transporte de sedimentos identificados en determinados sectores. La conservación de las condiciones naturales de estos sistemas permite mantener su funcionamiento y disminuir la alteración progresiva de los procesos hidrológicos del territorio.

La protección de la funcionalidad hidrológica busca conservar las áreas asociadas a los drenajes, evitar modificaciones innecesarias de los cauces y mantener las coberturas vegetales que contribuyen a regular la escorrentía. De esta manera, se pretende conservar la capacidad natural del paisaje para responder frente a eventos de precipitación y reducir la generación o intensificación de procesos erosivos.

5.1.2.1 Funciones hidrológicas del paisaje

La conservación de las condiciones naturales del paisaje contribuye a la regulación del recurso hídrico mediante:

- Intercepción de parte de la precipitación por la cobertura vegetal, disminuyendo el impacto directo sobre el suelo.
- Aumento de la rugosidad superficial, favoreciendo una reducción de la velocidad de la escorrentía.

- Favorecimiento de la infiltración y retención de agua en el suelo.
- Regulación del flujo hacia los sistemas de drenaje y disminución de la pérdida de suelo asociada a la escorrentía superficial.

5.1.3 CONECTIVIDAD Y CONTINUIDAD DEL PAISAJE NATURAL

La conectividad y continuidad del paisaje natural se orientan a mantener la relación funcional entre los diferentes elementos naturales presentes en el territorio, evitando que las intervenciones existentes o futuras generen una fragmentación que limite los procesos ecológicos. Este concepto busca reconocer el paisaje como un sistema integrado en el que las coberturas naturales cumplen funciones que trascienden los límites de cada unidad individual.

En el Polígono 3, este concepto adquiere relevancia debido a su integración con el Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque y a la presencia de elementos intervenidos, principalmente vías y sectores de tejido urbano discontinuo, que se encuentran asociados a la matriz natural. En este contexto, la conservación de la continuidad del paisaje permite evitar que estos elementos generen una mayor fragmentación de los ecosistemas.

El mantenimiento de la conectividad implica conservar las áreas naturales existentes, prevenir nuevas ocupaciones o transformaciones sobre ellas y manejar adecuadamente las zonas de transición entre los elementos naturales e intervenidos. De esta forma, se busca mantener un paisaje continuo y funcional que favorezca la conservación de la biodiversidad y el funcionamiento de los procesos ecosistémicos.

5.1.3.1 Funciones de la conectividad ecológica

La continuidad del paisaje natural permite:

- Facilitar el desplazamiento de especies entre diferentes áreas de hábitat.
- Mantener los flujos ecológicos entre las coberturas naturales.
- Reducir los efectos asociados a la fragmentación de los ecosistemas.
- Fortalecer la capacidad del territorio para mantener sus funciones ecológicas frente a cambios ambientales y climáticos.

En conjunto, estos tres conceptos permiten orientar la visión futura del Polígono 3 hacia la

conservación de su estructura natural, la protección de su funcionamiento hidrológico y el mantenimiento de la conectividad ecológica, estableciendo las condiciones territoriales sobre las cuales posteriormente se priorizarán las alternativas de Soluciones Basadas en la Naturaleza.

5.2 PRIORIZACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

La priorización de las opciones para el diseño y la implementación de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) en el Polígono 3 se desarrolla a partir de la relación entre las condiciones ambientales, ecológicas e hidrológicas identificadas en el área de estudio, los procesos de erosión, socavación y transporte de sedimentos presentes en determinados drenajes, y el rol estratégico de la naturaleza definido previamente. Esta priorización permite orientar las intervenciones hacia aquellas áreas donde las SbN pueden contribuir de manera efectiva a la conservación de los ecosistemas, la adaptación al cambio climático y la reducción de las condiciones de riesgo.

Este proceso se articula con los lineamientos del Plan de Acción Climática de Bogotá 2020-2050 (PAC), particularmente con las acciones relacionadas con la preservación, conservación y manejo de áreas de importancia ambiental y con la implementación de obras de adaptación al cambio climático bajo criterios de Soluciones Basadas en la Naturaleza. En este sentido, las alternativas priorizadas buscan mantener las funciones ecosistémicas existentes y, de manera complementaria, atender procesos específicos de erosión y dinámica hídrica mediante intervenciones localizadas.

De manera complementaria, la priorización se relaciona con los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial del Distrito Capital, en especial con aquellos orientados a la protección de la estructura ecológica, la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático. Bajo este marco, las intervenciones propuestas buscan ser compatibles con la condición ambiental del Polígono 3 y con su función dentro del Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque, evitando transformaciones innecesarias sobre las áreas naturales.

Para el presente polígono, la priorización se estructura en torno a dos acciones principales. La primera corresponde a la implementación de estrategias para la preservación, conservación, restauración y manejo de áreas protegidas declaradas y otras de interés

ambiental en el contexto de la crisis climática, orientada principalmente a la conservación de las coberturas naturales, el recurso hídrico, los ecosistemas de importancia ecológica y los servicios ecosistémicos asociados al territorio. La segunda corresponde a la implementación de obras de adaptación al cambio climático a partir de los criterios de SBN en los proyectos de infraestructura que se realicen en el Distrito Capital, enfocada en los drenajes donde se requiere reducir la energía del flujo, controlar procesos erosivos y manejar el transporte de sedimentos mediante soluciones de reducción del riesgo y, cuando las condiciones técnicas lo permitan, obras de bioingeniería.

En este sentido, la priorización no se plantea como una selección aislada de intervenciones, sino como un proceso orientado a articular la conservación de la estructura natural del polígono con el manejo puntual de las condiciones de riesgo identificadas. Las SbN priorizadas buscan responder a las características específicas del Polígono 3, concentrando las intervenciones físicas en los sectores donde sean necesarias y procurando que estas sean compatibles con la conservación de las coberturas naturales, la funcionalidad hidrológica y la conectividad ecológica del territorio.

5.2.1 ACCIONES Y SUBACCIONES CON ARTICULACIÓN A LAS SBN

El Plan de Acción Climática define un total de 15 acciones relacionadas con la adaptación climática y de ellas se desprenden subacciones, a continuación, se indican las acciones y subacciones que se relacionan con la conceptualización de las SbN con aplicación al polígono de estudio

Tabla 5-1 Acciones y Subacciones del PAC relacionadas con el polígono

Acción PAC	Subacción aplicable	Relación con el Polígono 3	Fichas asociadas
2. Implementación de estrategias para la preservación, conservación, restauración y manejo de áreas protegidas declaradas y otras de interés ambiental en el contexto de la crisis climática	2.1. Formular, ejecutar y hacer el seguimiento al plan distrital participativo de restauración y rehabilitación ecológica o recuperación ambiental del distrito capital para la conservación del recurso hídrico, los ecosistemas de alto valor ecológico, los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, para contribuir al incremento de la resiliencia socio-ecosistémica de la ciudad y	Su aplicación se orienta principalmente a la preservación y conservación de las coberturas naturales, el recurso hídrico, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, priorizando la prevención del deterioro y la transformación de las áreas de importancia ambiental.	Ficha 1. Protección y conservación de ecosistemas de importancia ecológica.

Acción PAC	Subacción aplicable	Relación con el Polígono 3	Fichas asociadas
	la región.		
15. Implementación de obras de adaptación al cambio climático a partir de criterios de SbN en los proyectos de infraestructura que se realicen en el Distrito Capital	15.1. Construir obras para la reducción del riesgo y adaptación a la crisis climática, involucrando criterios de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).	Se relaciona con los drenajes específicos donde se han identificado procesos de erosión, socavación, transporte de sedimentos y condiciones asociadas a la dinámica de escorrentía. Las intervenciones estarán orientadas a la reducción de energía del flujo y al control de sedimentos, procurando disminuir el riesgo sin afectar innecesariamente las condiciones naturales del territorio.	Desarrollo de los diseños de los sitios críticos identificados
	15.2. Implementar obras de bioingenieria para el manejo de drenajes, que reduzcan los riesgos existentes y futuros y se garantice la sostenibilidad del territorio en funcion de la adaptacion al cambio climatico	Se relaciona directamente con los sectores donde el manejo de los drenajes requiere medidas de protección frente a procesos erosivos y de reducción de la energía del flujo. La bioingeniería podrá incorporarse como complemento a las obras de manejo hidráulico, utilizando soluciones compatibles con las condiciones ecológicas del Conector Ecosistémico y procurando mantener la funcionalidad natural de los drenajes.	Desarrollo de los diseños de los sitios críticos identificados

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 FICHAS PARA LAS PROPUESTAS CONCEPTUALES DE LAS SBN

A continuación, se relaciona la propuesta conceptual relacionada con el polígono 3

Elemento trasversal: Conservación de la estructura ecológica.		
Servicio ecosistémico para mejorar: Regulación		
Relación con el PAC	**Acción: 2**	**Subacción: 2.1**
Desafío Social (UICN): a) Reducción del riesgo de desastres. b) Adaptación al cambio climático. c) Pérdida de biodiversidad y degradación ambiental.		
Enfoque de SbN: Reducción de Riesgos de Desastres Basada en Ecosistemas (Eco-RRD). Adaptación basada en ecosistemas. Gestión de áreas protegidas y restauración ecológica.		
1.Objetivos: Proteger y conservar los ecosistemas y coberturas naturales presentes en el Polígono 3, especialmente aquellas asociadas al Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque y al sistema hídrico de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara, con el fin de mantener sus funciones ecológicas, hidrológicas y de conectividad, contribuyendo a la adaptación al cambio climático y a la reducción de riesgos asociados a procesos erosivos e hidroclimáticos.		
Ubicación: Áreas naturales y naturales intervenidas del Polígono 3, principalmente en sectores asociados al Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque y al sistema de drenaje de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara, priorizando aquellas áreas donde se requiere mantener la cobertura vegetal y las condiciones naturales del territorio.		
2. Enfoque: De acuerdo con los enfoques definidos por la UICN para la aplicación de SbN, la propuesta conceptual, que se aplica en esta ficha es; Protección en lo que respecta a la Gestión de Áreas Protegidas **Enfoques de protección de los ecosistemas** Las áreas protegidas se consideran una estrategia para la conservación de la biodiversidad basándose en la planificación del territorio, cumpliendo con la función de asegurar la función y los servicios ecosistémicos en áreas naturales o seminaturales a largo plazo; por tales motivos la intervención humana es restringida dependiendo de la zona protegida en favor del medio natural, mientras se proteja el hábitat, las especies y las funciones ecosistémicas se mantendrá una belleza natural y los recursos naturales como abastecimiento. La protección de los ecosistemas contribuye de manera significativa a la mitigación del cambio climático, ya que aporta depósitos de carbono en suelos y vegetación tal como afirma la UICN (2017) citada por Ayazo-Toscano & Hernández-Palma **Fuente especificada no válida.**: *"los ecosistemas contribuyen a reducir el riesgo de desastres de múltiples formas, especialmente como infraestructura natural como humedales, bosques y sistemas costeros puede reducir la exposición física ante eventos climáticos extremos —como las inundaciones, la erosión costera, las marejadas, los ciclones, los incendios forestales y las sequías— al servir como barreras naturales o amortiguadores que mitigan los impactos de estas amenazas"* *Gestión de Áreas Protegidas*		

El Protected Areas Management (PMA) es un espacio definido, reconocido, dedicado y gestionado con medios legales para lograr la conservación a largo plazo de la naturaleza con los servicios ecosistémicos y los valores culturales asociados (UICN, 2016). Las Actividades de conservación permiten actividades de gestión como poda de árboles, aprovechamiento de recursos no maderables o eliminación de especies invasoras cuyo objetivo es mantener un área en un estado natural o seminatural específico **Fuente especificada no válida.**.

El pago por servicios ambientales surge como un método para aportar soluciones a las fallas de mercado, cuyo objetivo es corregir las externalidades presentes en la mayoría de los bienes y servicios ambientales, permitiendo una gestión de protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales más sustentable (González & Riascos, 2007).

3. Definición de actividades (Herramientas o Técnicas):

Las acciones propuestas para esta ficha se orientan a conservar las coberturas existentes, recuperar sectores degradados y mejorar la funcionalidad ecológica de la ladera. Se plantean las siguientes actividades:

a) Delimitación y señalización de áreas de protección y conservación.
Identificar los sectores de mayor valor ecológico dentro de la matriz seminatural, especialmente aquellos con coberturas vegetales continuas, función de conectividad o cercanía a áreas degradadas, para evitar nuevas intervenciones, ocupaciones o afectaciones.

b) Conservación de coberturas vegetales existentes.
Implementar medidas de protección y manejo preventivo sobre las coberturas naturales y naturales intervenidas, evitando su pérdida, fragmentación o transformación y favoreciendo la permanencia de la vegetación existente.

c) Protección de drenajes y áreas asociadas al sistema hídrico.
Establecer medidas de manejo orientadas a conservar las condiciones naturales de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara y sus áreas asociadas, evitando intervenciones que alteren su funcionamiento y contribuyendo al control natural de la escorrentía y los procesos erosivos.

d) Manejo preventivo de factores de deterioro ambiental.
Identificar y realizar seguimiento a factores que puedan generar pérdida o deterioro de las coberturas naturales, tales como nuevas ocupaciones, modificaciones del suelo, disposición inadecuada de residuos o intervenciones sobre los elementos naturales.

e) Mantenimiento de la conectividad ecológica.
Identificar sectores estratégicos para la continuidad de las coberturas naturales y prevenir intervenciones que puedan generar fragmentación o afectar la conexión funcional de los elementos que conforman el Conector Ecosistémico.

f) Seguimiento y monitoreo de las condiciones ambientales.
Identificar senderos o pasos no controlados que generen fragmentación, compactación del suelo o erosión, con el fin de definir cierres blandos, reconducción de tránsito peatonal o recuperación vegetal de áreas afectadas.

g) Sensibilización y apropiación para la conservación.
Promover acciones de información y sensibilización orientadas al reconocimiento del valor ambiental del área y a la prevención de actividades que puedan afectar las coberturas naturales, el sistema hídrico y la conectividad ecológica.

3.1Requiere estudio	**Si**	**No**	
	x		

3.2 Descripción del estudio

Para la implementación de esta ficha se requiere una verificación detallada en campo que permita establecer el estado actual de las coberturas naturales y naturales intervenidas, identificar los elementos de importancia ecológica y reconocer las condiciones del sistema hídrico y los principales factores que puedan generar su deterioro.

El estudio deberá incluir como mínimo:

a) Delimitación cartográfica de las coberturas naturales y naturales intervenidas.
b) Identificación de áreas y elementos de importancia ecológica asociados al Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque.
c) Identificación y caracterización de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara y de las áreas asociadas a su sistema de drenaje.
d) Identificación de sectores con evidencias de transformación, fragmentación, ocupación o deterioro de las coberturas naturales.
e) Identificación de factores de presión sobre los ecosistemas y elementos naturales del polígono.
f) Identificación de sectores estratégicos para la conservación de la conectividad ecológica.
g) Registro de las condiciones actuales mediante información cartográfica, fotográfica y de campo que permita establecer una línea base para el seguimiento de las áreas priorizadas.

3.3 Requiere estudios de exploración de suelos y ecosistemas	SI	NO
		x

5. Escalabilidad y replicabilidad

La ficha es replicable en otros sectores del Distrito Capital que presenten ecosistemas y coberturas naturales de importancia ecológica, sistemas hídricos asociados y condiciones que requieran mantener la funcionalidad ambiental del territorio. Su implementación puede desarrollarse de manera progresiva, priorizando inicialmente las áreas con mayor valor ecológico y aquellas donde la conservación de las coberturas naturales contribuya a mantener la conectividad ecológica y la regulación de los procesos hidrológicos.
La escalabilidad dependerá de la disponibilidad y estado de las áreas de interés ambiental, la articulación institucional, la aceptación comunitaria y la compatibilidad de las medidas de conservación con los instrumentos de planificación y el régimen de manejo ambiental aplicable. En todos los casos, las actuaciones deberán privilegiar la protección de las condiciones naturales existentes, el mantenimiento de la conectividad ecológica y la conservación de las funciones ecosistémicas, evitando transformaciones innecesarias del territorio.

6. Seguimiento y Monitoreo

El seguimiento deberá orientarse a verificar la efectividad de las acciones de **protección y conservación de los ecosistemas y de los elementos naturales asociados al Polígono 3**. Se recomienda evaluar periódicamente:
a) Estado y permanencia de las coberturas naturales y naturales intervenidas.
b) Conservación de las áreas de importancia ecológica asociadas al Conector Ecosistémico Cerro Virrey Neuque.
c) Estado y condiciones de las quebradas La Chorrera, Santa Ana y Santa Bárbara y sus áreas asociadas.
d) Presencia y evolución de procesos de erosión, socavación y transporte de sedimentos.
e) Pérdida, fragmentación o transformación de las coberturas naturales.
f) Presencia de residuos, nuevas ocupaciones u otras afectaciones antrópicas.
g) Estado de la conectividad y continuidad de las coberturas naturales.
El monitoreo deberá involucrar a las entidades responsables del manejo ambiental y, cuando sea posible, a la comunidad del sector, con el fin de fortalecer la apropiación y protección de los

ecosistemas, identificar oportunamente nuevas presiones sobre el territorio y garantizar la permanencia de las funciones ecológicas e hidrológicas del Polígono 3.

7. Evaluación

La evaluación de la ficha deberá realizarse a partir del cumplimiento de los objetivos de conservación, recuperación de cobertura y reducción de degradación. Como indicadores mínimos se proponen:

Indicador	Unidad sugerida
Área con acciones de protección o conservación	m² o ha
Área revegetalizada o rehabilitada	m² o ha
Número de individuos vegetales establecidos	unidad
Porcentaje de supervivencia vegetal	%
Área con control de retamo espinoso	m² o ha
Número de focos erosivos tratados	unidad
Número de senderos informales controlados o recuperados	unidad
Número de jornadas de mantenimiento o monitoreo	unidad

La evaluación deberá considerar no solo el establecimiento inicial de las acciones, sino su permanencia en el tiempo, la reducción de presiones antrópicas y la recuperación progresiva de la funcionalidad ecológica de la matriz seminatural.

8. Fuentes Bibliográficas

- Alcaldía Mayor de Bogotá. Plan de Acción Climática de Bogotá 2020-2050.
- Decreto 555 de 2021. Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Portafolio de Soluciones basadas en la Naturaleza como mecanismo de mitigación y adaptación al cambio climático.
- UICN. Soluciones basadas en la naturaleza para abordar desafíos sociales globales.
- Secretaría Distrital de Ambiente. Lineamientos y guías para restauración ecológica, rehabilitación y recuperación ambiental en Bogotá.

5.2.3 ZONAS PRIORIZADAS

En esta sección se aterrizan la aplicación de las propuestas conceptuales de acuerdo con los conceptos definidos anteriormente. La definición de las zonas responde al trabajo realizado por el equipo profesional de la consultoría en base a los insumos como; ortofotografía a 2021 de alta resolución espacial, DEM (EAAB), ortofotografía a 2025 (CATASTRO), salidas de campo, topografía detallada ejecutada, revisión multitemporal revisión de los conceptos, diagnóstico, estudios realizados por el IDIGER, usos del suelo o áreas definidas en el POT (Decreto 555 de 2021).

5.2.3.1 Sitio critico 1

El Sitio Crítico 1, localizado sobre la vía Camino del Meta, corresponde a un proceso activo de flujo de tierras de origen gravitacional, con una longitud aproximada de 400 m y un ancho cercano a 50 m. El proceso se desarrolla desde la parte alta de la ladera, donde se presenta una cicatriz de desprendimiento de aproximadamente 5 m de altura, y continúa hacia la parte baja atravesando la vía.

La inestabilidad está asociada principalmente a la presencia permanente de agua superficial, la infiltración y concentración de escorrentía, la meteorización de la Formación Labor y Tierna y la presencia de suelos arenosos susceptibles a movilización. Estas condiciones favorecen la saturación del terreno, la erosión y la reactivación del flujo.

El diagnóstico fue complementado mediante exploración directa e indirecta, incluyendo sondeos SPT, tomografías de resistividad eléctrica y líneas sísmicas de refracción con ensayos MASW, permitiendo caracterizar las condiciones geológicas y geotécnicas del subsuelo. Las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y geotécnicas identificadas para este sitio serán analizadas con mayor profundidad en los capítulos posteriores, donde se desarrollarán la evaluación detallada del proceso, sus factores condicionantes y detonantes y las alternativas de intervención correspondientes.

5.2.3.2 Sitio critico 2

El Sitio Crítico 2, localizado dentro de la ladera natural del Polígono 3, corresponde a un proceso activo de flujo de detritos originado por un deslizamiento planar, con una longitud superior a 500 m y un ancho de afectación variable entre 3 m y 14 m. El proceso se desarrolla desde la parte alta del terreno, donde se presenta un escarpe principal sobre la superficie de estratificación de la Formación Labor (grado II), y continúa hacia la parte baja encauzado por el drenaje natural, sin interceptar infraestructura vial ni viviendas.

La inestabilidad está asociada principalmente al control estructural de diaclasas y estratificación coincidentes con la pendiente del talud, la presencia de escorrentía superficial que genera meteorización diferencial entre la Formación Labor y Tierna (grado III), y el proceso de gelifracción por condiciones térmicas de páramo. Estas condiciones favorecen el desprendimiento de bloques rocosos junto a la capa de suelo residual, la erosión del sustrato y el encauzamiento del flujo.

El diagnóstico fue complementado mediante la integración geomorfológica y estructural de campo, incluyendo el levantamiento de estaciones geológicas (E14, E15 y E16), junto con la interpretación de modelos digitales del terreno y ortoimágenes del sector. Las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas identificadas para este sitio permiten diferenciar claramente las zonas de desprendimiento, transporte y depositación acumulada en la ladera natural, sirviendo de base para la caracterización detallada del fenómeno y el planteamiento de alternativas de intervención en las secciones posteriores del estudio.

5.2.3.3 Sitio critico 3

El Sitio Crítico 3, localizado en la localidad de Usaquén en inmediaciones del sendero Santa Ana – La Aguadora, corresponde a un proceso activo de flujo de detritos, con una longitud aproximada de 70 m y un ancho cercano a 12 m. El proceso se desarrolla desde la parte alta de la ladera, donde se presenta un escarpe principal en la estación E22 generado sobre el macizo rocoso, y continúa hacia la parte baja a un costado del recorrido peatonal hasta depositarse al borde del camino y encauzarse en la quebrada Santa Ana.

La inestabilidad está asociada principalmente a la saturación del horizonte de meteorización, el avanzado grado de degradación de la Formación Arenisca Dura (Ksgd) y la presencia de clastos rocosos heterométricos embebidos en una matriz arenosa de baja cohesión. Estas condiciones favorecen la reducción de la resistencia al corte del terreno, la pérdida de sustentación del material clástico y la reactivación del flujo.

El diagnóstico fue complementado mediante reconocimiento de campo e interpretación geomorfológica, apoyados en la caracterización estructural y litológica de las estaciones geológicas E21 y E24 para definir la unidad geotécnica de suelo residual sobre arenisca dura (Sr/Rdd). Las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas identificadas en esta zona de estudio serán analizadas con mayor profundidad en los capítulos posteriores, donde se desarrollarán la evaluación detallada del proceso, sus factores condicionantes y las alternativas de intervención correspondientes.

5.3 ANÁLISIS Y FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE FINANCIAMIENTO PARA LAS SBN

La implementación de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) propuestas para el Polígono 3 requiere una estrategia de financiamiento articulada con los instrumentos distritales de acción climática y con las competencias de las entidades responsables de la gestión ambiental, hídrica y del riesgo. En este sentido, el Plan de Acción Climática de Bogotá 2020-2050 (PAC) constituye el principal referente para orientar la identificación de alternativas de financiación, al establecer un esquema en el que la ejecución de las acciones climáticas se sustenta en recursos de inversión, recursos propios de las entidades responsables y, para determinados casos, recursos del FONDIGER. Asimismo, el PAC contempla la incorporación de estas necesidades en la planeación plurianual de las entidades y la posibilidad de gestionar fuentes adicionales cuando los recursos disponibles resulten insuficientes.

Para el Polígono 3, la aplicación de este esquema debe responder a su enfoque predominantemente de conservación, complementado con intervenciones puntuales para el manejo de las condiciones hidrológicas y de los procesos de erosión, socavación y transporte de sedimentos identificados en el territorio. Por esta razón, las alternativas de financiamiento deben concentrarse en las líneas del PAC relacionadas con la conservación y conectividad ecosistémica, la reducción de la vulnerabilidad climática, la protección de fuentes hídricas y el manejo de aguas lluvias y escorrentías, ámbitos que guardan correspondencia con las actuaciones previstas para el polígono.

Bajo este marco, la financiación de las medidas podrá estructurarse mediante la articulación de recursos de las entidades distritales competentes, de acuerdo con la naturaleza de cada actuación. Las acciones orientadas a conservar la estructura ecológica y mantener la funcionalidad de las quebradas podrán vincularse con los recursos destinados a gestión ambiental y adaptación climática, mientras que las intervenciones de adecuación de drenajes, reducción de energía y contención de sedimentos podrán articularse con recursos asociados al manejo hídrico y, cuando su alcance corresponda a objetivos de reducción del riesgo y cambio climático, evaluar su concurrencia con mecanismos como el FONDIGER. El PAC contempla dentro de su programación financiera entidades con competencias

ambientales, hídricas y de gestión del riesgo, lo que proporciona un marco para este tipo de articulación institucional.

En consecuencia, para el Polígono 3 se propone un esquema de financiamiento flexible y concurrente, en el cual las fuentes se definan según el alcance y competencia institucional de cada medida, priorizando aquellas inversiones que permitan mantener las condiciones naturales del territorio y, simultáneamente, reducir su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático. De esta manera, el PAC funciona como marco general para orientar la gestión de recursos, sin asociar de manera directa sus montos programados a las intervenciones específicas del Polígono 3.

Tabla 5-2 Posibles fuentes o mecanismos de articulación y financiamiento

Línea de intervención priorizada	**Posibles fuentes o mecanismos de articulación**
Conservación de la estructura ecológica y coberturas naturales	Recursos de inversión y recursos propios de las entidades con competencia ambiental, articulados con las líneas del PAC relacionadas con conservación, conectividad ecosistémica y adaptación al cambio climático. Posibilidad de concurrencia con otras fuentes de financiación climática, según las competencias institucionales y la disponibilidad presupuestal.
Protección y manejo de drenajes y áreas asociadas al sistema hídrico	Recursos de inversión y recursos propios de las entidades con competencia ambiental e hídrica, articulados con las acciones del PAC relacionadas con la protección y manejo de fuentes hídricas, aguas lluvias y escorrentía, así como con la reducción de la vulnerabilidad climática.
Adecuación de drenajes mediante obras de reducción de energía	Recursos de inversión de las entidades competentes en gestión del riesgo, manejo hídrico y adaptación al cambio climático. Posible articulación con FONDIGER, cuando las actuaciones se enmarquen en sus competencias y objetivos de reducción del riesgo y cambio climático, además de otras fuentes que puedan gestionarse para la acción climática.
Contención y manejo de sedimentos en drenajes	Recursos asociados a la gestión del riesgo, manejo hídrico y adaptación climática, orientados al control de erosión, socavación y transporte de sedimentos. Posibilidad de concurrencia de recursos institucionales y otras fuentes de financiación climática, según el alcance de las intervenciones.
Seguimiento, monitoreo y mantenimiento de las acciones de conservación	Recursos de inversión y recursos propios de las entidades responsables, incorporados en sus instrumentos de planeación y programación presupuestal, para garantizar la permanencia y funcionalidad ecológica e hidrológica de las intervenciones implementadas.

Fuente: Elaboración propia a partir del PAC 2020-2050

6 DISEÑOS

6.1 DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA A RESOLVER

6.1.1 SITIO CRÍTICO 1

6.1.1.1 Metodología de diagnóstico y exploración

Para la definición del modelo geológico-geotécnico del sitio crítico correspondiente al Polígono 3 y la evaluación de las condiciones que controlan la estabilidad del terreno, el diagnóstico se fundamentó en el análisis integrado de la información geomorfológica, geológica y geotécnica obtenida mediante exploración directa e indirecta. La caracterización superficial fue complementada con la interpretación del modelo digital de terreno, ortoimágenes y el reconocimiento de campo, permitiendo identificar las principales unidades geomorfológicas, los procesos morfodinámicos activos y las condiciones de inestabilidad presentes en el área.

Con el propósito de caracterizar las condiciones del subsuelo, se ejecutaron tres (3) sondeos de exploración con ensayo de penetración estándar (SPT), alcanzando profundidades entre 3,8 m y 7,5 m, mediante los cuales se definió la estratigrafía del terreno y se obtuvieron muestras para ensayos de laboratorio. De manera complementaria, se realizaron tres (3) tomografías de resistividad eléctrica y dos (2) líneas sísmicas de refracción con ensayos MASW, las cuales permitieron establecer la continuidad lateral de las unidades geotécnicas, identificar el perfil de velocidades sísmicas y delimitar la transición entre los suelos residuales, la roca altamente meteorizada y el macizo rocoso competente de la Formación Labor y Tierna.

6.1.1.2 Caracterización del movimiento y factores detonantes

Con base en el análisis geomorfológico, el reconocimiento de campo y los resultados de la exploración geotécnica, se determinó que la problemática del sitio corresponde a un flujo de tierras de origen gravitacional, cuyo desarrollo está condicionado por las condiciones geológicas del macizo rocoso, el grado de meteorización de los materiales y la presencia de un flujo permanente de agua proveniente de la parte alta de la ladera.

El proceso se inicia en la corona del deslizamiento, donde se identifica una cicatriz de desprendimiento de aproximadamente 5 m de altura, asociada a la pérdida de material

correspondiente a suelos arenosos. A partir de esta zona se desarrolla un flujo de tierras con una longitud aproximada de 35 m, el cual deja expuesto un afloramiento de roca de la Formación Labor y Tierna en estado de meteorización grado IV (Rblt IV). Aguas abajo, el proceso continúa con un nuevo tramo de flujo de tierras que desciende por la ladera, atraviesa la vía Camino del Meta y continúa hacia la parte baja del terreno, evidenciando un proceso de movilización activo favorecido por la presencia permanente de agua superficial.

Como factores condicionantes y detonantes del proceso se identifican principalmente:

- La presencia de un flujo permanente de agua proveniente de la parte alta de la ladera, que incrementa el contenido de humedad del suelo y favorece la pérdida de resistencia de los materiales.
- La infiltración de agua de lluvia y la concentración de la escorrentía superficial a lo largo del cauce natural.
- El avanzado grado de meteorización de la roca de la Formación Labor y Tierna (Rblt IV), que facilita su degradación y la generación de suelo residual.
- La presencia de depósitos de suelos arenosos con baja cohesión, susceptibles a movilizarse en condiciones de saturación.
- El control estructural ejercido por la disposición de los estratos, cuando esta favorece la dirección del movimiento, así como la acción erosiva del drenaje natural.

6.1.1.3 Características morfodinámicas del proceso identificado

- **Escarpe principal:** Se identifica una cicatriz de desprendimiento localizada en la parte alta de la ladera, con una altura aproximada de 5 m, donde se produjo el desprendimiento inicial del suelo arenoso. Inmediatamente por debajo de esta corona aflora roca de la Formación Labor y Tierna en grado de meteorización IV, la cual permanece parcialmente expuesta debido a la remoción del material suprayacente.
- **Cuerpo afectado:** El material movilizado corresponde principalmente a suelos residuales de composición arenosa, que se desplazan en forma de flujo de tierras. A lo largo del recorrido se observa la alternancia entre sectores con afloramiento de

roca altamente meteorizada y zonas donde continúa el material deslizado, evidenciando un proceso de remoción que involucra tanto suelo residual como roca alterada.

- **Superficie de afectación:** El proceso presenta una longitud aproximada de 400 m y un ancho cercano a 50 m. El flujo se desarrolla desde la parte alta de la ladera, desciende por el terreno natural y atraviesa la vía Camino del Meta, continuando hacia la parte baja del talud. Durante la inspección de campo se evidenció la presencia de un flujo permanente de agua proveniente del sector superior del sitio crítico, el cual controla en gran medida la evolución del movimiento, favoreciendo la saturación de los materiales, la erosión superficial y la reactivación del flujo de tierras.

Figura 6-1 Sitio crítico Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

6.1.1.4 Localización zona de estudio

El sitio crítico se localiza dentro del Polígono 3 en la localidad de Usaquén, específicamente en el sector rural cercano a la zona urbana del barrio San Luis. De manera puntual, el sitio crítico se ubica sobre la vía Camino del Meta, donde el proceso de inestabilidad es visible tanto en la banca superior como en la banca inferior de la vía. El área afectada presenta

una longitud aproximada de 400 m y un ancho cercano a 50 m, evidenciando un deslizamiento que compromete el talud y su entorno inmediato. En la Figura 6-2 se presenta la ubicación general del sitio crítico.

Figura 6-2 Localización sitio critico Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

6.1.2 SITIO CRÍTICO 2

6.1.2.1 Metodología de diagnóstico y exploración

Para la definición del modelo geológico-geotécnico del segundo sitio crítico identificado dentro del Polígono 3, el diagnóstico se fundamentó en el análisis integrado de la información geomorfológica y estructural obtenida mediante el reconocimiento de campo, complementado con la interpretación del modelo digital de terreno y ortoimágenes del

sector. En este sitio el sustrato corresponde predominantemente a macizo rocoso aflorante, por lo cual la caracterización se apoyó en el levantamiento estructural de las estaciones geológicas E14, E15 y E16 y sus respectivos puntos de control.

6.1.2.2 Caracterización del movimiento y factores detonantes

Con base en el reconocimiento de campo y la información estructural recopilada en las estaciones geológicas del sector, se determinó que la problemática del sitio corresponde a un flujo de detritos originado a partir de un deslizamiento de tipo planar, desarrollado a lo largo de la superficie de estratificación sobre rocas de la Formación Labor en grado de meteorización II.

La ocurrencia de deslizamientos planares controlados cuando el plano de discontinuidad presenta una orientación cinemáticamente favorable respecto a la cara del talud condición que se cumple cuando el rumbo del plano de discontinuidad es paralelo o casi paralelo al rumbo de la cara del talud, y el plano de discontinuidad aflora en la cara del talud, lo que significa que su buzamiento es menor que el buzamiento de la cara del talud. En el sitio analizado, esta condición se ve favorecida por el contraste litológico entre la Formación Labor (roca dura, grado II), que suprayace a la Formación Tierna (roca blanda, grado III), configuración que facilita la generación de superficies de desprendimiento asociadas al contacto entre unidades de competencia diferencial.

La roca desprendida junto con la delgada capa de suelo residual suprayacente, fue posteriormente encauzada por el drenaje natural del sector, configurando un movimiento de flujo de detritos de más de 500 m de longitud.

Como factores condicionantes y detonantes del proceso se identifican:

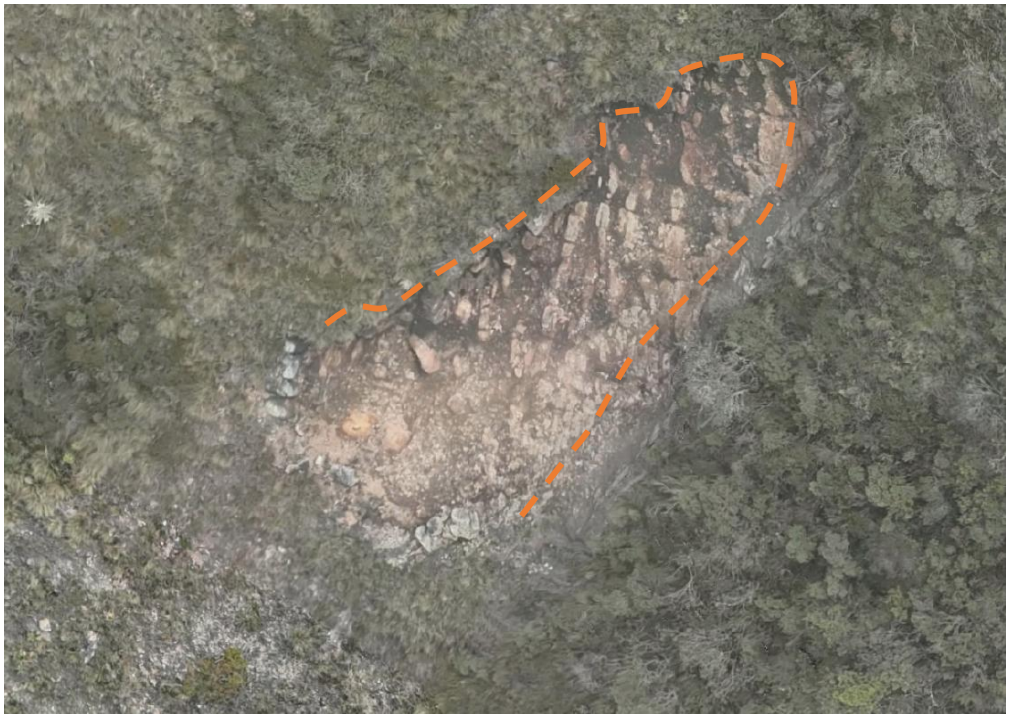
- El control estructural ejercido por la superficie de estratificación y las familias de diaclasamiento, cuya orientación favorece la generación de planos de debilidad coincidentes con la dirección de máxima pendiente del talud.
- La presencia de escorrentía superficial en el sector, que contribuye a la meteorización diferencial de las unidades rocosas y facilita el encauzamiento del material desprendido a través del drenaje natural.
- Los procesos de fracturación por gelifracción documentados en el capítulo de

geología, asociados a las condiciones térmicas propias del ambiente de páramo, que favorecen la degradación progresiva del macizo rocoso.

6.1.2.3 Características morfodinámicas del proceso identificado

- **Escarpe principal:** Corresponde al plano de desprendimiento identificado, generado a lo largo de la superficie de estratificación de la Formación Labor en grado de meteorización II, a partir del cual se desarrolló el mecanismo de falla planar que dio origen al movimiento.
- **Cuerpo afectado:** El material movilizado corresponde a un flujo de detritos compuesto por bloques rocosos de diversa dimensión, producto del desprendimiento inicial, junto con la delgada capa de suelo residual que cubría el macizo rocoso. A lo largo del recorrido se identifican zonas diferenciadas de desprendimiento, transporte y depositación de material, con pérdida generalizada de cobertura vegetal en el área de influencia directa del movimiento.
- **Superficie de afectación:** El proceso presenta una longitud superior a 500 m, con un ancho de afectación variable entre 3 m y 14 m a lo largo del recorrido. El flujo se desarrolla íntegramente dentro de la ladera, sin interceptar infraestructura vial.

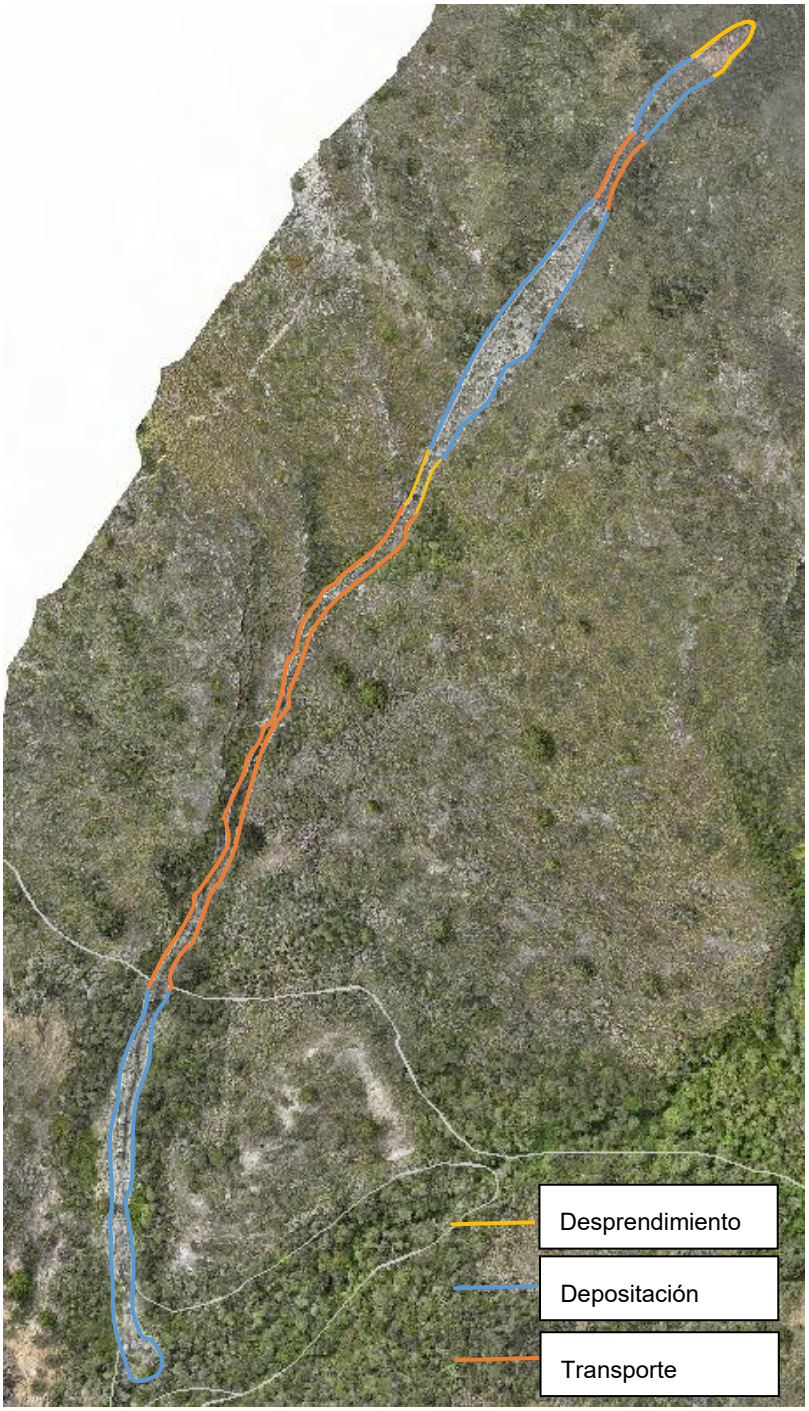
Figura 6-3 Sitio crítico 2 Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

6.1.2.4 Localización zona de estudio

Figura 6-4 Localización sitio critico 2 Polígono 3



Fuente: Elaboración propia

El sitio crítico 2 se localiza en la zona montañosa correspondiente al Polígono 3, en un

sector sin intervención antrópica directa, donde el proceso de inestabilidad se desarrolla íntegramente sobre la ladera natural, sin comprometer infraestructura vial ni unidades de vivienda existentes en el área de influencia. En la Figura 6-4 se presenta la delimitación en planta del proceso, diferenciando la zona de desprendimiento, asociada al escarpe principal; la zona de desprendimiento del suelo, la zona de transporte correspondiente al tramo de encauzamiento del material a lo largo del drenaje natural y la zona de depositación, donde se acumula el material rocoso.

6.1.3 SITIO CRÍTICO 3

6.1.3.1 Metodología de diagnóstico y exploración

La caracterización del tercer sitio crítico identificado dentro del Polígono 3 se fundamentó en el reconocimiento de campo y en la interpretación geomorfológica del sector, complementados con la información estructural y litológica obtenida en las estaciones geológicas E21 y E24, cuya descripción detallada se presenta en el capítulo de geología del presente documento. A partir de dicho levantamiento se definió la unidad geotécnica de suelo residual sobre arenisca dura (Sr/Rdd), correspondiente al horizonte de meteorización desarrollado sobre el macizo rocoso de la Formación Arenisca Dura (Ksgd), unidad sobre la cual se desarrolla el proceso de inestabilidad identificado en la estación E22.

6.1.3.2 Caracterización del movimiento y factores detonantes

Con base en el reconocimiento de campo se determinó que la problemática del sitio corresponde a un flujo de detritos de aproximadamente 70 m de longitud, generado a partir de la saturación y posterior desprendimiento del horizonte de meteorización desarrollado sobre el macizo rocoso de la Formación Arenisca Dura. A diferencia de un flujo de suelo residual homogéneo, el material movilizado corresponde predominantemente a clastos rocosos de diferente tamaño, producto de la desagregación in situ de la arenisca dura por meteorización, embebidos en una matriz residual arenosa de baja cohesión, lo cual confiere al depósito característico de los flujos de detritos originados por descomposición de macizos rocosos competentes.

Como factores condicionantes y detonantes del proceso se identifican:

- La saturación del horizonte de meteorización compuesto por clastos rocosos heterométricos en matriz arenosa, condición que reduce la resistencia al corte del

conjunto y favorece su desprendimiento.

- El avanzado grado de meteorización de la Formación Arenisca Dura en el sector, que genera un material clástico de baja cohesión susceptible a la movilización bajo saturación.

6.1.3.3 Características morfodinámicas del proceso identificado

- **Escarpe principal:** Corresponde a la zona de desprendimiento del horizonte de meteorización identificada en la estación E22, generada sobre el macizo de la Formación Arenisca Dura.
- **Cuerpo afectado:** El material movilizado corresponde a un flujo de detritos compuesto por clastos rocosos de diferente tamaño, producto de la desagregación de la arenisca dura, embebidos en una matriz residual arenosa, el cual se desplaza sobre la superficie del macizo rocoso subyacente hasta ser encauzado por el drenaje natural de la quebrada Santa Ana.
- **Superficie de afectación:** El proceso presenta una longitud aproximada de 70 m y un ancho de afectación cercano a 12 m.

Figura 6-5 Sitio crítico 3 Polígono 3

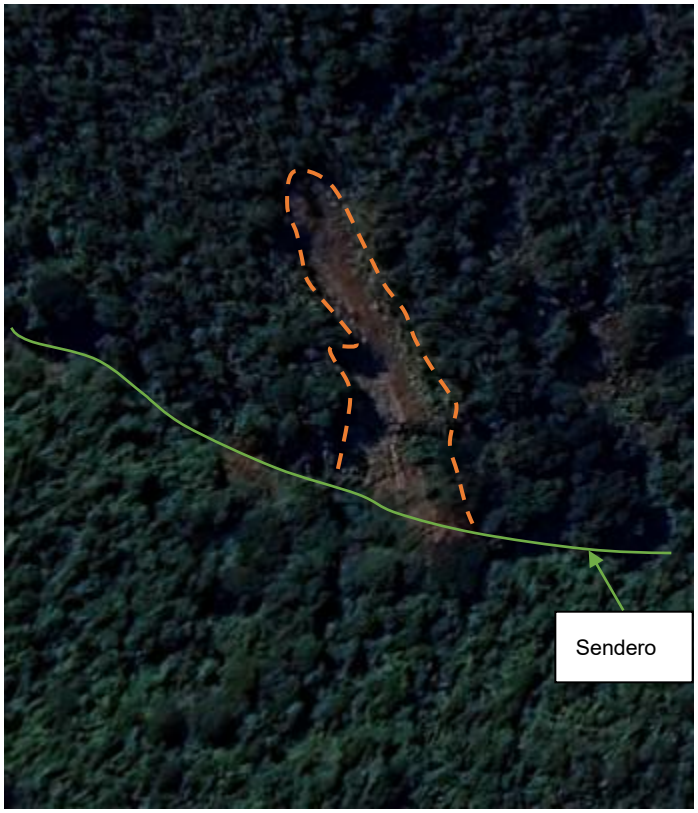


Fuente: Elaboración propia

6.1.3.4 Localización zona de estudio

El sitio crítico se localiza en la localidad de Usaquén, en inmediaciones del sendero Santa Ana – La Aguadora. El flujo de detritos se desarrolla a un costado del recorrido peatonal, con la zona de depositación ubicada al borde del camino.

Figura 6-6 Localización sitio critico 3 Polígono 3

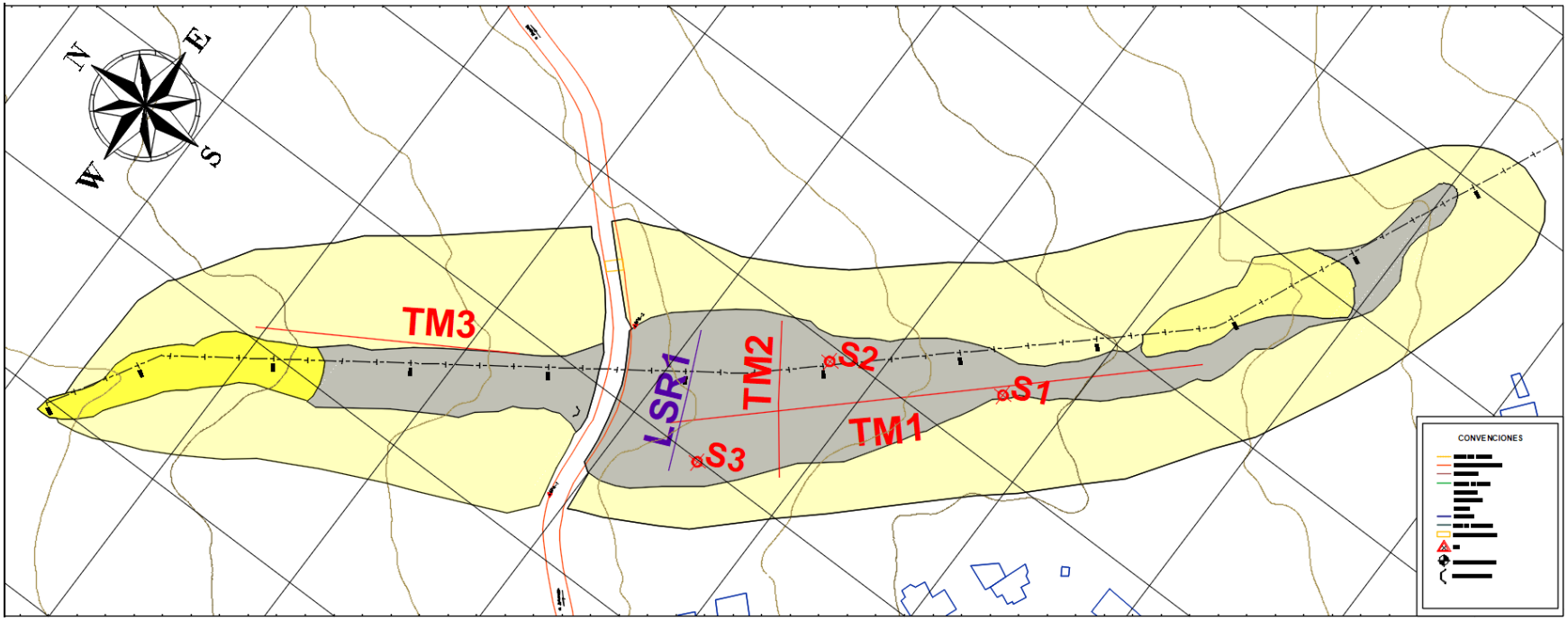


Fuente: Elaboración propia

6.2 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO LOCAL

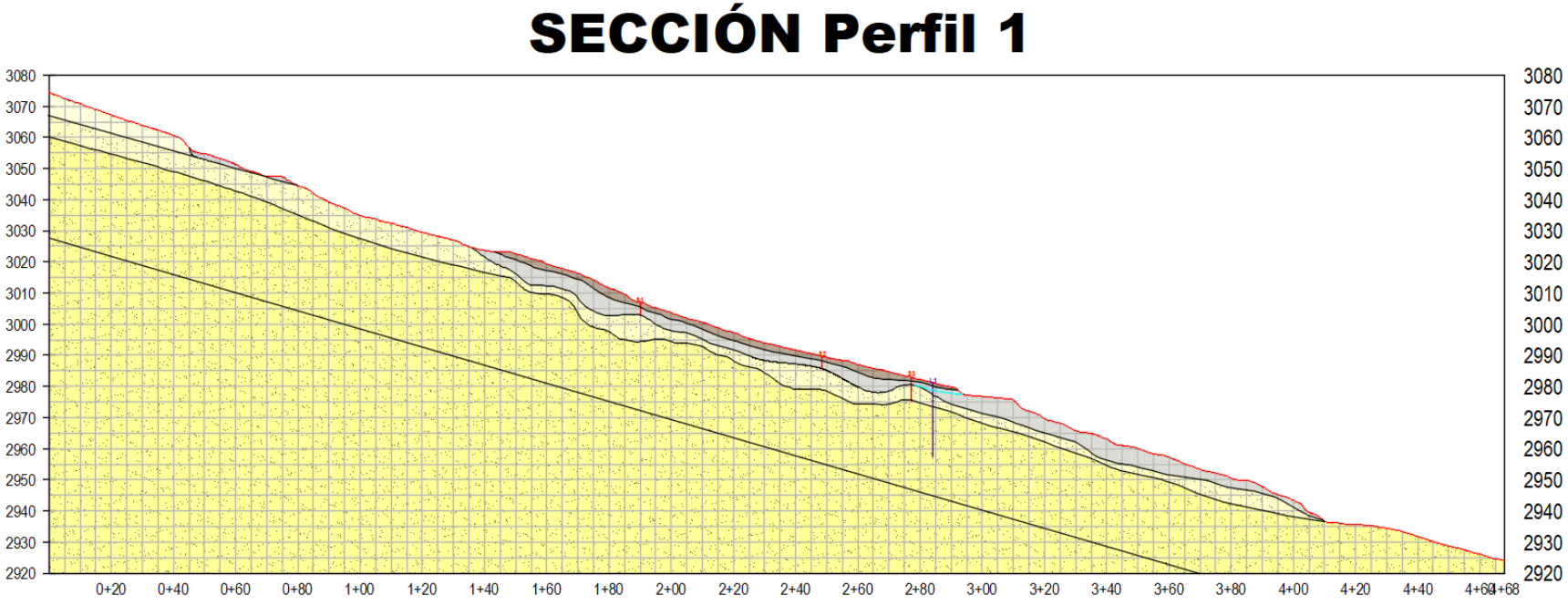
A partir de la información recopila del trabajo de campo y la exploración directa e indirecta se realizan las secciones geológicas-geotecnias, estas secciones constituyen una representación gráfica y descriptiva de las características geotécnicas del subsuelo y se presenta en planta la ubicación de los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

Figura 6-7 Planta - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 1)



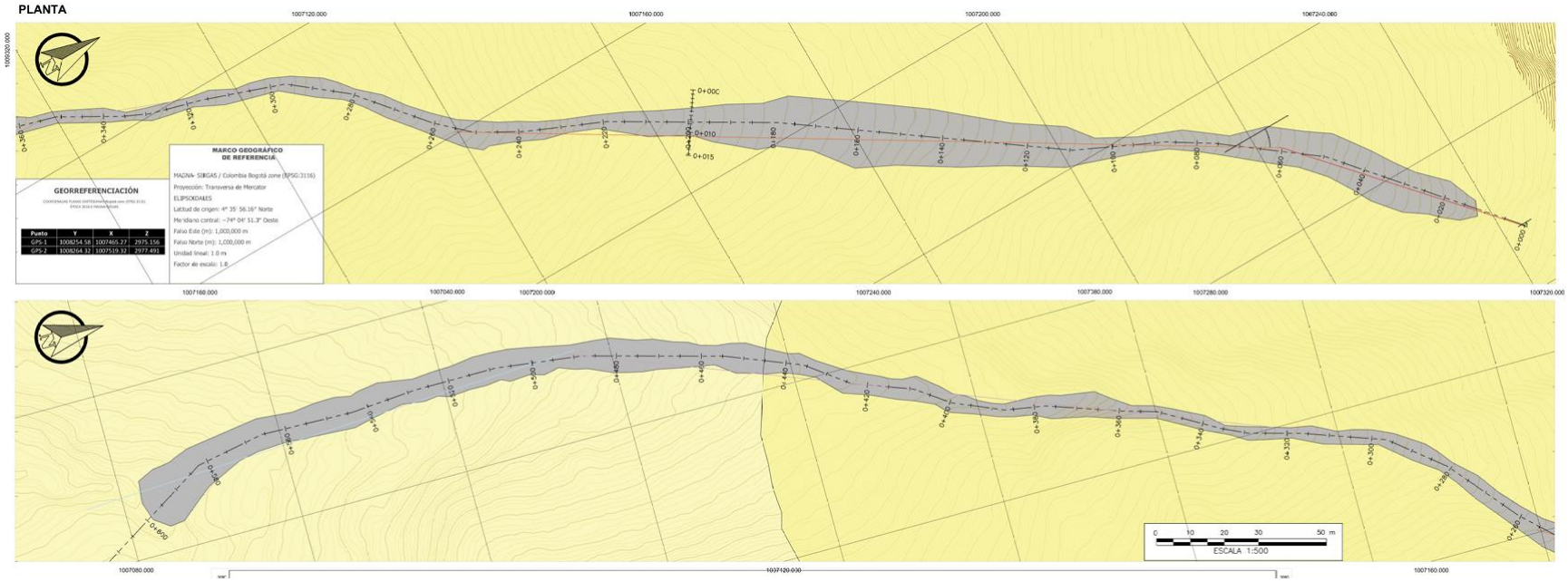
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-8 Perfil - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 1)



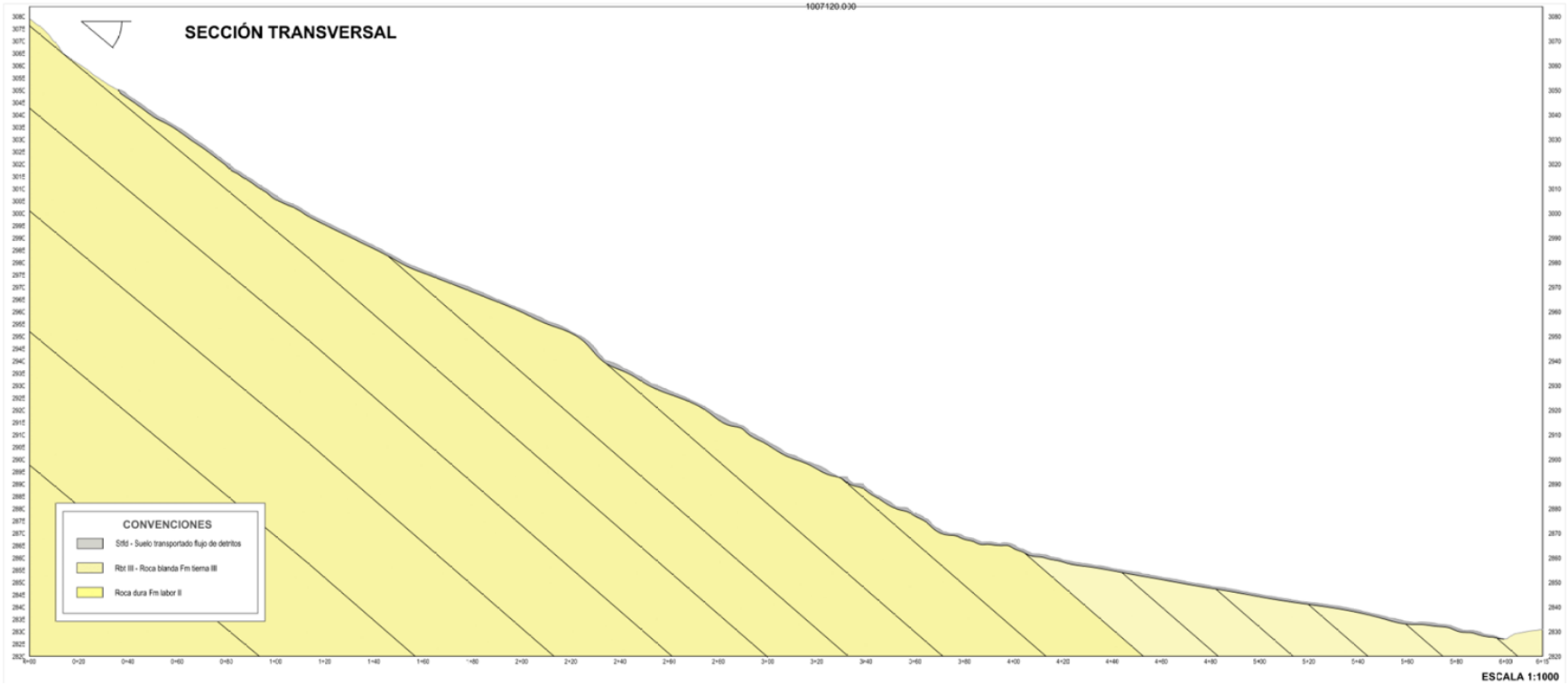
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-9 Planta - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 2)



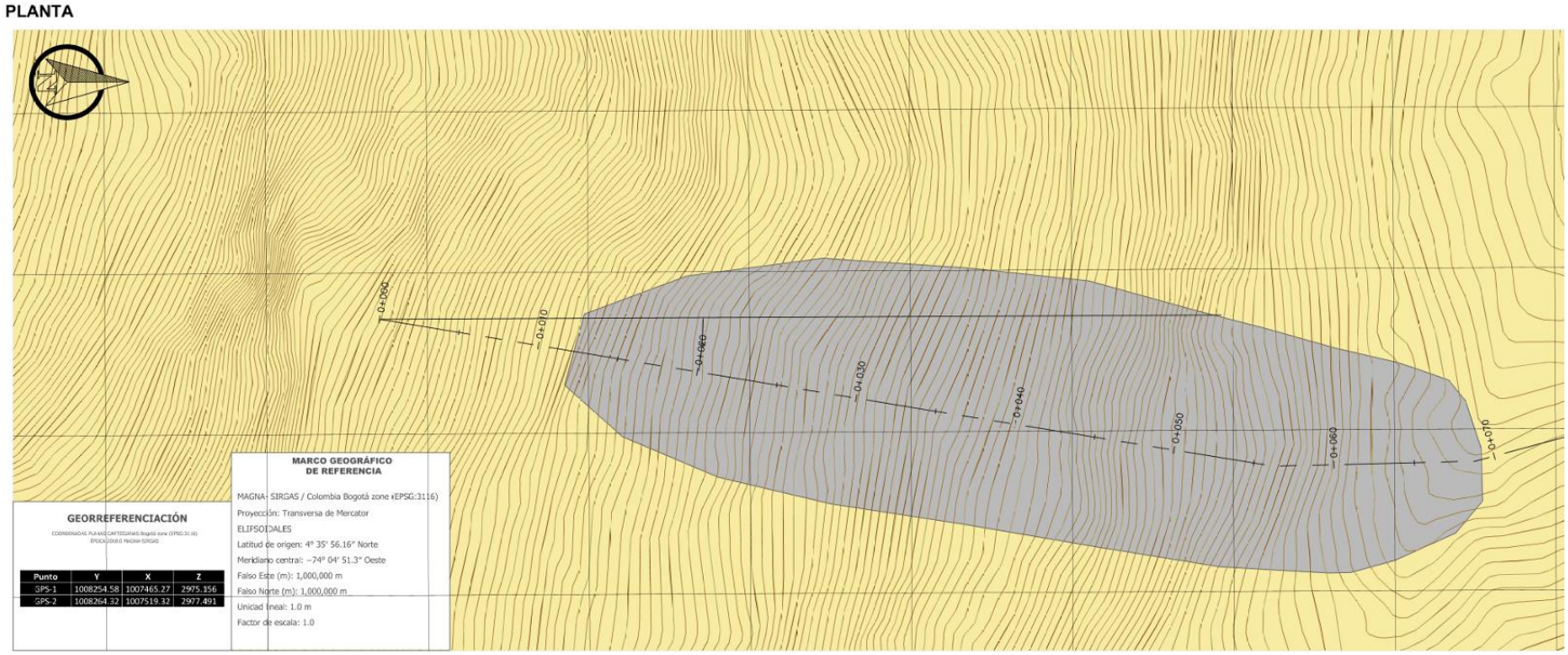
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-10 Perfil - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 2)



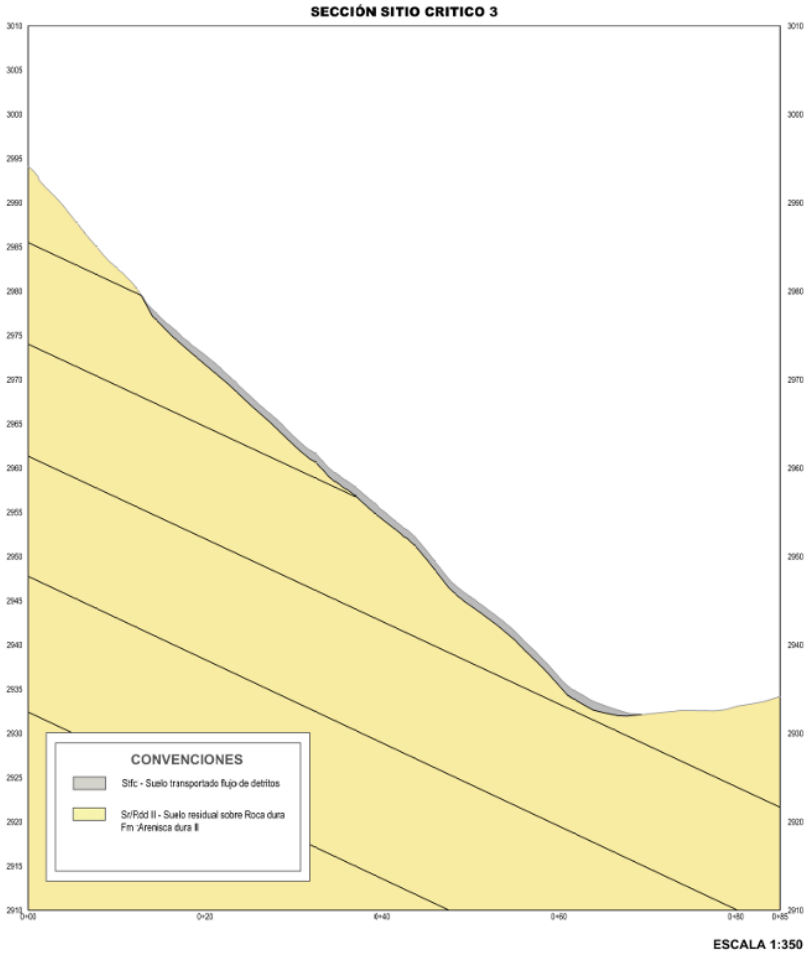
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-11 Planta - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 3)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-12 Perfil - Modelo geológico geotécnico local (Sitio crítico 3)



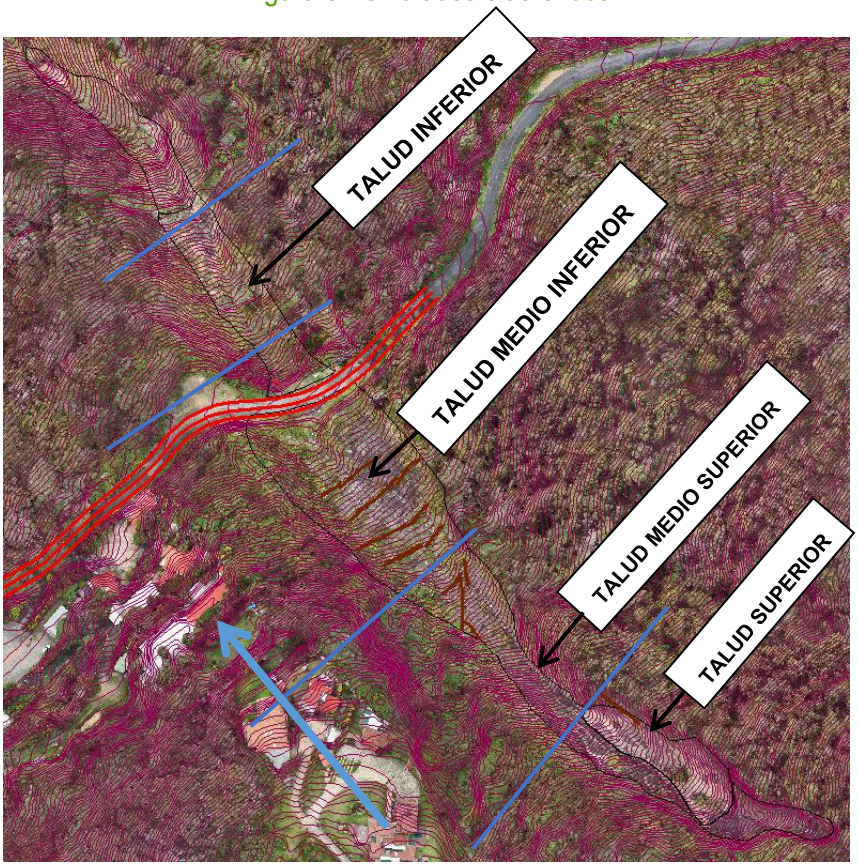
Fuente: Elaboración propia

6.3 ANÁLISIS TÉCNICOS

6.3.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

En el presente capítulo se recopilan los análisis de estabilidad realizados mediante el método de equilibrio límite para las secciones críticas identificadas en el corredor de proyecto. Dado que el perfil geotécnico del sitio presenta una extensión aproximada de 470 m, se optó por segmentar longitudinalmente el depósito en cuatro tramos diferenciados: talud superior, talud intermedio superior, talud intermedio inferior y talud inferior. Los tramos con mayor relevancia para la implantación de las obras de contención corresponden al talud intermedio superior y al talud intermedio inferior. Los modelos de equilibrio límite fueron ejecutados en el software Slide V6.0, y los parámetros geotécnicos empleados se describen en el capítulo de caracterización del suelo.

Figura 6-13 Taludes sitio crítico



Fuente: Elaboración propia

6.3.1.1 Criterios de evaluación de la estabilidad

Los criterios adoptados para la evaluación de la estabilidad de los taludes se fundamentan en los lineamientos establecidos en el Título H de la NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente). De acuerdo con dichos lineamientos, un talud se considera estable cuando el factor de seguridad (factor de seguridad) satisface las siguientes condiciones mínimas:

- Condición estática: factor de seguridad ≥ 1,5
- Condición pseudoestática: factor de seguridad ≥ 1,05

El coeficiente sísmico horizontal empleado en los análisis pseudoestáticos corresponde a k = 0.144, valor determinado a partir de la zonificación sísmica establecida en el Título A de la NSR-10 para la ubicación del proyecto, y en concordancia con los parámetros del espectro de diseño definidos en el estudio de amenaza sísmica de referencia.

6.3.1.2 Metodología del análisis de sensibilidad

Con el propósito de evaluar la influencia de las condiciones hidráulicas y de los parámetros de resistencia del material de flujo sobre la estabilidad de los taludes críticos, se estructuró un análisis de sensibilidad que combina variaciones en el nivel freático y en la cohesión del material, ejecutado para los taludes intermedio superior e intermedio inferior bajo condiciones estática y pseudoestática.

El análisis de sensibilidad se realizó tomando como referencia la superficie de falla más profunda identificada en cada talud condición NF-Actual, c = 4 kPa, mantenida fija en todas las combinaciones para que los cambios en el factor de seguridad reflejen exclusivamente la respuesta del sistema ante las variables estudiadas. Se descartan las superficies de escaso espesor menor a 1m asociadas a irregularidades topográficas locales, que no constituyen mecanismos de falla condicionantes a escala del talud.

Las variables de sensibilidad evaluadas fueron las siguientes:

a) Nivel freático:

- NF-Actual: Nivel freático actual, correspondiente a la condición encontrada en sitio durante la campaña de exploración.

- NF+2m: Nivel freático elevado aproximadamente +2 m respecto a la condición actual.
- NF+4m: Nivel freático elevado aproximadamente +4 m respecto a la condición actual.
- NF-Saturado: Talud completamente saturado.

b) Cohesión del material de flujo:

- c = 0 kPa
- c = 2 kPa
- c = 4 kPa
- c = 6 kPa

Se adopta c = 4 kPa como cohesión de referencia ya que es el valor que representa mejor las condiciones actuales del talud cuando este no se encuentra saturado.

6.3.1.3 Parámetros geotécnicos del modelo

Los parámetros de resistencia al corte y de peso unitario empleados en los modelos de equilibrio límite se derivan de los ensayos de laboratorio y correlaciones in situ descritos en el capítulo de caracterización geotécnica. La Tabla 6-1 presenta los parámetros base adoptados para cada unidad geotécnica identificada en los perfiles de análisis. Las unidades STFLO y STFT corresponden a los materiales de flujo cuyo parámetro de cohesión se varió en el análisis de sensibilidad; las unidades SRLT-VI, RBLT-IV y RDLT III-II corresponden al suelo residual y al macizo rocoso, respectivamente, cuyos parámetros se mantuvieron constantes en todos los modelos.

Tabla 6-1 Parámetros geotécnicos de los modelos de equilibrio límite

Unidad geotécnica	γ (kN/m³)	c (kPa)	φ (°)	UCS (kN/ m^2)	Modelo constitutivo	Observaciones
STFLO	**17.6**	Variable: 0–6	**27**	-	Mohr-Coulomb	Material de flujo orgánico – parámetro c variable
STFT	**18.6**	Variable: 0–6	**30**	-	Mohr-Coulomb	Material de flujo – parámetro c variable
SRLT-VI	**18.0**	**7**	**27**		Mohr-Coulomb	-
RBLT-IV	**20**	-	-	60740	Generalised Hoek-Brown	-

Unidad geotécnica	γ (kN/m³)	c (kPa)	φ (°)	UCS (kN/ m^2)	Modelo constitutivo	Observaciones
RDLT III-II	**20**	**-**	**-**	81800	Generalised Hoek-Brown	**-**

Fuente: Elaboración propia

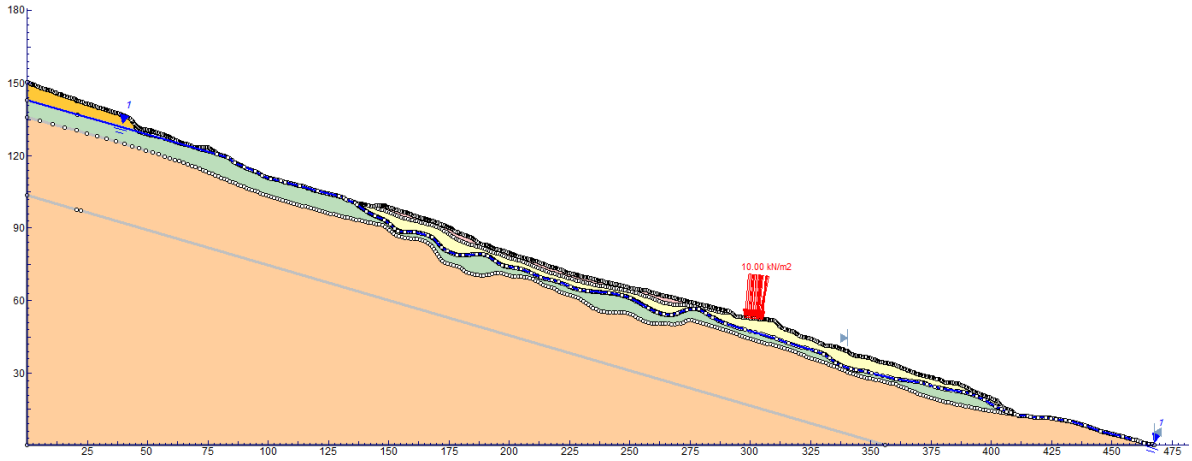
Tabla 6-2. Convenciones estratos del modelo geotécnico

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a
STFT		18.6	Mohr-Coulomb	0	30				
RBLT-IV		20	Generalised Hoek-Brown			60740	1.40256	0.00221808	0.508086
RDLT III-II		20	Generalised Hoek-Brown			81800	0.686612	0.000240369	0.531267
SRLT-VI		18	Mohr-Coulomb	7	27				
STFLO		17.6	Mohr-Coulomb	0	27				

Fuente: Elaboración propia

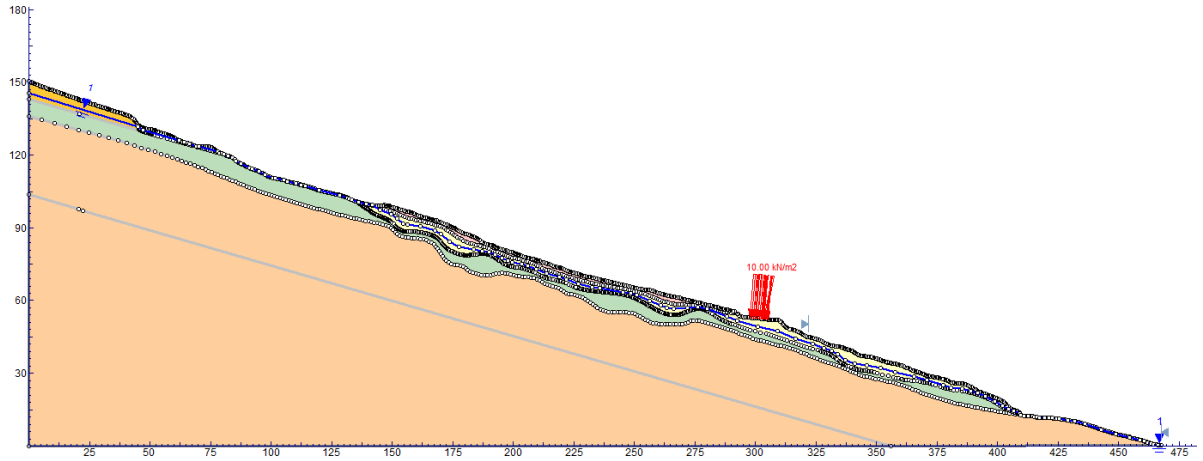
Las siguientes figuras presentan el modelo geotécnico del perfil longitudinal para cada nivel freático evaluado.

Figura 6-14 Modelo geotécnico nivel freático actual



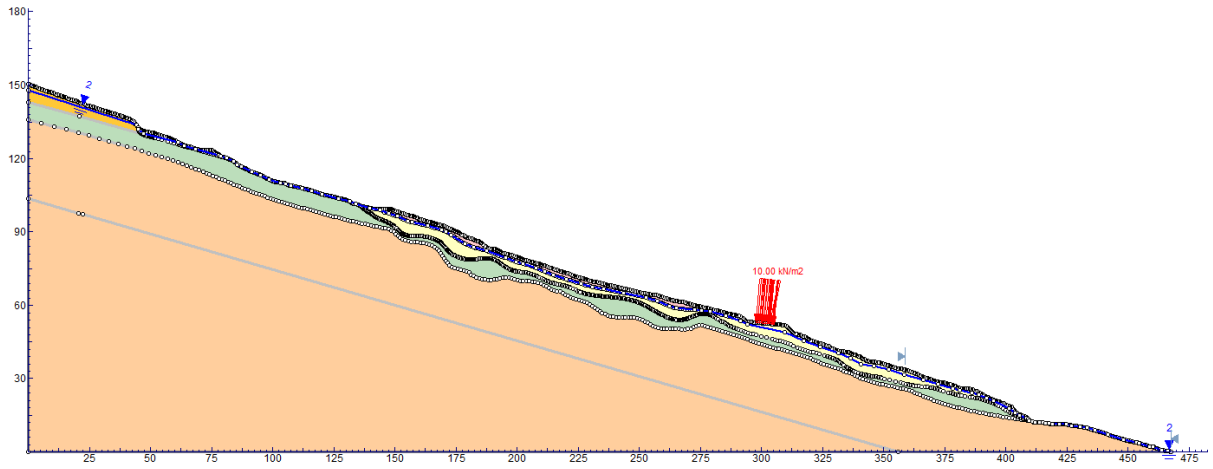
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-15 Modelo geotécnico nivel freático +2m



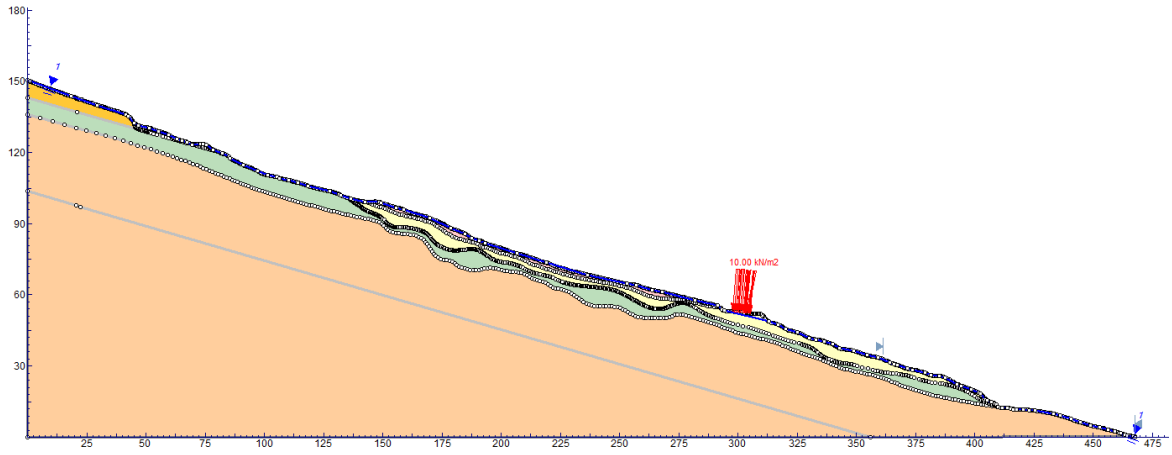
Fuente: Elaboración propia

Figura 6-16 Modelo geotécnico nivel freático +4m



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-17 Modelo geotécnico nivel freático saturado



Fuente: Elaboración propia

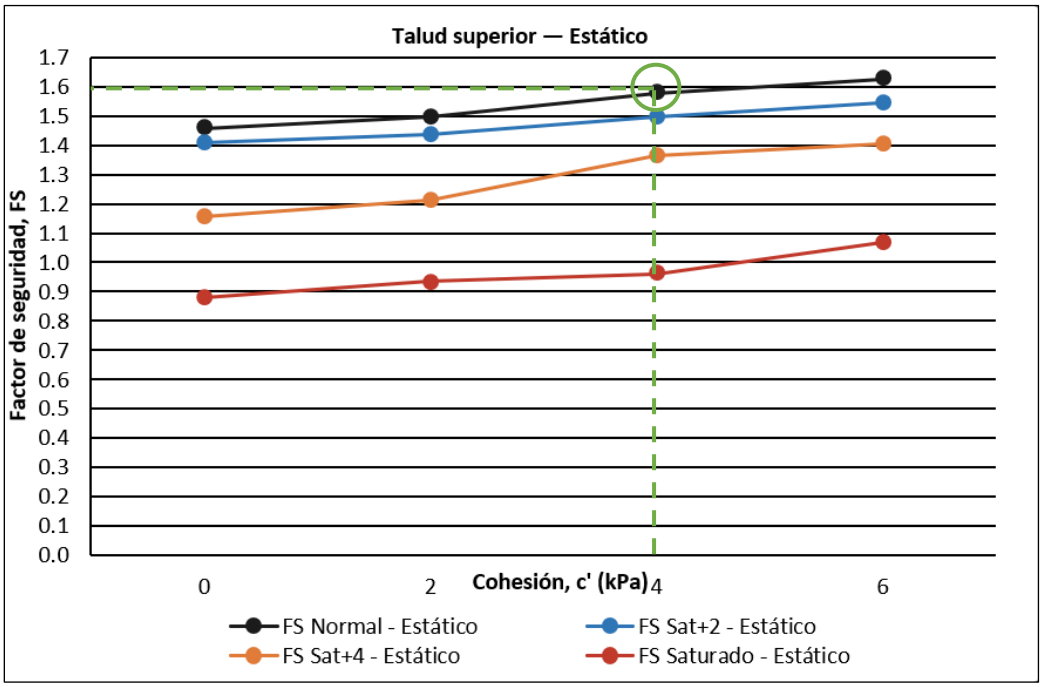
6.3.1.4 Análisis de sensibilidad talud superior

El talud superior hace parte del sitio crítico, pero no será objeto de intervención directa, en el análisis se tiene en cuenta la superficie de falla más profunda como referencia, cuatro niveles freáticos y cuatro cohesiones del material de flujo, esto con el propósito de caracterizar la condición de estabilidad de la ladera en su conjunto y evidenciar que el proceso de inestabilidad de los taludes intermedios tiene continuidad aguas arriba.

6.3.1.4.1 *Condición estática*

La Figura 6-18 presenta las curvas de variación del factor de seguridad en función de la cohesión para los cuatro niveles freáticos evaluados bajo condición estática (Kh = 0), calculadas sobre la superficie de falla de referencia del talud superior.

Figura 6-18 Talud superior- Factor de seguridad VS cohesión estático



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-3 Resumen condición de inestabilidad estática talud superior

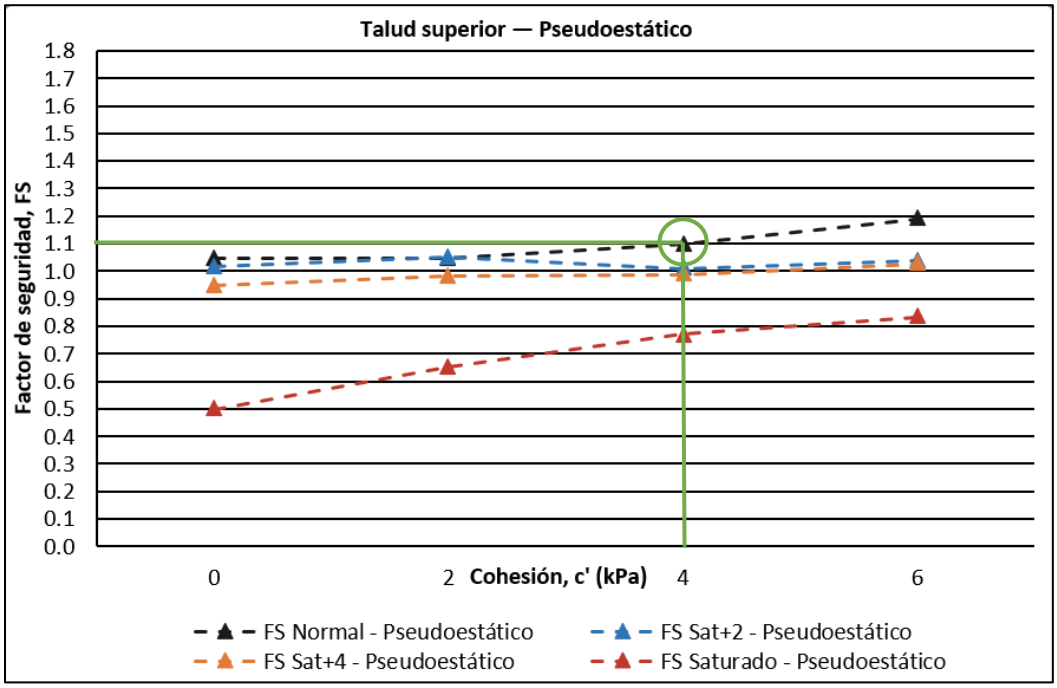
Cohesión c' (kPa)	factor de seguridad Normal - Estático	factor de seguridad Sat+2 - Estático	factor de seguridad Sat+4 - Estático	factor de seguridad Saturado - Estático
0	1.459	1.411	1.157	0.879
2	1.496	1.436	1.212	0.934
4	1.579	1.498	1.365	0.960
6	1.627	1.545	1.405	1.068

Fuente: Elaboración propia

6.3.1.4.2 Condición pseudoestática

La Figura 6-19 presenta los resultados bajo condición pseudoestática (Kh = 0,144 g) para el talud superior.

Figura 6-19 Talud superior- Factor de seguridad VS cohesión pseudoestático



Fuente: Elaboración propia

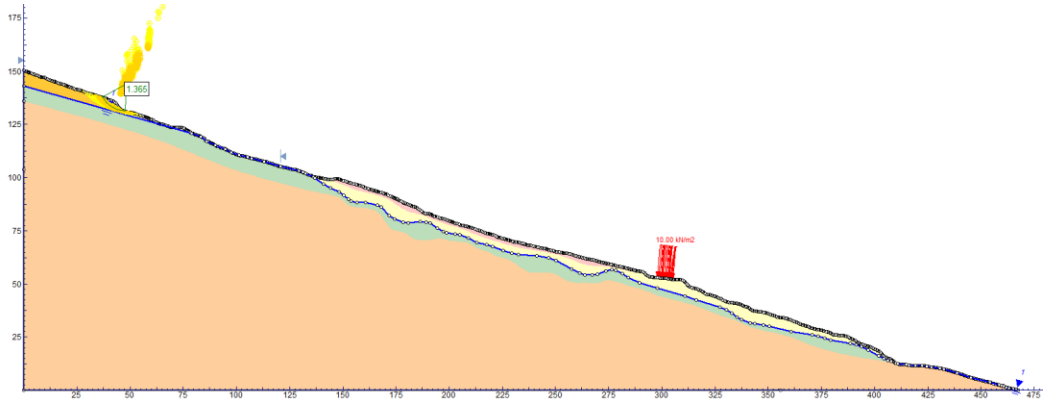
Tabla 6-4 Resumen condición de inestabilidad pseudoestática talud superior

Cohesión c' (kPa)	factor de seguridad Normal - Pseudoestático	factor de seguridad Sat+2 - Pseudoestático	factor de seguridad Sat+4 - Pseudoestático	factor de seguridad Saturado - Pseudoestático
0	1.047	1.015	0.947	0.498
2	1.047	1.050	0.981	0.651
4	1.100	1.009	0.986	0.770
6	1.189	1.037	1.026	0.832

Fuente: Elaboración propia

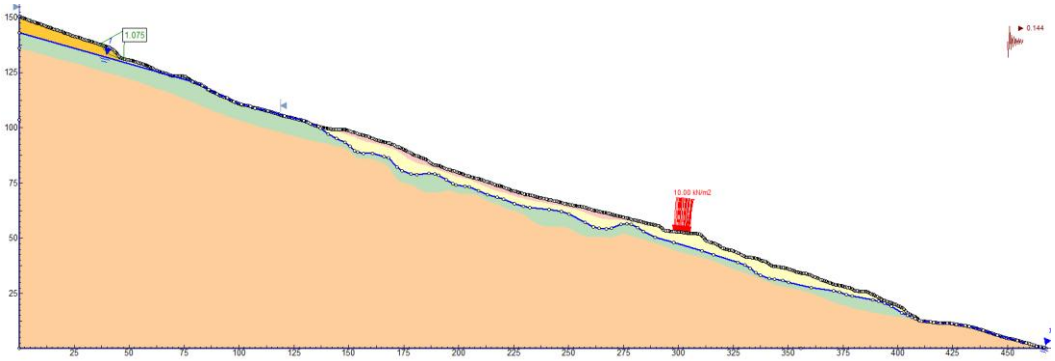
Las Figura 6-20 y Figura 6-21 presentan los modelos de estabilidad del talud superior para las condiciones estática y pseudoestática, mostrando la superficie de falla.

Figura 6-20 Talud superior – Modelo de estabilidad, condición estática



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-21 Talud superior – Modelo de estabilidad, condición pseudoestática



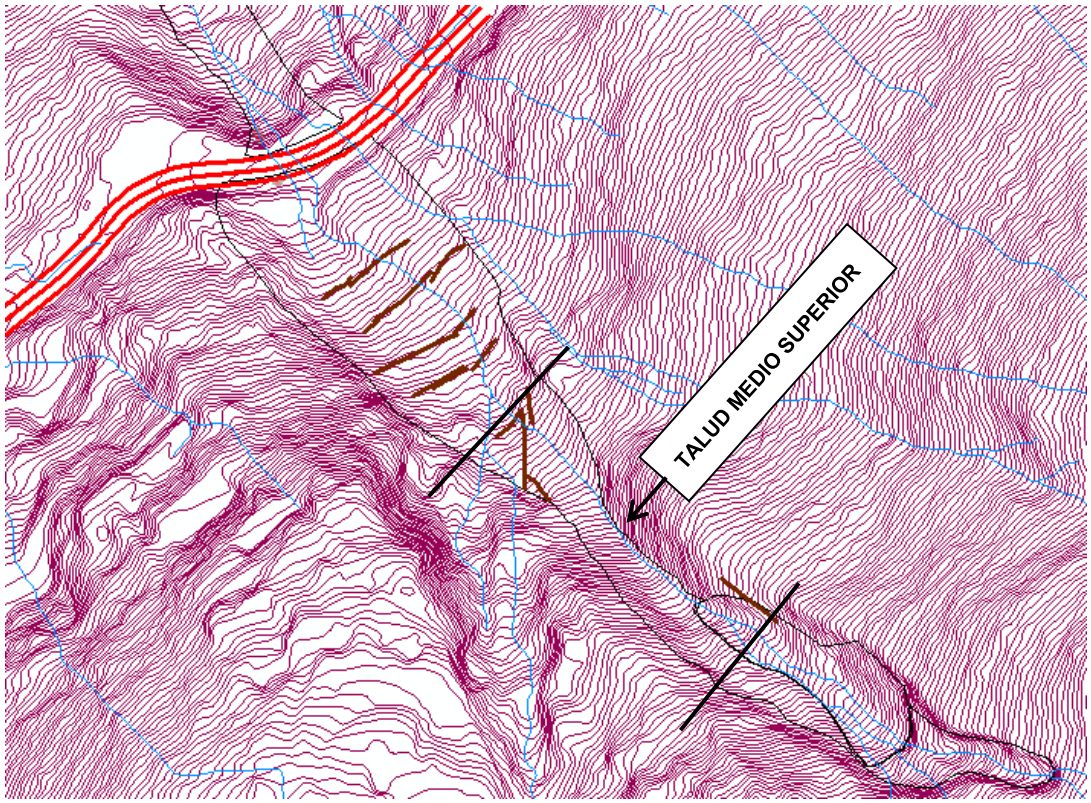
Fuente: Elaboración propia

6.3.1.5 Análisis de sensibilidad talud intermedio superior

El talud intermedio superior corresponde a la banca superior de la vía Camino del Meta, expuesta a la escorrentía superficial proveniente de los sectores más altos de la ladera. Con c = 4 kPa y NF-Actual, el talud se encuentra en condición estable factor de seguridad estático = 1,667; factor de seguridad pseudoestático = 1,149.

Se identificaron dos mecanismos de aporte hídrico conjuntos: flujos de agua intermitentes desde las partes altas de la ladera, que transitan longitudinalmente sin captación e infiltran progresivamente el perfil; y puntos bajos en la topografía y bordes laterales del talud, donde la geometría concentra escorrentías de zonas adyacentes generando aportes hídricos localizados.

Figura 6-22 Talud medio superior y flujo de agua

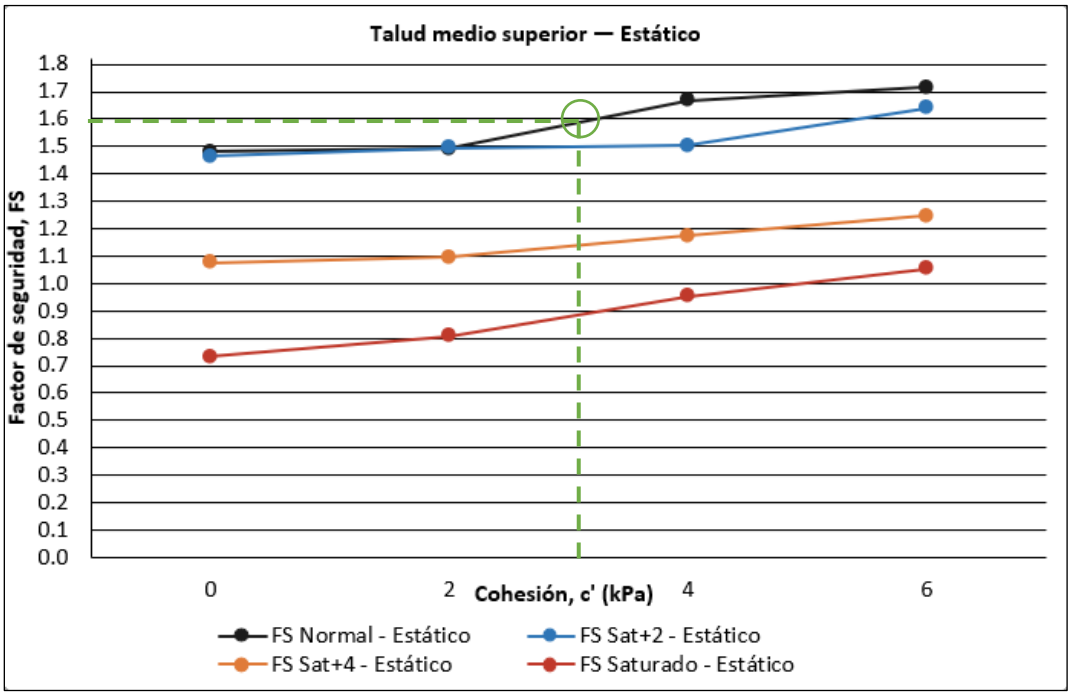


Fuente: Elaboración propia

6.3.1.5.1 Condición estática

La Figura 6-23 presenta las curvas de variación del factor de seguridad en función de la cohesión para los cuatro niveles freáticos, bajo condición estática (Kh = 0), calculadas sobre la superficie de falla de referencia. Con c = 4 kPa y NF-Actual, el factor de seguridad = 1,667. Los escenarios NF+4m y NF-Saturado producen factor de seguridad inferiores al umbral para todas las cohesiones evaluadas.

Figura 6-23 Talud intermedio superior- Factor de seguridad VS cohesión estático



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-5 Resumen condición de inestabilidad estática talud medio superior

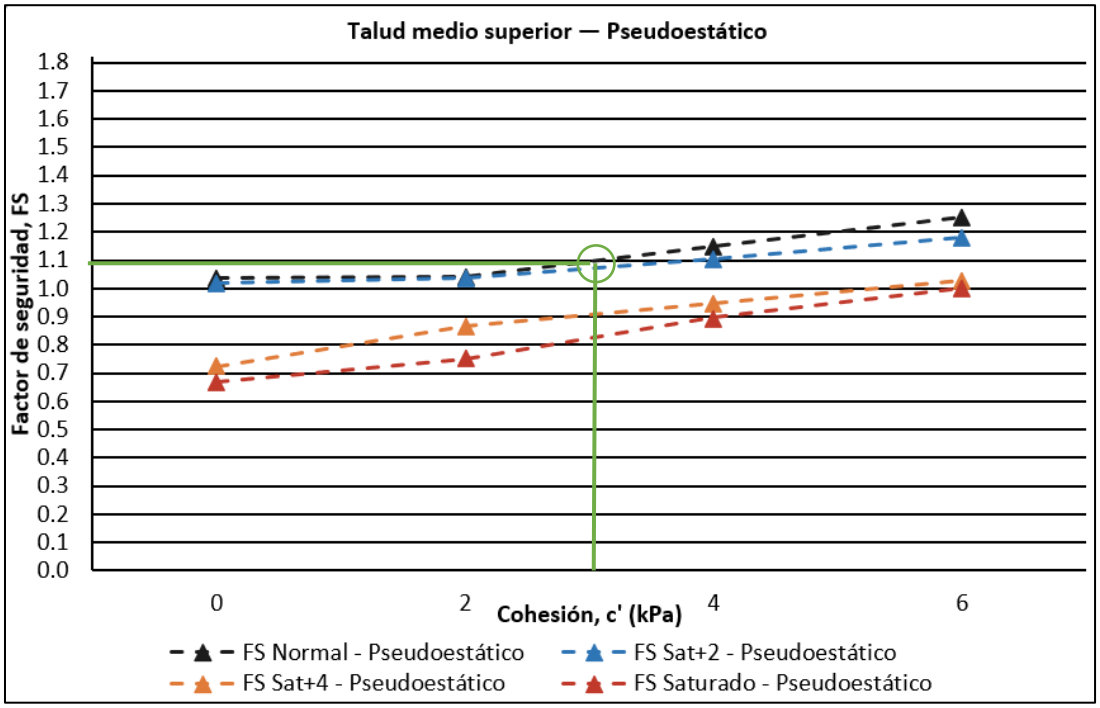
Cohesión c' (kPa)	factor de seguridad Normal - Estático	factor de seguridad Sat+2 - Estático	factor de seguridad Sat+4 - Estático	factor de seguridad Saturado - Estático
0	1.485	1.464	1.077	0.734
2	1.492	1.496	1.094	0.809
4	1.667	1.505	1.173	0.951
6	1.718	1.640	1.247	1.053

Fuente: Elaboración propia

6.3.1.5.2 Condición pseudoestática

La Figura 6-24 presenta los resultados bajo condición pseudoestática (Kh = 0,144 g). Con c = 4 kPa y NF-Actual, el factor de seguridad = 1,149. Todos los escenarios con nivel freático superior al actual producen factor de seguridad inferiores al umbral de 1,05.

Figura 6-24 Talud intermedio superior- Factor de seguridad VS cohesión pseudoestático



Fuente: Elaboración propia

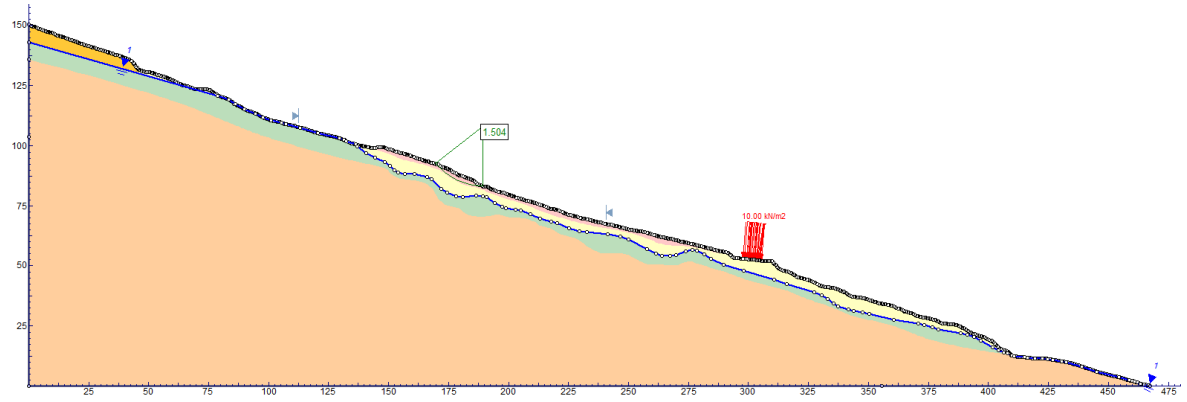
Tabla 6-6 Resumen condición de inestabilidad pseudoestática talud medio superior

Cohesión c' (kPa)	factor de seguridad Normal - Pseudoestático	factor de seguridad Sat+2 - Pseudoestático	factor de seguridad Sat+4 - Pseudoestático	factor de seguridad Saturado - Pseudoestático
0	1.036	1.018	0.725	0.670
2	1.040	1.037	0.866	0.752
4	1.149	1.103	0.947	0.896
6	1.252	1.180	1.030	1.003

Fuente: Elaboración propia

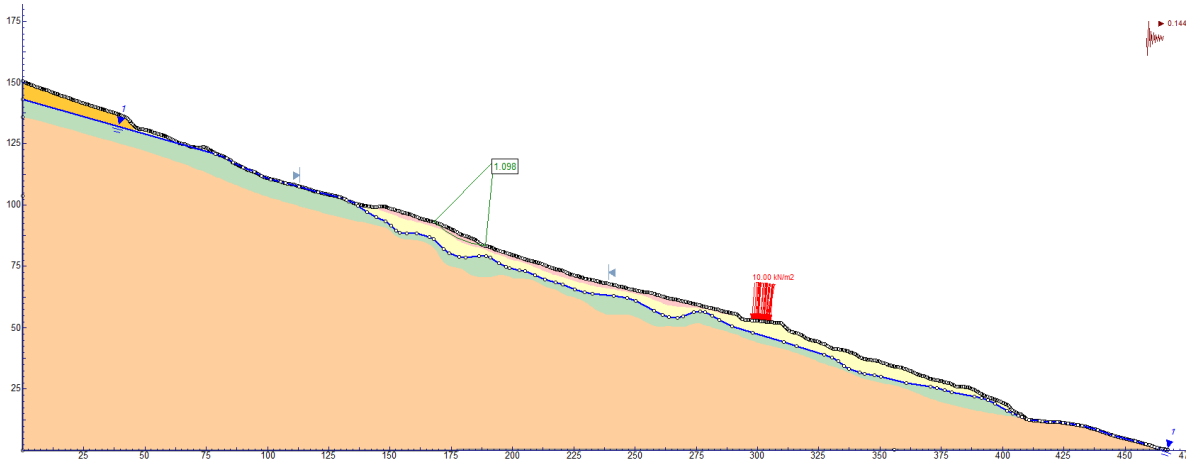
Las Figura 6-25 y Figura 6-26 presentan los modelos de estabilidad del talud inferior para las condiciones estática y pseudoestática, mostrando la superficie de falla.

Figura 6-25 Talud intermedio superior – Modelo de estabilidad, condición estática



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-26 Talud intermedio superior – Modelo de estabilidad, condición pseudoestática



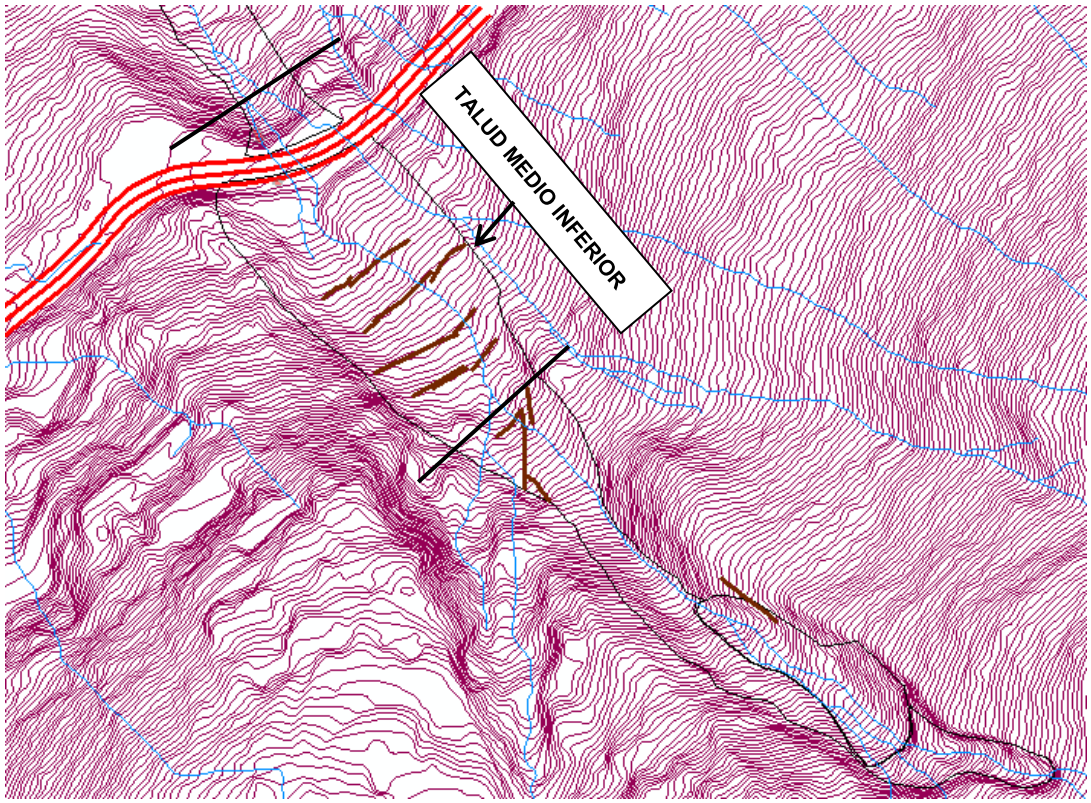
Fuente: Elaboración propia

6.3.1.6 Análisis de sensibilidad talud intermedio inferior

El talud intermedio inferior corresponde a la banca inferior de la vía Camino del Meta, sector donde el proceso de deslizamiento es más visible. Con c = 4 kPa y NF-Actual, el factor de seguridad estático = 1,592 y el factor de seguridad pseudoestático = 1,117.

Se identificaron flujos de agua intermitentes desde las partes altas y aportes localizados en puntos bajos de la topografía lateral, cuya convergencia hacia la banca inferior genera zonas de saturación localizada. El manejo integrado de escorrentías longitudinales y aportes laterales constituye la medida preventiva de mayor impacto para garantizar la estabilidad de la banca inferior.

Figura 6-27 Talud medio superior y flujo de agua

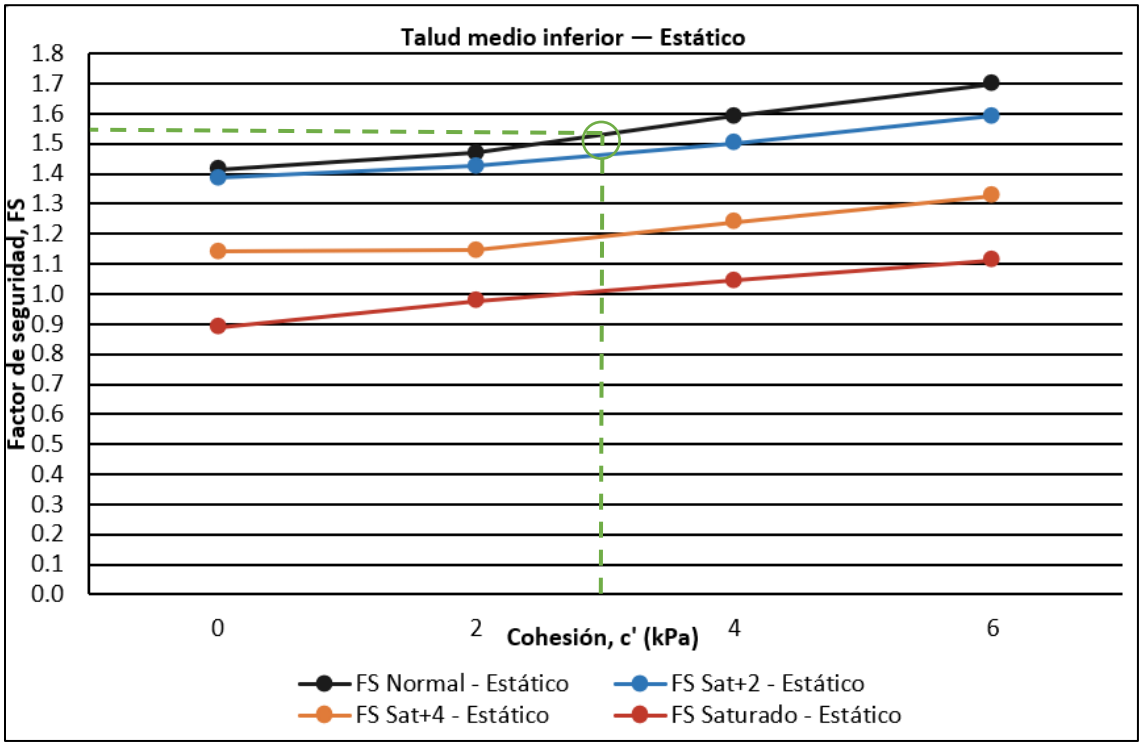


Fuente: Elaboración propia

6.3.1.6.1 Condición estática

La Figura 6-28 presenta las curvas del factor de seguridad bajo condición estática. Con c = 4 kPa y NF-Actual, el factor de seguridad = 1,592.

Figura 6-28 Talud intermedio inferior- Factor de seguridad VS cohesión estático



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-7 Resumen condición de inestabilidad estática talud medio inferior

Cohesión c' (kPa)	factor de seguridad Normal - Estático	factor de seguridad Sat+2 - Estático	factor de seguridad Sat+4 - Estático	factor de seguridad Saturado - Estático
0	1.415	1.388	1.144	0.889
2	1.470	1.428	1.145	0.976
4	1.592	1.502	1.240	1.044
6	1.699	1.593	1.327	1.112

Fuente: Elaboración propia

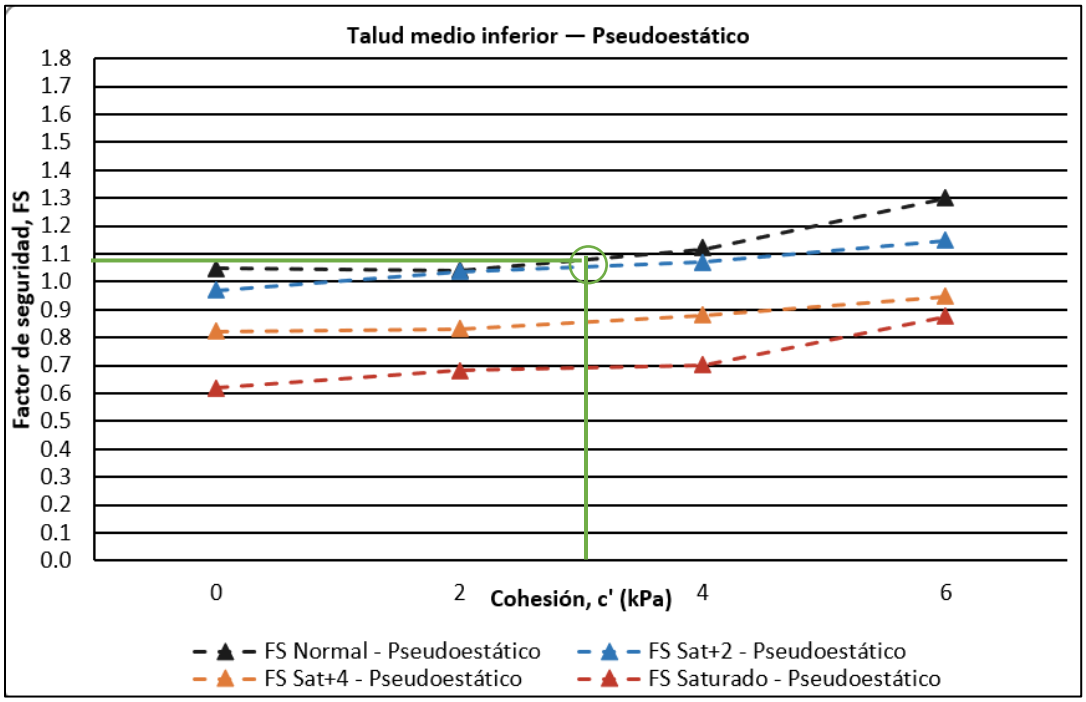
De manera consistente con el talud superior, los escenarios NF+4m y NF-Saturado producen factores de seguridad inferiores al mínimo requerido para todas las cohesiones evaluadas.

6.3.1.6.2 Condición pseudoestática

La Figura 6-29 presenta los resultados pseudoestáticos. Con c = 4 kPa y NF-Actual, el factor

de seguridad = 1,117. Para todos los escenarios con nivel freático superior al actual los factores de seguridad caen por debajo de 1,05.

Figura 6-29 Talud intermedio inferior- Factor de seguridad VS cohesión pseudoestático



Fuente: Elaboración propia

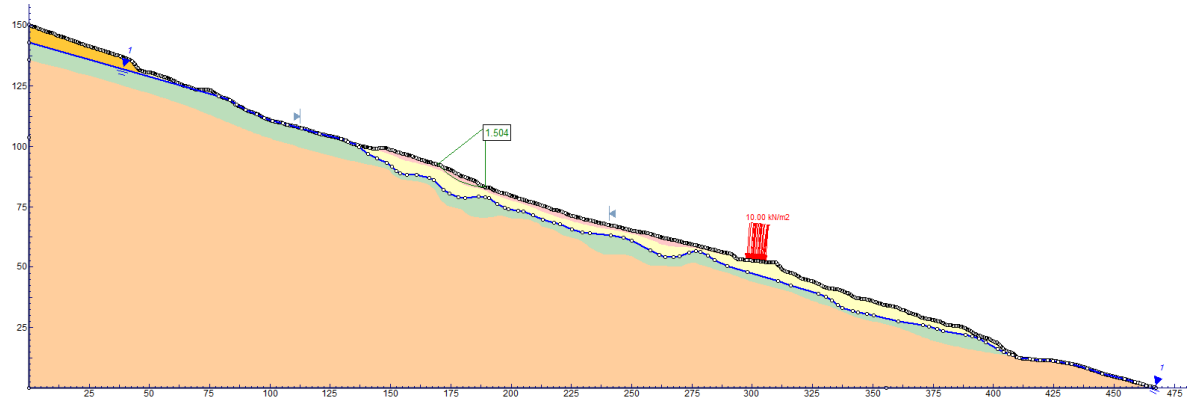
Tabla 6-8 Resumen condición de inestabilidad pseudoestática talud medio inferior

Cohesión c' (kPa)	factor de seguridad Normal - Pseudoestático	factor de seguridad Sat+2 - Pseudoestático	factor de seguridad Sat+4 - Pseudoestático	factor de seguridad Saturado - Pseudoestático
0	1.047	0.970	0.822	0.619
2	1.041	1.037	0.830	0.681
4	1.117	1.070	0.879	0.701
6	1.301	1.146	0.947	0.873

Fuente: Elaboración propia

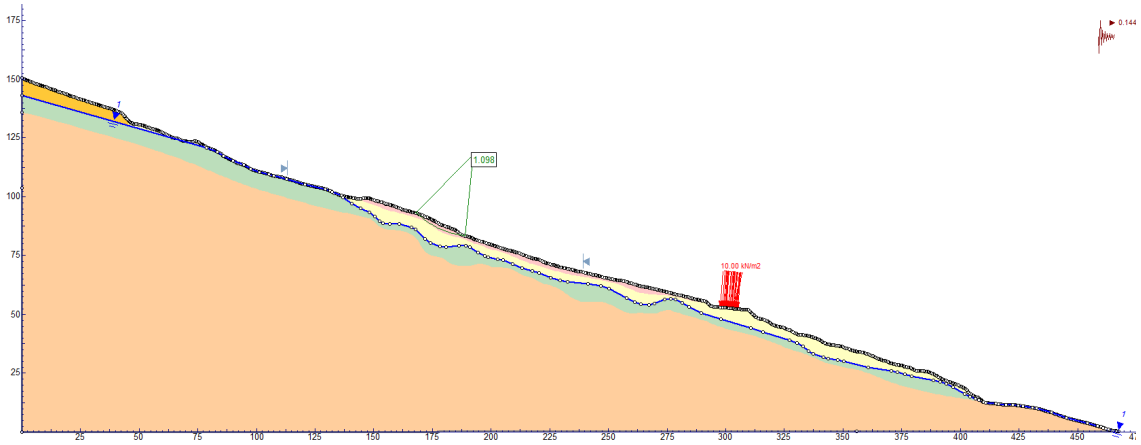
Las Figura 6-30 y Figura 6-31 presentan los modelos de estabilidad del talud inferior para las condiciones estática y pseudoestática, mostrando la superficie de falla.

Figura 6-30 Talud intermedio inferior – Modelo de estabilidad, condición estática



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-31 Talud intermedio inferior – Modelo de estabilidad, condición pseudoestática



Fuente: Elaboración propia

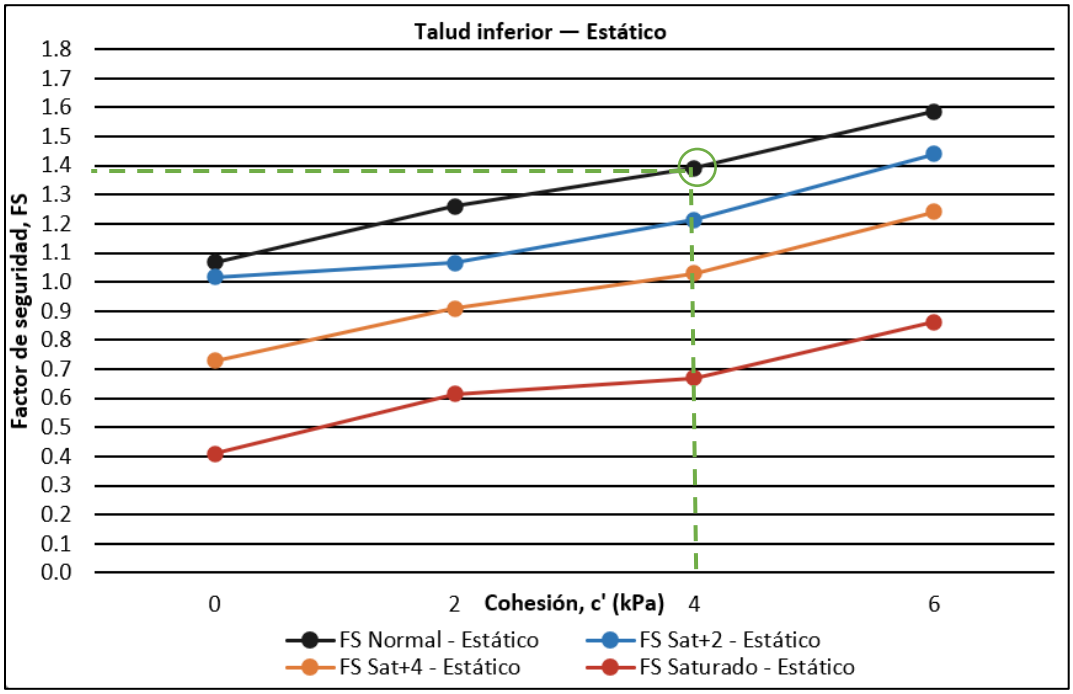
6.3.1.7 Análisis de sensibilidad talud inferior

El talud inferior hace parte del sitio crítico sin ser objeto de intervención directa, de manera análoga al talud superior, en el talud inferior la búsqueda automática identifica superficies de escaso espesor mayor 1 m con factor de seguridad aparentemente bajos asociadas a la topografía local.

6.3.1.7.1 *Condición estática*

La Figura 6-32 presenta las curvas de variación del factor de seguridad en función de la cohesión para los cuatro niveles freáticos evaluados bajo condición estática (Kh = 0), calculadas sobre la superficie de falla de referencia del talud inferior.

Figura 6-32 Talud inferior- Factor de seguridad VS cohesión estático



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-9 Resumen condición de inestabilidad estática talud inferior

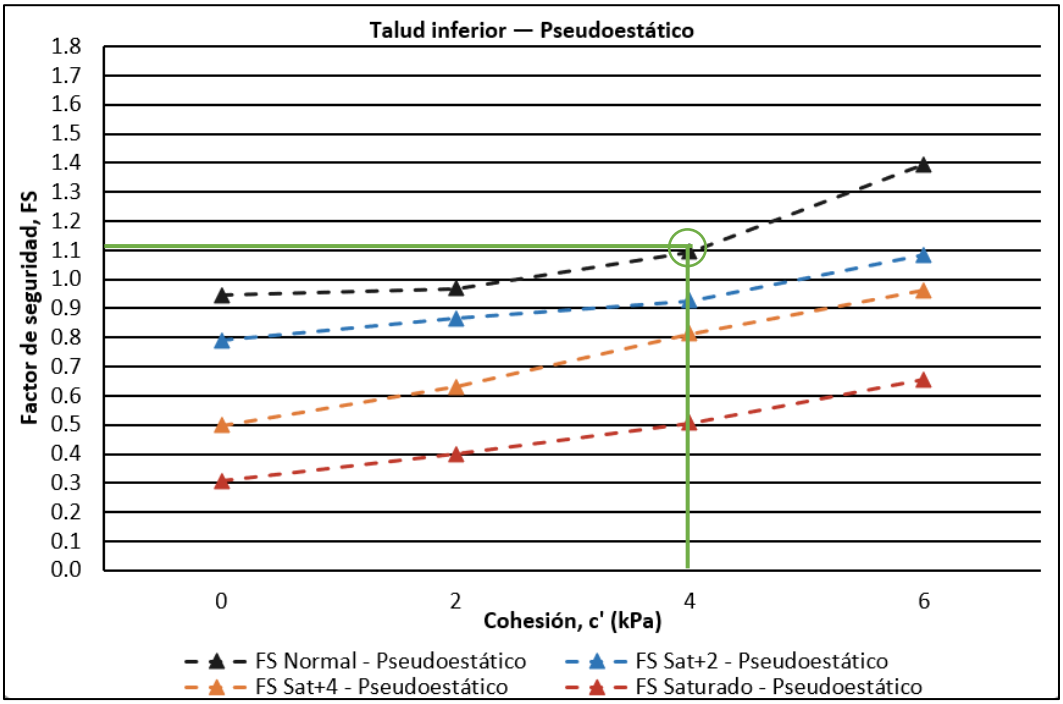
Cohesión c' (kPa)	factor de seguridad Normal - Estático	factor de seguridad Sat+2 - Estático	factor de seguridad Sat+4 - Estático	factor de seguridad Saturado - Estático
0	1.067	1.016	0.730	0.410
2	1.261	1.065	0.908	0.614
4	1.392	1.214	1.029	0.670
6	1.587	1.439	1.242	0.862

Fuente: Elaboración propia

6.3.1.7.2 Condición pseudoestática

La Figura 6-33 presenta los resultados pseudoestáticos. Con c = 4 kPa y NF-Actual, el factor de seguridad = 1,117. Para todos los escenarios con nivel freático superior al actual los factores de seguridad caen por debajo de 1,05.

Figura 6-33 Talud intermedio inferior- Factor de seguridad VS cohesión pseudoestático



Fuente: Elaboración propia

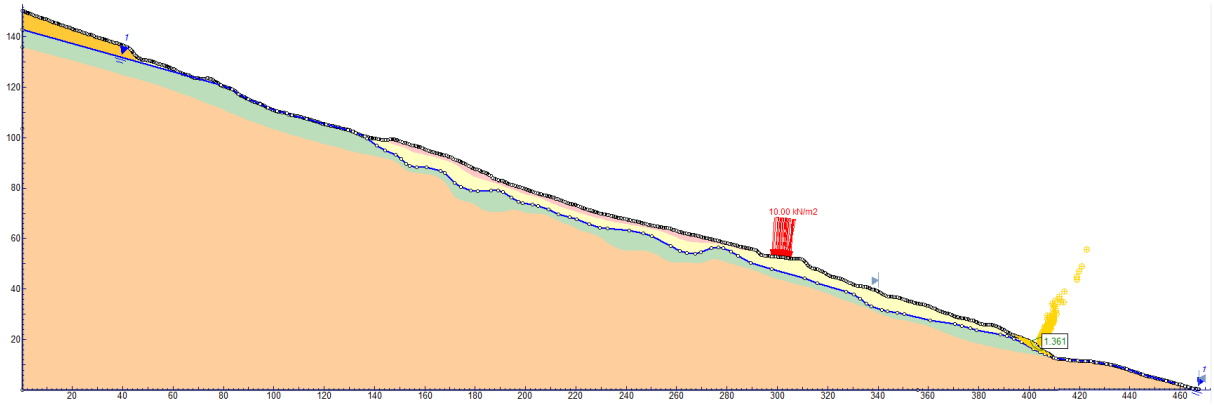
Tabla 6-10 Resumen condición de inestabilidad pseudoestática talud medio inferior

Cohesión c' (kPa)	factor de seguridad Normal - Pseudoestático	factor de seguridad Sat+2 - Pseudoestático	factor de seguridad Sat+4 - Pseudoestático	factor de seguridad Saturado - Pseudoestático
0	0.945	0.789	0.497	0.306
2	0.967	0.865	0.630	0.402
4	1.094	0.926	0.813	0.507
6	1.394	1.085	0.961	0.655

Fuente: Elaboración propia

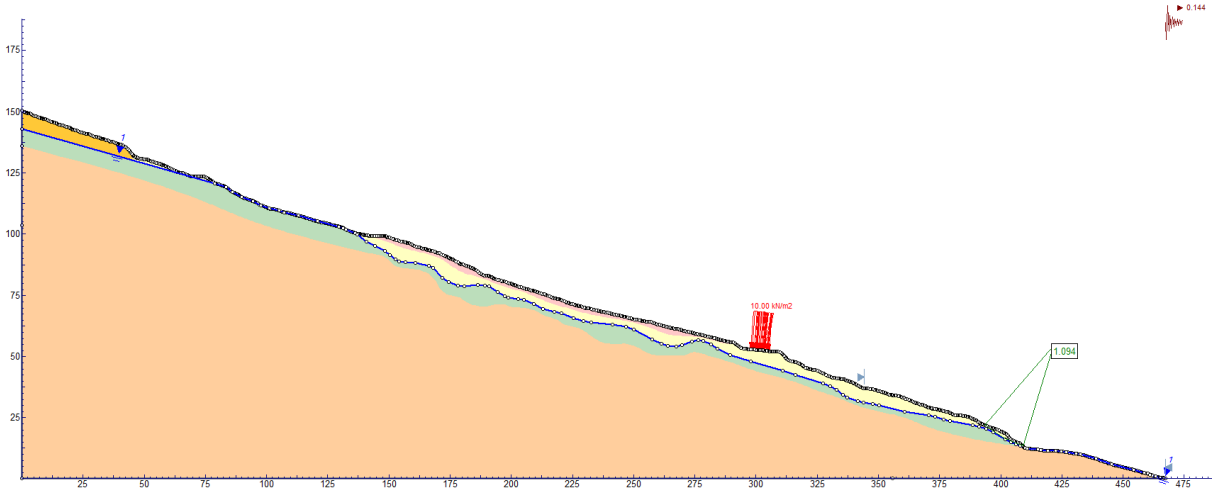
Las Figura 6-34 y Figura 6-35 presentan los modelos de estabilidad del talud inferior para las condiciones estática y pseudoestática, mostrando la superficie de falla.

Figura 6-34 Talud inferior – Modelo de estabilidad, condición estática



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-35 Talud inferior – Modelo de estabilidad, condición pseudoestática



Fuente: Elaboración propia

La variación del nivel freático entre la condición NF-Actual y NF-Saturado reduce el factor de seguridad. El nivel freático NF+2m que se pueda alcanzar durante eventos de precipitación moderada representa el umbral crítico a partir del cual la condición pseudoestática deja de satisfacer el criterio mínimo de, lo que confirma que la estabilidad sísmica de ambos taludes depende directamente del control del nivel freático interno

El reconocimiento de campo permitió identificar mecanismos de aporte hídrico que operan simultáneamente sobre ambos taludes: flujos de agua intermitentes provenientes de las partes altas de la ladera, que transitan longitudinalmente sin captación ni conducción, y

aportes localizados en puntos bajos de la topografía y bordes laterales del talud, donde la geometría del terreno concentra escorrentías provenientes de zonas adyacentes. Ambos mecanismos operan exclusivamente desde la superficie: la recarga del nivel freático no proviene del nivel freático regional del macizo sino de la escorrentía superficial que infiltra sin control. Esto implica que las obras hidráulicas de captación, conducción y evacuación diseñadas para interceptar tanto los flujos longitudinales como los aportes laterales son técnicamente suficientes para mantener el nivel freático en la condición NF-Actual, que corresponde al estado de estabilidad actualmente observado.

6.4 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN BAJO EL CONCEPTO DE SBN

6.4.1 OBRAS DE DRENAJE – SITIO CRÍTICO 1

El diagnóstico geotécnico del sitio critico se estableció que el proceso de inestabilidad es controlado de manera determinante por el comportamiento hídrico de la ladera. Los trabajos de campo y la exploración geotécnica permitieron identificar dos mecanismos principales de aporte hídrico que operan de forma simultánea sobre los taludes intermedios superior e inferior, los cuales corresponden a flujos superficiales intermitentes que descienden desde la parte alta de la ladera sin ser captados, y aportes laterales concentrados en los puntos topográficamente bajos del borde de la banca.

La escorrentía superficial que discurre sin captación sobre el cuerpo del flujo puede afectar negativamente la estabilidad del talud si este se satura. Por lo tanto, las obras de captación, conducción y evacuación del agua superficial, correctamente implantadas para interceptar ambos mecanismos de aporte hídrico, son suficientes para mantener el perfil geotécnico del talud en el estado de humedad actualmente observado, que corresponde a la condición estable del sistema. Sin el manejo adecuado de estas aguas superficiales, los episodios de precipitación intensa saturarían progresivamente los materiales Stflo y Stft que conforman el cuerpo del flujo de baja cohesión y alta susceptibilidad hídrica y reactivarían el proceso de remoción en masa, comprometiendo la estabilidad de la banca vial y los sectores adyacentes.

Las obras de drenaje propuestas se dividen en dos grupos según su emplazamiento: obras en ladera, orientadas al manejo de la escorrentía superficial y al control de la infiltración en el cuerpo del talud; y obras en cauce, destinadas a la gestión del material transportado, la disipación de energía y la estabilización morfológica de los drenajes naturales del área de estudio.

6.4.1.1 Trincheras drenantes

6.4.1.1.1 Descripción y ubicación

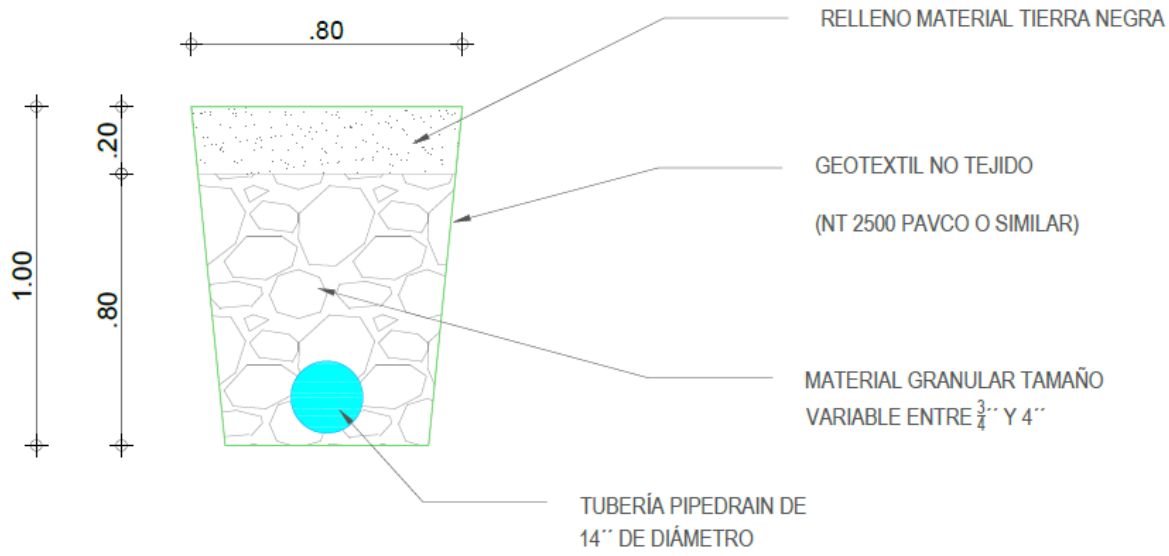
Las trincheras drenantes son estructuras lineales de captación y conducción subsuperficial de agua que interceptan los flujos difusos que circulan a través de los horizontes superficiales del suelo y los conducen de forma controlada hacia puntos de descarga

definidos en el diseño hidráulico, impidiendo su infiltración hacia capas más profundas del perfil geotécnico. Estas obras se emplazan de forma transversal a la dirección del flujo superficial, este se ubica en la zona de mayor concentración de escorrentía sobre el cuerpo del depósito. Su disposición en planta sigue las curvas de nivel del terreno, de modo que cada trinchera corte perpendicularmente las líneas de flujo antes de que el agua alcance el núcleo del depósito inestable.

Estas obras se ubican principalmente sobre el talud intermedio superior y el talud intermedio inferior, que corresponden respectivamente a la banca superior e inferior de la. Estos son los tramos del sitio crítico identificados como zonas de intervención prioritaria, dado que presentan los factores condicionantes de mayor relevancia geotécnica.

Funcionalmente, la trinchera opera como un filtro lineal: el agua de escorrentía y los flujos subsuperficiales son captados a través del relleno granular, conducidos por gravedad a lo largo del eje de la estructura y descargados en una cuneta, canal perimetral o directamente al cauce natural. Su sección típica consiste en una excavación rellena con material filtrante granular y grava de ¾" a 1½" que está envuelto en geotextil no tejido de alta permeabilidad, con tubo dren perforado central en los tramos donde la intensidad del flujo subsuperficial lo justifique. El geotextil cumple la función de separación y filtración, impidiendo la migración de los finos del suelo circundante, el contenido de finos del orden del 49% en los materiales Stflo y Stft hacia el interior del relleno granular.

Figura 6-36 Esquema general trinchera drenante



Fuente: (Suárez, 2009)

6.4.1.1.2 *Justificación geotécnica*

Los materiales que conforman el cuerpo del flujo de tierras Stflo (limo arcilloso orgánico) y Stft (suelo arenoso de grano fino a muy fino) los cuales presentan cohesión efectiva muy baja 0 a 6 kPa, ángulos de fricción de 27° y 30° respectivamente, y un contenido de finos superior al 49% con índices de plasticidad entre 6.85% y 38.29%. Estas características los hacen altamente susceptibles a la pérdida de resistencia al corte ante el incremento del contenido de humedad. Cuando el perfil geotécnico alcanza condiciones de saturación producto de la infiltración de los flujos superficiales no captados que transitan longitudinalmente sobre la banca de la vía, la resistencia de estos materiales se reduce de manera significativa y el talud puede perder la estabilidad actualmente observada.

Las trincheras drenantes interceptan estos flujos antes de que lleguen al depósito, reducen el volumen de agua que infiltra el perfil y contribuyen a mantener el suelo en el estado de humedad de la condición estable actualmente registrada. Sin estas obras, los episodios de precipitación prolongada o intensa favorecerían la saturación progresiva del horizonte Stflo superficial y del estrato Stft subyacente, incrementarían la presión de poros y reactivarían el flujo de tierras sobre los taludes intermedios superior e inferior.

6.4.1.1.3 Aspectos constructivos

Los aspectos geotécnicos de mayor relevancia durante la construcción de las trincheras son los siguientes:

- Excavaciones: los materiales superficiales Stflo presentan consistencia blanda (N-SPT de 5 a 8 golpes/pie), lo que impide la estabilidad de paredes verticales sin entibamiento. Las paredes de la excavación deberán tenderse o entibarse en función de la profundidad y las condiciones de humedad en el momento de la construcción. Se deberá evitar dejar excavaciones abiertas durante jornadas de lluvia intensa.
- Control de agua durante la construcción: se recomienda programar la ejecución en períodos de menor precipitación. Ante la presencia de agua en el fondo de la excavación, deberá implementarse achique previo a la colocación del geotextil y del material filtrante, para garantizar la correcta función de filtración desde el inicio de la operación de la obra.
- Relleno: el material filtrante deberá cumplir con los criterios de filtro compatibles con la granulometría del suelo circundante Stflo/Stft, de modo que se evite la colmatación prematura. El relleno de cobertura sobre el geotextil deberá compactarse por capas de máximo 20 cm con equipo manual de impacto.
- Disposición de material excavado: los materiales producto de la excavación deberán retirarse del área del talud y disponerse en sitios estables fuera de la zona afectada por el flujo, para evitar su reincorporación al depósito durante episodios de precipitación.

6.4.1.2 Trincho disipador

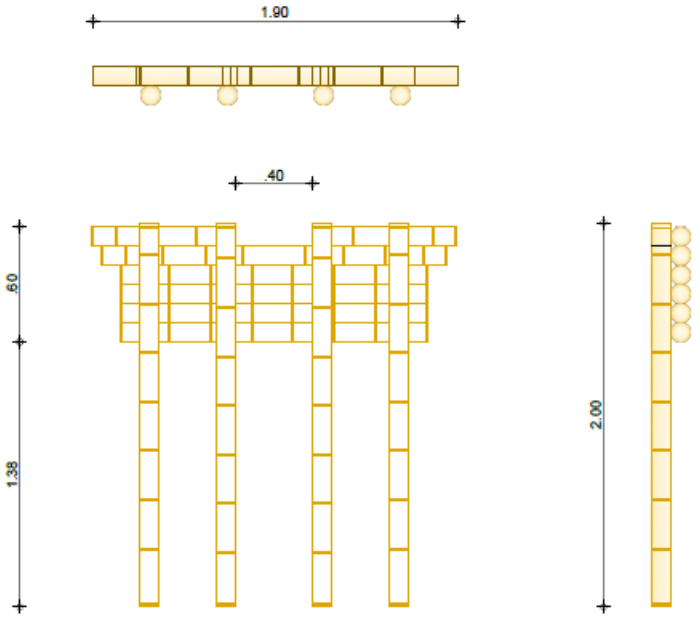
6.4.1.2.1 Descripción y ubicación

El trincho disipador es la estructura principal de conducción y disipación de energía del sistema de drenaje en ladera del sitio crítico del Polígono 3. Funciona como el canal receptor al que descargan las trincheras drenantes descritas en la sección anterior. El trincho disipador está conformado por elementos estructurales de guadua conformado por elementos verticales y horizontales dispuestos en una configuración de rejilla permeable

que permiten el paso del flujo de agua a través de su estructura mientras disipan progresivamente la energía del caudal conducido, reduciendo la velocidad del flujo y evitando la erosión del lecho y las márgenes del canal.

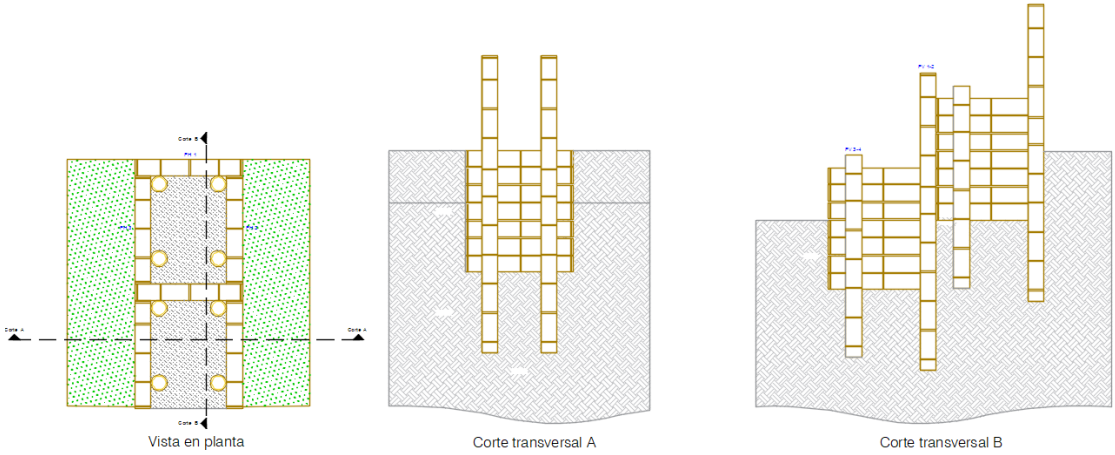
La estructura se dispone siguiendo la dirección preferencial del flujo superficial sobre el talud, en posición longitudinal al eje de drenaje, de modo que reciba las descargas de las trincheras drenantes transversales e incorpore gradualmente el caudal a lo largo de su recorrido. Se ubica principalmente sobre el talud intermedio superior y el talud intermedio inferior y esta descarga en un Box Culvert que es una estructura actual.

Figura 6-37 Esquema general trinchos disipadores (tipo 1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-38 Esquema general trinchos disipadores (tipo 2)



Fuente: Elaboración propia

6.4.1.2.2 *Justificación geotécnica*

El reconocimiento de campo identificó en los taludes intermedios superior e inferior la presencia de puntos topográficamente bajos donde la geometría del terreno ha favorecido la concentración progresiva de la escorrentía superficial, conformando canales naturales incipientes por los que discurre el mayor volumen de agua sobre el talud. Es precisamente siguiendo el trazado longitudinal de estos canales naturales donde se propone construir el trincho disipador, aprovechando la condición topográfica preexistente para captar el flujo concentrado, conducirlo de forma controlada y reducir su velocidad antes de la entrega al Box Culvert. Adicionalmente, el trincho actúa como estructura receptora del sistema de drenaje en ladera: las trincheras drenantes y los biorollos descargan hacia él el agua interceptada sobre el talud, de modo que toda la escorrentía captada converge en un único eje de conducción y disipación.

6.4.1.2.3 *Aspectos constructivos*

- Tratamiento de la guadua: los elementos de guadua deberán recibir tratamiento preservante compatible con el contacto permanente con agua y suelo orgánico, dado que el horizonte Stflo presenta alto contenido de materia orgánica que acelera la degradación biológica del material vegetal. El tratamiento preservante deberá aplicarse antes de la instalación, incluyendo los extremos de los postes que

quedarán empotrados en el suelo.

- Protección del lecho: el fondo de la zanja de implantación del trincho disipador deberá protegerse contra la erosión generada por el flujo concentrado. Se recomienda disponer una capa de material filtrante granular y un geotextil en el fondo del canal, para evitar la socavación progresiva del horizonte Stflo en los tramos de mayor pendiente longitudinal.

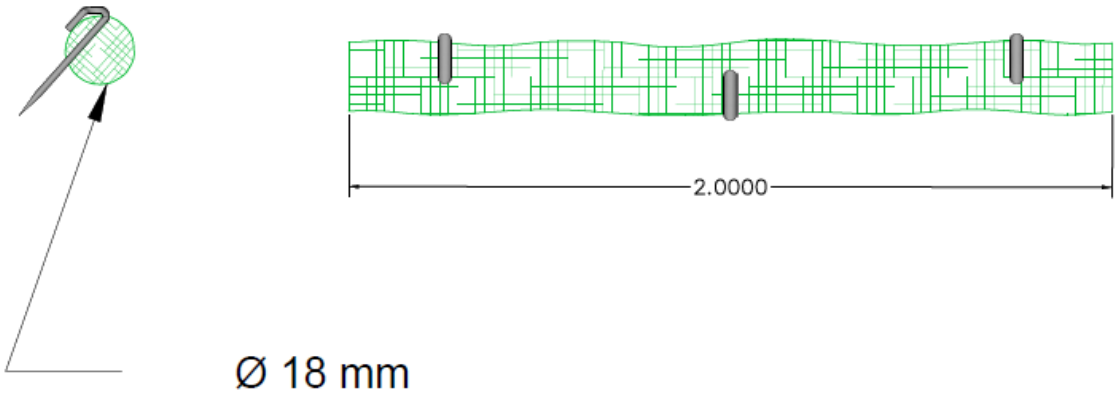
6.4.1.3 Biorollos

6.4.1.3.1 Descripción y ubicación

Los biorollos son estructuras de control de erosión superficial y regulación de la escorrentía fabricadas con materiales vegetales conformadas en cilindros de diámetro variable que se disponen en posición transversal a la dirección del flujo superficial, formando barreras permeables de baja altura. En el sitio crítico del Polígono 3, se ubican principalmente sobre la superficie expuesta de los taludes intermedios superior, en los sectores donde la ocurrencia del flujo de tierras dejó la capa Stflo superficial sin cobertura vegetal, expuesta directamente al impacto de la lluvia y a la escorrentía concentrada.

Su función es reducir la velocidad de escorrentía superficial, promover la sedimentación de partículas finas arrastradas por el flujo, facilitar una infiltración gradual y distribuida a lo largo de la ladera que mermita el crecimiento de la cobertura vegetal de restauración.

Figura 6-39 Esquema general biorrollos



Fuente: Elaboración propia

6.4.1.3.2 *Justificación geotécnica*

La superficie de los taludes del flujo de tierras presenta materiales Stflo de cohesión muy baja y alta susceptibilidad a la erosión laminar y en surcos. La pérdida de cobertura vegetal provocada por el movimiento en masa deja estos materiales expuestos al impacto directo de la lluvia, lo que genera disgregación superficial, transporte de partículas finas y apertura de surcos que incrementan progresivamente la escorrentía concentrada sobre el talud. Si este proceso no se controla, la degradación superficial del depósito avanza y reduce el espesor del perfil disponible para el anclaje de la vegetación de restauración.

6.4.1.3.3 *Aspectos constructivos*

- La instalación deberá realizarse en dirección estrictamente perpendicular a la pendiente, siguiendo las curvas de nivel. La separación entre hileras se definirá en función de la pendiente del terreno: a mayor pendiente, mayor proximidad entre rollos.
- Deberá evitarse la compactación del suelo en la franja adyacente al biorollo durante la instalación, ya que la reducción de la permeabilidad del suelo circundante generaría flujo de bypass alrededor de la estructura y anularía su función.
- La siembra del material vegetal entre los biorollos deberá realizarse simultáneamente con la instalación.

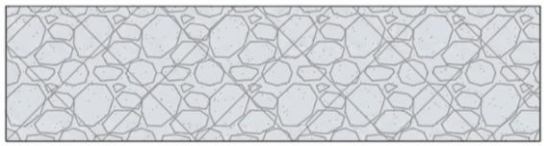
6.4.1.4 Diques de sacos terreros

6.4.1.4.1 *Descripción y ubicación*

Los diques de sacos terreros son estructuras de disipación de energía y control de la escorrentía conformadas por costales rellenos de material granular del sitio, dispuestos en hileras transversales a la dirección del flujo superficial. Su permeabilidad permite el paso gradual del agua mientras reducen la velocidad del flujo, favorecen la sedimentación de partículas finas y protegen la superficie del talud contra la erosión concentrada. En el sitio crítico del Polígono 3, estas estructuras se ubican exclusivamente en el talud intermedio superior, en el tramo comprendido entre la primera y la segunda estructura transversal permeable, donde la escorrentía intermitente discurre sobre los materiales expuestos del depósito sin un canal principal intervenido.

Su disposición en el esquema de obras sigue la lógica del sistema de drenaje del talud intermedio superior: la primera estructura transversal permeable retiene el material grueso proveniente del afloramiento rocoso y entrega el flujo de agua hacia los diques, estos reducen progresivamente la velocidad de la escorrentía a lo largo del talud, y la segunda estructura transversal permeable cierra el sistema en el punto de transición hacia el talud intermedio inferior.

Figura 6-40 Diques de sacos



Fuente: Elaboración propia

6.4.1.4.2 *Justificación geotécnica*

En el tramo del talud intermedio superior comprendido entre las dos estructuras transversales permeables no existen trincheras drenantes ni trincho disipador, dado que la condición topográfica y la presencia de escorrentía intermitente sobre material expuesto no configura un canal de flujo concentrado sino una escorrentía difusa que en épocas de lluvia podría ser de alta energía sobre una superficie de baja cohesión. Su instalación no requiere excavaciones que desestabilicen el horizonte Stflo blando; su permeabilidad evita la generación de presión hidrostática aguas arriba que podría incrementar la presión de poros en el perfil.

6.4.1.4.3 *Aspectos constructivos*

- Los sacos deberán rellenarse con material granular que provee mayor resistencia al desplazamiento bajo la carga hidráulica del flujo.
- La instalación deberá realizarse en hileras escalonadas siguiendo las curvas de nivel del terreno, con cada hilera desplazada respecto a la anterior en media longitud de saco para garantizar el trabado entre elementos y evitar el paso concentrado del flujo por las juntas verticales.
- Los sacos deberán anclarse al terreno mediante estacas de madera o guadua hincadas a través de las hileras, para evitar el desplazamiento de los elementos por

la fuerza del flujo durante eventos de precipitación intensa.

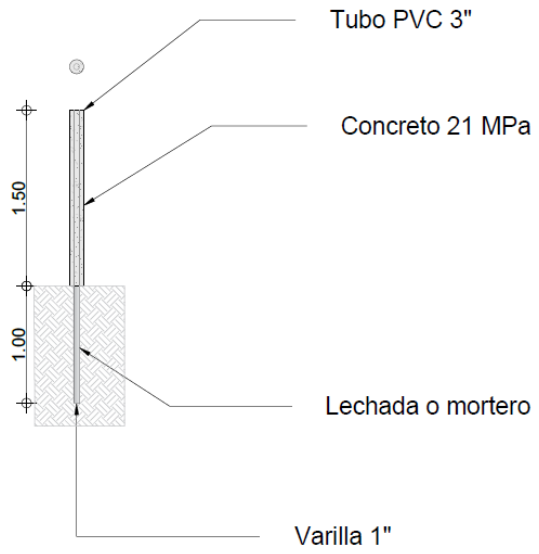
- De forma simultánea a la instalación de los diques, deberá sembrarse vegetación nativa de rápido establecimiento en los espacios entre hileras, para que el sistema radicular consolide progresivamente el material retenido entre diques.

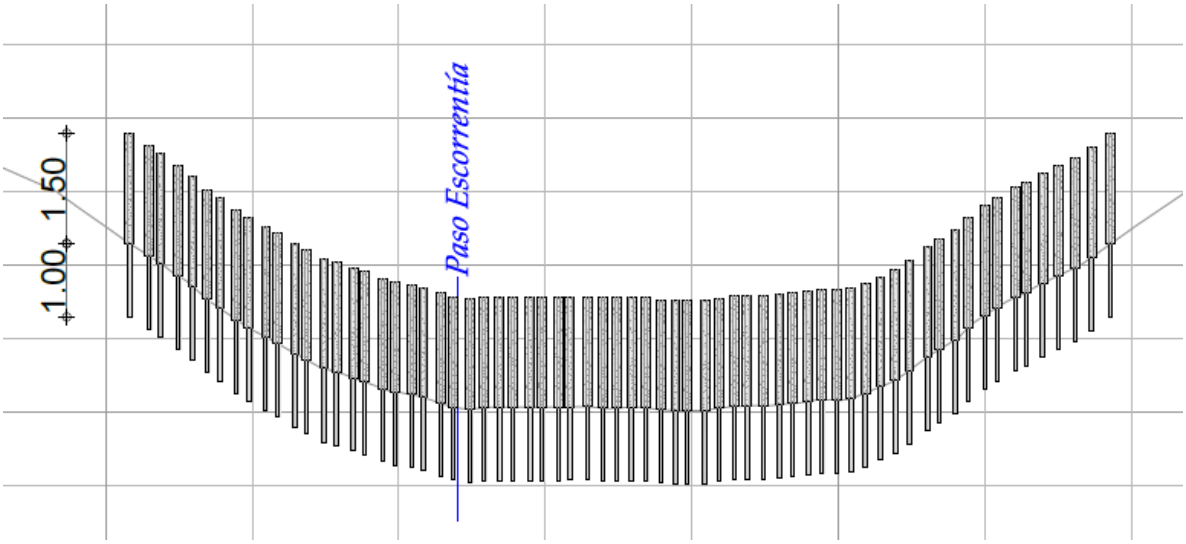
6.4.1.5 Estructuras transversales permeables

6.4.1.5.1 Descripción y ubicación

El sistema está conformado por varillas de acero corrugado de 1" de diámetro alojadas dentro de un tubo de 4", fundidos conjuntamente con concreto, las varillas deben ser empotrados en el terreno y fundidas en concreto, dichos elementos quedan sobresaliendo de la superficie del terreno entre 1,0 m a 1,5 m de acuerdo a su ubicación. Los elementos se distribuyen en arreglo a tresbolillo con separación horizontal de 30 cm entre ejes, formando una trama de pilotes cortos que actúa como barrera de retención permeable. El sistema se ubica sobre los sectores del talud intermedio superior e inferior donde el cuerpo del flujo de tierras Stflo y Stft presenta mayor exposición y donde se requiere interceptar el material sin generar una estructura continua e impermeable al paso del agua.

Figura 6-41 Detalle estructura transversal permeable





Fuente: Elaboración propia

6.4.1.5.2 *Justificación geotécnica*

Los materiales Stflo y Stft presentan cohesión efectiva muy baja y alta susceptibilidad a la pérdida de resistencia al corte ante saturación, lo que favorece el transporte de material grueso y fino hacia los sectores topográficamente bajos del talud. El arreglo de elementos tipo pilote corto, dispuestos a tresbolillo con separación de 30 cm, permite retener el material grueso movilizado mediante la acción conjunta de la trama rígida, evitando simultáneamente la generación de una barrera impermeable que pudiera inducir presión hidrostática o embalsamiento de agua aguas arriba de la estructura.

6.4.1.5.3 *Aspectos constructivos*

- **Perforación y anclaje:** Deberá ejecutarse la perforación en el terreno con la profundidad de empotramiento requerida para el trabajo del elemento como pilote corto, considerando la solicitación por empuje del material retenido.
- **Instalación del conjunto varilla-tubo:** La varilla de 1" deberá centrarse dentro del tubo de 4" antes del fundido, garantizando que ambos elementos queden solidarizados a través del concreto tanto en el tramo empotrado como en el tramo expuesto.
- **Altura libre:** El conjunto deberá quedar sobresaliendo entre 1,0 m a 1,5 m sobre el nivel del terreno natural, verificando uniformidad en la altura expuesta a lo largo de

toda la trama.

- **Distribución en planta:** arreglo a tresbolillo con separación horizontal de 30 cm entre ejes, iniciando el trazado desde la cota inferior del sector a intervenir

6.4.2 OBRAS DE DRENAJE – SITIO CRÍTICO 2

El diagnóstico geotécnico del sitio crítico 2 estableció que además de la función de retención y control hídrico propia de las obras de estabilización, el sistema de intervención propuesto debe orientarse a favorecer la recuperación de la cobertura vegetal sobre las superficies expuestas, en la medida en que la pérdida de vegetación constituye en sí misma un factor que predispone la susceptibilidad del sector a nuevos procesos erosivos y flujo de detritos. Las obras propuestas se dividen en dos grupos complementarios: una estructura de retención tipo saco con material vegetal, emplazada en la zona de depositación, orientada principalmente al restablecimiento directo de la cobertura vegetal sobre el depósito; y estructuras de retención drenante ancladas al macizo rocoso, dispuestas en las zonas de transporte y depositación, cuya función de control de retención e hídrico busca generar las condiciones de estabilidad y humedad necesarias para que la revegetación natural del entorno rocoso pueda establecerse progresivamente.

6.4.2.1 Sacos de retención con material vegetal

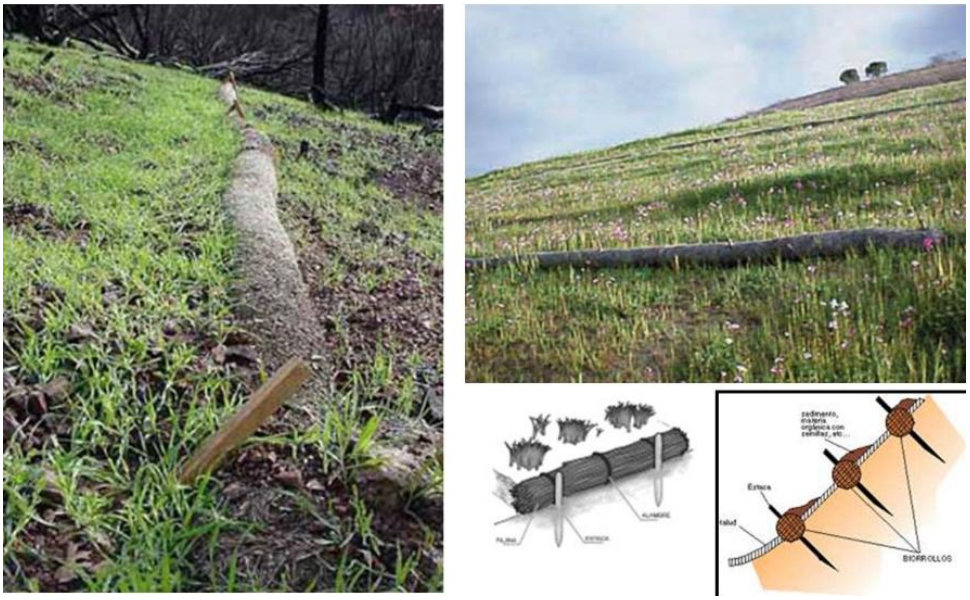
6.4.2.1.1 Descripción y ubicación

La estructura de retención propuesta para la zona de depositación del sitio crítico 2 corresponde a sacos rellenos con material de sustrato y semillas de especies vegetales de rápido establecimiento, dispuestos en hileras transversales a la dirección del flujo. Esta configuración favorece la implantación de especies vegetales mediante aporte directo de semillas y cuya finalidad incluye estabilizar la ladera frente a los movimientos en masa y crear un microclima favorable para la colonización y el desarrollo de la vegetación. A diferencia de una estructura de contención exclusivamente mecánica, el componente biológico incorporado desde la instalación busca que la propia estructura constituya el punto de partida de la recuperación del ecosistema vegetal sobre la superficie carente de cobertura por efecto del movimiento.

Las estructuras se ubican en la zona de depositación del flujo, sector donde el material transportado pierde energía y se acumula, configurando la superficie con mayor potencial

de acumulación, por tanto, de mayor aptitud para el establecimiento de la vegetación de restauración.

Figura 6-42 Detalle sacos de retención



Fuente: Elaboración propia

6.4.2.1.2 *Justificación geotécnica*

La pérdida de cobertura vegetal generada por el movimiento en masa deja expuesta la zona de depositación al impacto directo de la lluvia y a la escorrentía concentrada, condición que, de no intervenirse, favorece la disgregación superficial del material, el transporte de partículas finas y la apertura progresiva de surcos, lo que a su vez retrasa indefinidamente el proceso natural de sucesión vegetal sobre el depósito. La instalación de estructuras con capacidad de revegetación directa responde a esta condición: al reducir la velocidad de la escorrentía y promover la sedimentación de partículas finas, estas estructuras generan un primer sustrato estable sobre el cual la vegetación puede anclarse.

6.4.2.1.3 *Aspectos constructivos*

- Los sacos deberán rellenarse con un sustrato adecuado para la germinación de las semillas incorporadas, garantizando capacidad de retención de humedad sin comprometer la permeabilidad de la estructura frente al paso del flujo de agua.
- La disposición en planta deberá seguir un arreglo transversal a la dirección del flujo,

siguiendo las curvas de nivel del terreno, en hileras escalonadas que favorezcan el trabado entre elementos y la continuidad de la franja de revegetación.

- Los sacos deberán anclarse al terreno mediante estacas, evitando su desplazamiento por acción de la carga hidráulica o el peso del material retenido, condición indispensable para no interrumpir el proceso de establecimiento vegetal en curso.

6.4.2.2 Estructuras de retención drenante ancladas

6.4.2.2.1 Descripción y ubicación

El mecanismo de falla planar identificado en la estación E14 dejó expuestas superficies rocosas remanentes susceptibles de generar nuevos desprendimientos. El arreglo de pilotes cortos a tresbolillo intercepta y retiene los fragmentos de roca movilizados a lo largo del recorrido del flujo principalmente en la zona de depositación y en la zona de transporte, mientras que la separación de 30 cm entre elementos permite el paso del agua proveniente de la escorrentía superficial.

6.4.2.2.2 Aspectos constructivos

- Perforación y anclaje: La perforación deberá ejecutarse con profundidad de empotramiento suficiente para el trabajo del elemento como pilote corto ante el empuje del material retenido.
- Instalación del conjunto varilla-tubo: La varilla de 1" deberá centrarse dentro del tubo de 4" antes del fundido conjunto en concreto.
- Altura libre: el conjunto deberá sobresalir entre 1,0 m y 1,5 m sobre el terreno natural.
- Distribución en planta: arreglo a tresbolillo con separación horizontal de 30 cm entre ejes, priorizando los sectores de mayor exposición del macizo remanente.

6.4.3 OBRAS DE DRENAJE – SITIO CRÍTICO 3

6.4.3.1 Sistema de retención drenante

6.4.3.1.1 Descripción y ubicación

El sistema está conformado por varillas de acero de 1" de diámetro alojadas dentro de un

tubo de 4", fundidos conjuntamente con concreto, anclados al horizonte de meteorización de la Formación Arenisca Dura, de modo que el conjunto sobresalga entre 1,0 m y 1,5 m sobre la superficie natural. Los elementos se distribuyen en arreglo a tresbolillo con separación horizontal de 30 cm entre ejes. El sistema se ubica sobre el escarpe y la zona de transporte del flujo de detritos identificado en la estación E22.

6.4.3.1.2 Justificación geotécnica

El material remanente en el escarpe corresponde a clastos heterométricos embebidos en matriz residual arenosa de baja cohesión, condición que favorece nuevos desprendimientos ante saturación. El arreglo de pilotes cortos a tresbolillo permite interceptar y retener los clastos de mayor tamaño movilizados por el flujo, mientras que la separación de 30 cm entre elementos posibilita el paso del agua de escorrentía e infiltración, evitando el embalsamiento que agravaría la saturación del horizonte residual, factor detonante principal del movimiento.

6.4.3.1.3 Aspectos constructivos

- Perforación y anclaje: deberá adaptarse a la naturaleza heterogénea del material (suelo residual o clastos rocosos), verificando en cada punto la profundidad de empotramiento necesaria.
- Instalación del conjunto varilla-tubo: la varilla de 1" deberá centrarse dentro del tubo de 4" antes del fundido conjunto en concreto.
- Altura libre: el conjunto deberá sobresalir entre 1,0 m y 1,5 m sobre el terreno natural.
- Distribución en planta: arreglo a tresbolillo con separación horizontal de 30 cm entre ejes, desde el escarpe principal hacia la zona de transporte.

6.5 ANÁLISIS PREDIAL

El análisis predial tiene como propósito identificar y caracterizar los predios que pueden estar relacionados con las áreas previstas para intervención, determinando su localización, extensión y condición dentro del área de estudio. Para ello, se realizó el análisis espacial de la información disponible mediante herramientas SIG, permitiendo establecer la relación entre las zonas de intervención y la estructura predial existente. Los resultados obtenidos constituyen un insumo para determinar los requerimientos prediales asociados al proyecto.

Para el desarrollo del análisis predial se utilizó información geográfica y catastral proveniente de fuentes oficiales del Distrito. La información base fue consultada y extraída de la plataforma geográfica del Observatorio del Espacio Público de Bogotá – DADEP, la cual integra información espacial de diferentes entidades distritales, incluyendo información de la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD). Adicionalmente, se consultó el portal de Datos Abiertos Bogotá como fuente complementaria para la identificación y caracterización de los predios del área de estudio.

La información recopilada fue incorporada y procesada mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo realizar la delimitación, consulta y análisis espacial de los predios asociados a las áreas objeto de intervención. A partir de estas fuentes se obtuvieron variables como la identificación predial, localización y área, utilizadas como insumo para establecer los predios potencialmente involucrados en el desarrollo de las intervenciones propuestas.

Ahora bien, como resultado del análisis espacial realizado, se identificaron las diferentes categorías de propiedad presentes dentro del área correspondiente al Polígono 3. La distribución de las áreas según el tipo de propiedad se presenta en la Tabla 6-11.

Tabla 6-11 Caracterización predial

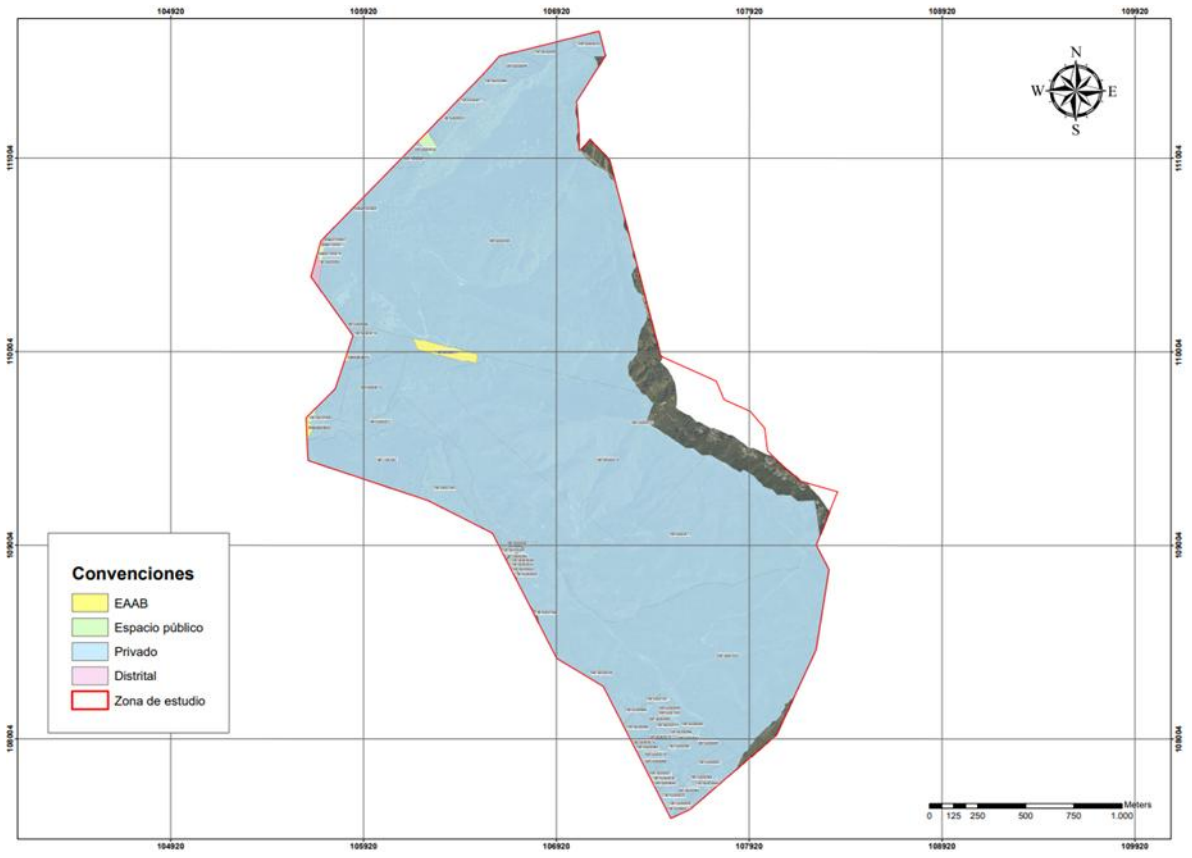
Tipo de propiedad	Área (m²)	Participación
Distrital	13256	0,2%
Privado	5119095	93,2%
EAAB	19842	0,4%
Espacio público	12596	0,2%
Subtotal con información	5164790	94,0%
Sin información	328528	6,0%

Tipo de propiedad	Área (m²)	Participación
Total, Polígono 3	5493318	100%

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-43 se presenta la distribución espacial de los predios identificados dentro del Polígono 3, diferenciados de acuerdo con su tipo de propiedad. La representación permite visualizar la localización y extensión de las áreas correspondientes a predios distritales, privados, de la EAAB y de espacio público, así como aquellas zonas para las cuales no se cuenta con información predial.

Figura 6-43 Análisis predial



Fuente: Elaboración propia

6.5.1 AFECTACIÓN PREDIAL

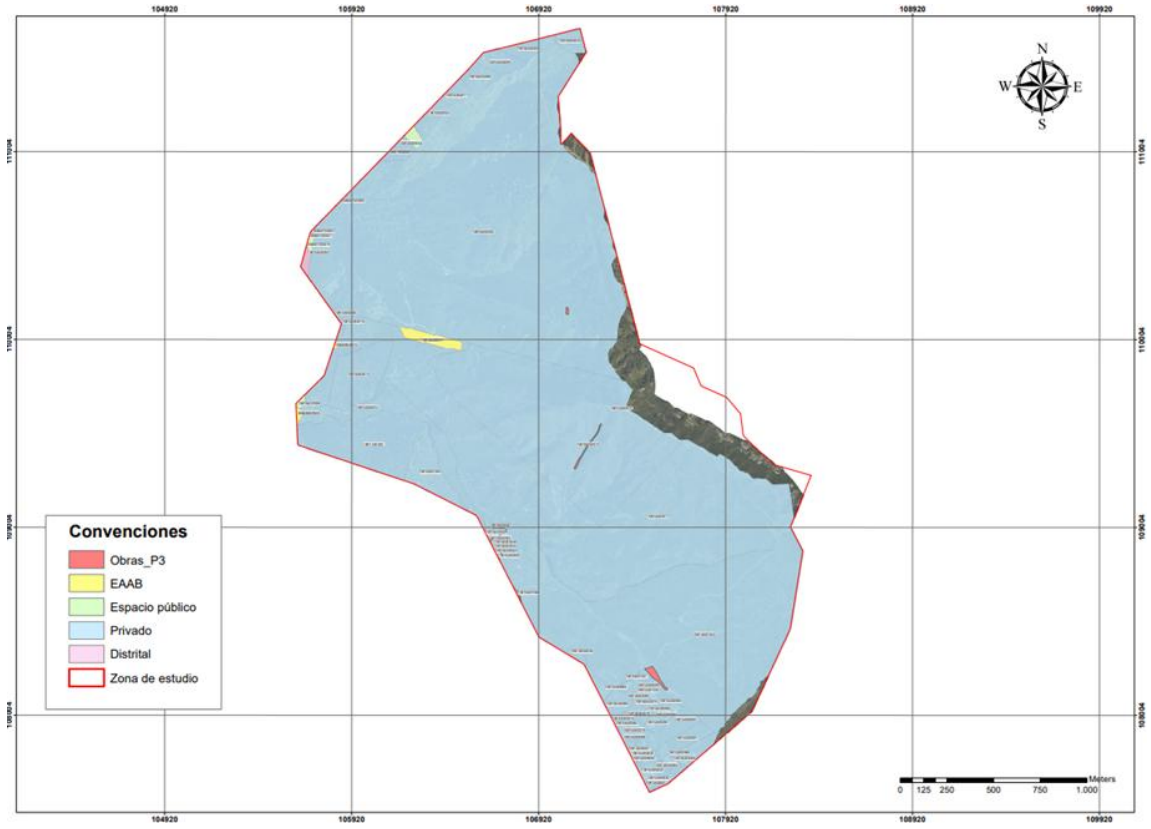
Con el fin de determinar la condición predial asociada a las obras proyectadas, se realizó el cruce espacial entre las intervenciones propuestas y la información predial disponible

para el Polígono 3. Este análisis permitió establecer la distribución de las obras de acuerdo con el tipo de propiedad y determinar el número de predios que presentan intervención.

De acuerdo con los resultados, todas las obras proyectadas se desarrollarán sobre predios de carácter privado, por lo que su ejecución requerirá considerar esta condición dentro de las actividades de gestión y verificación predial correspondientes. Por su parte, en términos de cantidad de predios, se determinó que las tres (3) obras proyectadas se desarrollarán sobre tres (3) predios de carácter privado.

En la Figura 6-44 se presenta la localización espacial de las obras proyectadas y su relación con los diferentes tipos de propiedad identificados dentro del área de estudio. La figura permite visualizar los predios involucrados en las intervenciones, diferenciando su condición predial.

Figura 6-44 Afectación predial



Fuente: Elaboración propia

6.5.2 ANEXOS

- Figura de Análisis Predial
- Figura de Afectación Predial.

6.6 CANTIDADES DE OBRA, ACTIVIDADES, ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS, PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN DE OBRA

A continuación se presenta el presupuesto para la construcción de los 3 sitios críticos priorizados, todos los insumos, cantidades, APUs, especificaciones técnicas, análisis de AIU, y precios de referencias, así como el cronograma se presentan en los anexos.

Tabla 6-12 Presupuesto tres sitios críticos

SITIO CRITICO 1					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES				
1,1	Localización y replanteo de obras (incluye topografia actualizada).	m²	4.141,00	$ 2.890,00	$ 11.967.490,00
1,2	Descapote a maquina en material común (E=10 a 30 cm. Incluye cargue) Incluye transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado.	m²	2.978,00	$ 11.746,00	$ 34.979.588,00
				SUBTOTAL: CAPITULO 1 - PRELIMINARES	$ 46.947.078,00
2	OBRAS Y/O SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA				
2,1	Construccion de sistema de retencion drenante.	u	138,00	$ 129.667,00	$ 17.894.046,00
2,2	Suministro e instalación de nucleo diques transversales en gavion flexible con dimensiones de 1,0m de largo X 0,25m de ancho X 0,30m de alto, en Gesoestera - Hidromalla BX50 o similar. Incluye relleno con material de sitio seleccionado.	u	9,00	$ 123.527,00	$ 1.111.743,00
2,3	Trinchos Tipo 1: Construccion de terrazas disipadoras en guadua inmunizada Ø4", incluye excavación y reconformación del terreno.	u	9,00	$ 262.591,00	$ 2.363.319,00
2,4	Suministro e instalación BIOROLL Ø= 18cm revegetado tipo FILTER DRENCH o similar, para control de erosión y disminución de energía del flujo en áreas de escorrentía	m	24,00	$ 70.260,00	$ 1.686.240,00
2,5	Trinchos Tipo 2: Construccion de terrazas disipadoras en guadua inmunizada Ø4", incluye excavación y reconformación del terreno.	m	43,00	$ 414.420,00	$ 17.820.060,00
2,6	Construccion de trinchera drenante, en material granular 3/4" a 4", sección trapezoidal 0.80 m (sup.) - 1.00 m (prof.) y tubería pvc ranurada Ø=14".	m	40,00	$ 276.616,00	$ 11.064.640,00
				SUBTOTAL: CAPITULO 2 - OBRAS Y/O SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA	$ 51.940.048,00
6	TRANSPORTE				
3,1	Disposición final de escombros	m3/km	19,00	$ 13.103,00	$ 248.957,00
				SUBTOTAL: CAPITULO 6 - TRANSPORTE	$ 248.957,00
				I. SUBTOTAL COSTO DIRECTO OBRAS (1 + 2 + 3)	$ 98.887.126,00
II. SITIO CRITICO 2					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES				
1,1	Localización y replanteo de obras (incluye topografia actualizada).	m²	5.384,00	$ 2.890,00	$ 15.559.760,00
1,2	Descapote a maquina en material común (E=10 a 30 cm. Incluye cargue) Incluye transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado.	m²	3.769,00	$ 11.746,00	$ 44.270.674,00
				SUBTOTAL: CAPITULO 1 - PRELIMINARES	$ 59.830.434,00
2	OBRAS Y/O SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA				
2,1	Construccion de sistema de retencion drenante.	u	204,00	$ 129.667,00	$ 26.452.068,00
2,2	Suministro e instalación de nucleo diques transversales en gavion flexible con dimensiones de 1,0m de largo X 0,25m de ancho X 0,30m de alto, en Gesoestera - Hidromalla BX50 o similar. Incluye relleno con material de sitio seleccionado.	u	312,00	$ 123.527,00	$ 38.540.424,00
				SUBTOTAL: CAPITULO 2 - OBRAS Y/O SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA	$ 64.992.492,00
				II. SUBTOTAL COSTO DIRECTO OBRAS (1 + 2)	$ 124.822.926,00

7 GESTIONES COMPLEMENTARIAS

7.1 APROPIACIÓN SOCIAL Y GOBERNANZA

Las acciones de Apropiación Social y Gobernanza formuladas constituyen la fase de consolidación del Plan de Gestión Social. Tienen como propósito trasladar los hallazgos del diagnóstico participativo hacia mecanismos operativos que garanticen la sostenibilidad de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) diseñadas. Estos programas responden directamente a los compromisos adquiridos en las jornadas comunitarias y se estructuran en cuatro líneas de acción contractual:

1. **Sensibilización y Educación Ambiental**: Enfocado en la erradicación de puntos críticos de basuras y conservación del ecosistema.

2. **Formación Técnica Local:** Capacitación comunitaria para el mantenimiento de biotecnologías e infraestructura verde.

3. **Monitoreo Participativo:** Conformación de comités comunitarios para la gestión del riesgo y alerta temprana.

Para garantizar que las Soluciones basadas en la Naturaleza sean sostenibles, adaptativas y apropiadas en el tiempo, se proponen acciones de Apropiación Social y Gobernanza Socio ecológica articulado con el IDIGER, las secretarías distritales y la red comunitaria.

7.1.1 PROGRAMA DE SENSIBILIZACIÓN Y EDUCACIÓN COMUNITARIA

- **Objetivo**: Desarrollar competencias en la comunidad y visitantes sobre la conservación de los cerros orientales y la prevención de riesgos climáticos.
- **Acciones**: Talleres sobre el manejo de residuos sólidos y erradicación del encendido de fogatas en áreas vulnerables (Salto del Halcón y zona de antenas), jornadas de señalización pedagógica e instalación de vallas de concientización ambiental en las entradas desde San Luis, El Codito y Club La Aguadora, rechazo a la colocación de canecas fijas en senderos para evitar la acumulación de basura doméstica, promoviendo el principio de "basura cero en la montaña" respaldado por la JAC.

7.1.2 PROGRAMA DE FORMACIÓN TÉCNICA Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES

- **Objetivo**: Capacitar a los residentes en la construcción, siembra y mantenimiento de obras de bioingeniería de suelos.
- **Acciones**: Conformación y capacitación formal de una Brigada Comunitaria de Emergencias y Monitoreo Ambiental, diversificando la responsabilidad para no recargar a los mismos líderes, transferencia de conocimiento técnico (siembra, mantenimiento y control de especies exóticas como pino y eucalipto).

7.1.3 PROGRAMA DE MONITOREO PARTICIPATIVO DEL RIESGO Y DEL ECOSISTEMA

- **Objetivo**: Integrar el saber local en la red de alerta temprana y evaluación del desempeño de las SbN.
- **Acciones**: Implementación de un protocolo veredal de inspección visual de escarpes y grietas en los Sectores más afectados tras eventos de lluvia intensa. Vigilancia comunitaria para la detección temprana.

7.2 PLAN DE GESTIÓN SOCIAL

7.2.1 OBJETIVOS

Establecer los lineamientos de la implementación del Plan de Gestión Social en la etapa de construcción; para el contratista de obra y la interventoría, de acuerdo con la Política de Gestión Social y Servicio a la ciudadanía establecidos en la norma y la supervisión.

7.2.1.1 Objetivos Específicos

- La divulgación clara del alcance, actividades y resultados esperados.
- La participación efectiva de actores clave.
- La gestión adecuada de la información durante todas las fases del estudio
- Establecer los criterios del programa de información y divulgación según las actividades de los diferentes programas del componente.
- Definir los parámetros del programa de participación y Servicio a la ciudadanía.
- Establecer los mecanismos de gestión adecuada y oportuna a las PQRSD.
- Establecer el recurso humano necesario para el cumplimiento del Plan de Gestión Social el desarrollo de la etapa de obra.
- Determinar las líneas estratégicas, programas y actividades a desarrollar en la etapa constructiva del proyecto.
- Establecer los requerimientos para la elaboración de las piezas de divulgación del proyecto, la atención al ciudadano y espacios de dialogo con la comunidad.
- Establecer los períodos de reportes del Plan que se deben entregar a la supervisión, para informar sobre la gestión realizada durante la etapa obra.
- Presentar el cronograma general del componente social.

7.2.2 TALENTO HUMANO

Tabla 7-1 Talento humano requerido fase de ejecución de obra

CARGO	PERFIL	ACTIVIDADES PRINCIPALES
RESIDENTE SOCIAL	Profesional del área social, trabajador social, sociólogo, antropólogo, comunicación social, psicólogo,	1. Coordinar, supervisar y responder por el desarrollo de los programas del Plan de Gestión Social. 2. Cumplir las obligaciones sociales contempladas en los pliegos de condiciones del contrato. 3. Dirigir e implementar las medidas sociales establecidas en el del plan de Gestión.

CARGO	PERFIL	ACTIVIDADES PRINCIPALES
	con experiencia profesional no menor de tres (3) años y especifica de un (1) año en el componente social en proyectos de infraestructura	4. Elaborar la metodología y cronogramas de actividades de cada una de las acciones establecidas en el plan. 5. Entregar los soportes de la gestión a la interventoría. 6. Representar al Contratista en las actividades del Plan de Gestión señaladas en el presente apéndice. 7. Mantener el conducto regular de comunicación con la supervisión, la interventoría, el equipo de trabajo del constructor y la comunidad. 8. Asistir y participar en los comités de seguimiento y cumplir. 9. Asistir, participar y organizar las reuniones que se realicen con la comunidad y cumplir con los compromisos adquiridos. 10. Asistir, participar y organizar a todas las reuniones extraordinarias. 11. Elaborar y realizar los trámites respectivos de las piezas divulgativas. 12. Entregar soportes semanales a la interventoría. 13. Dirigir y coordinar el Punto de Información. 14. Organizar en archivo cada uno de los programas del Plan de Gestión Social, el cual debe estar disponible en cualquier momento para la interventoría y a La supervisión. Este archivo será entregado por el contratista como soporte del informe final. 15. Coordinar y verificar la distribución de las Piezas de Divulgación en el área de influencia directa e indirecta. 16. Todas aquellas actividades relacionadas para el cumplimiento del Plan de Gestión Social.
GUIA CIVICO	Estudiante o recién egresado de carreras sociales o afines	1. Apoyar el desarrollo de Plan de Gestión Social. 2. Realizar la distribución del material de comunicación. 3. Apoyar el montaje y mantenimiento de Puntos de información. 4. Apoyar el desarrollo de las convocatorias con la comunidad para las reuniones y diferentes actividades que se requieran. 5. Mantener contacto asertivo con la comunidad. 6. Apoyar la identificación y recepción de los requerimientos ciudadanos. 7. Realizar apoyo logístico a las actividades que se requieran desde el componente social. 8. Apoyar las actividades relacionadas para el cumplimiento de la gestión social.

Fuente: Elaboración propia

7.2.3 ACTIVIDADES PREVIAS

El Contratista presentará un documento metodológico que defina donde de manera detallada los mecanismos, procedimientos y estrategias para el desarrollo de los

lineamientos, objetivos y programas del Plan de Gestión Social, los cuales se desarrollarán durante la ejecución del contrato.

A continuación, los productos:

- **Plan de Gestión Social** con la metodología y el cronograma, donde se deben desarrollar las líneas estratégicas.
- **La metodología** para el desarrollo de cada uno de los programas establecidos en el presente documento, soportada en las características del área de influencia indirecta y directa a intervenir en cada frente de obra, la cual incluya la forma de entrega de la información a la ciudadanía, reuniones propuestas, y contenido de las piezas de comunicación, ubicación y horario de atención del punto de información a la comunidad, y cronograma.
- **Formulación de indicadores de impacto**, productividad, eficacia, eficiencia, entre otros, que permitan medir los objetivos y las acciones desarrolladas en el marco del Plan de Gestión social, con el fin de posibilitar la evaluación semanal para el pago mensual.
- **Informe final** seguimiento y evaluación del Plan de Gestión Social, la cual se implementará en el desarrollo del contrato, cuyos resultados serán presentados en este documento.

7.2.4 PROGRAMA DE ATENCIÓN A LA COMUNIDAD

7.2.4.1 Servicio a la ciudadanía

Este programa está enfocado a la atención y servicio a la ciudadanía, con el fin de registrar oportunamente todos los requerimientos ciudadanos o PQRSD (Peticiones, Quejas, Reclamos, Sugerencias y Denuncias) en el sistema oficial de la entidad.

✓ **Objetivo**

Atender, gestionar y tramitar las PQRSD de la ciudadanía de manera eficaz, veraz y oportuna, para generar confianza en la ciudadanía y promover mecanismos adecuados de diálogo en torno al proyecto.

7.2.4.2 Dialogo y participación ciudadana

Generar un espacio permanente de encuentro, diálogo y atención a la ciudadanía con el fin de promover el conocimiento, la apropiación y corresponsabilidad con el desarrollo del proyecto, para minimizar los efectos sociales y económicos.

El programa de Diálogo y Participación Ciudadana cuenta con las siguientes acciones

a) El Contratista deberá ubicar y gestionar los sitios de reunión dentro del área de influencia directa del proyecto, verificando la capacidad y adecuación para la realización de la reunión, previa aprobación de la interventoría.
b) Las convocatorias se realizarán mediante volante puerta a puerta a los predios del área de influencia directa del proyecto y digital a todas personas que se tengan en la base de datos de los directorios del proyecto. Además, mediante comunicación oficial a las entidades locales y a las distritales que se requieran; así mismo a las organizaciones sociales, y organizaciones comunitarias. Los volantes se ubicarán en puntos estratégicos del área de influencia.
c) Las convocatorias se deberán realizar cinco días antes de la fecha de reunión. El volante de convocatoria deberá ajustarse a los parámetros establecidos por la supervisión y deberá contar con la aprobación de la Interventoría. Como soporte de la gestión de convocatoria se levantará un registro de entrega de volantes en el formato establecido.
d) El contratista debe informar: las características del contrato, los equipos responsables por cada una de las partes (contratista, interventoría y supervisión), la etapa y estado del momento del contrato; igualmente, registro fotográfico y/o fílmico del seguimiento de las obras; Además, creará un espacio para la solución de inquietudes formuladas por parte de los asistentes.
e) El contratista levantará los registros de asistencia y fotográfico de las diferentes reuniones, así como el acta, donde se realizará la síntesis de lo ocurrido.
f) Los horarios en los que se realicen las reuniones informativas deberán establecerse de acuerdo con la disponibilidad general de la comunidad. La asistencia a las reuniones informativas, principalmente las de inicio, avance y finalización, es obligatoria para las áreas técnicas, ambiental, social, tráfico y SST, así como para

el director del Contratista y de la Interventoría.

g) Los registros correspondientes a actas, listados de asistencia, registros fotográficos y soportes respectivos, serán debidamente organizados, archivados y presentados en los respectivos informes de gestión.

7.2.5 PROGRAMA DE DIVULGACIÓN

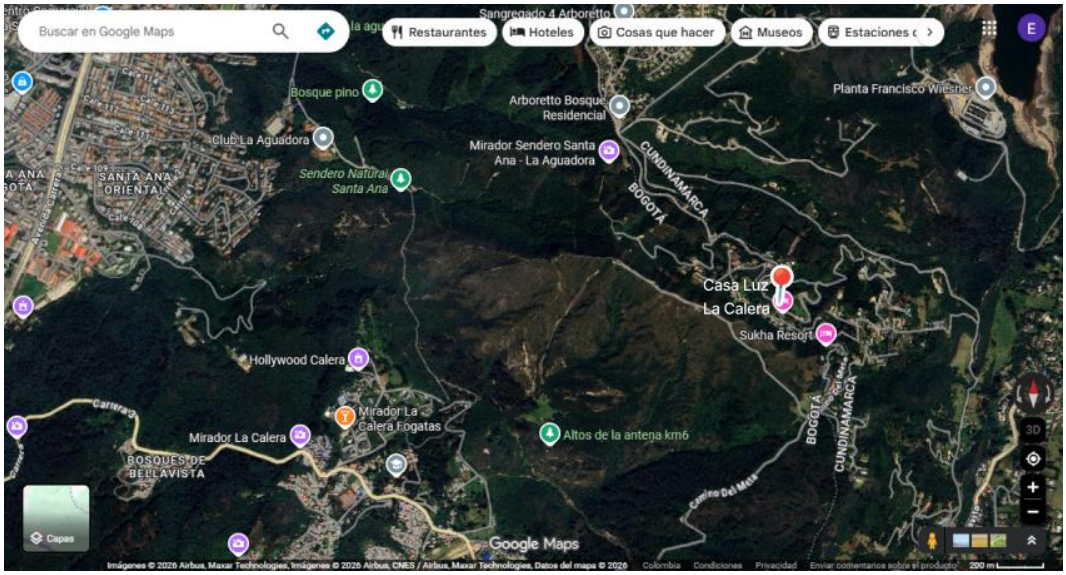
Para la realización de las reuniones, el principal enlace de coordinación es la presidenta de la Junta de Acción Comunal de la Vereda Camino al Meta. Durante la fase de estudios y diseños, los encuentros se llevaron a cabo en un salón llamado Casa Luz – La Calera dispuesto por la comunidad para este tipo de actividades, debido a que el barrio no cuenta con un salón comunal u otro espacio comunitario destinado para reuniones. A continuación, se presentan los datos de contacto de los principales actores del territorio.

Tabla 7-2 Contacto de actores principales

CARGO	NOMBRE	CONTACTO
Presidente de la Junta de Acción Comunal Vereda Camino al Meta	Luz Stella Correa	3162765495

Fuente: Elaboración propia

Figura 7-1 Localización sitio de reuniones



Fuente: Google Maps, 2026

Figura 7-2 Ubicación sitio de reuniones



Fuente: Google Maps, 2026

7.2.5.1 Reuniones de inicio

El Contratista realizará como mínimo una reunión de inicio quince días antes de comenzar el proceso constructivo, la cual será aprobada por la Interventoría y avalado por la supervisión. A dichas reuniones serán convocados los actores sociales involucrados.

El objetivo de esta actividad es informar a la comunidad ubicada en el Área de Influencia Directa- sobre el inicio del Proyecto, así como las características técnicas, ambientales, sociales, las etapas y los programas que se desarrollaran.

Los temas que se abordarán serán:

a) Presentación de los equipos para el proyecto: supervisión, interventoría (residentes de obra, de las áreas técnica, ambiental y social), y contratistas (residentes de obra y de las áreas técnica, ambiental y social).
b) Diseño definitivo y características de diseño urbano, explicación detallada del proyecto y de las obras, con sus etapas, cronograma y presupuesto.
c) Medidas de manejo previstas para cada uno de los impactos identificados (componentes: dialogo ciudadano y comunicación estratégica y ambiental).

d) Plan de Manejo de Tráfico – PMT – zonas de cargue y descargue, para comerciantes e industriales, señalización provisional, accesibilidad peatonal y vehicular.
e) Accesos vehiculares a predios: Normatividad vigente, requisitos establecidos para la definición de rampas de acceso vehicular.
f) Canales de información dispuestos para la atención de la ciudadanía
g) Programa de Cultura Ciudadana.

7.2.5.2 Reuniones de avance

Se debe realizar como mínimo una reunión de avance al cumplirse el 50% de avance de obra (avance aprobado por la interventoría y recibido por la supervisión), durante esta reunión se suministrará información sobre:

a) Presentación de los equipos para el proyecto: de la supervisión, la interventoría (residentes de obra, de las áreas técnica, ambiental y social), del Contratistas (residentes de obra y de las áreas técnica, ambiental y social).
b) Estado de las obras y cronograma de ejecución de las actividades faltantes (vías, espacio público, etc.).
c) Informe de avance del contrato del Plan de Gestión Social.
d) Informe de avance en la ejecución del contrato por componentes.
e) Cronograma de ejecución de las obras por ejecutar.

7.2.5.3 Reunión de finalización

El contratista debe realizar como mínimo una reunión de finalización, al cumplirse el 95% de obra y terminación de las actividades constructivas. Se abordarán los siguientes temas:

a) Presentación de los equipos para el proyecto: de la supervisión, la interventoría (residentes de obra, de las áreas técnica, ambiental y social), del Contratistas (residentes de obra y de las áreas técnica, ambiental y social).
b) Etapas ejecutadas
c) Presentación de resultados y evaluación de las áreas técnicas, ambiental y de Gestión Social.
d) Cronograma de ejecución de obras faltantes o por ejecutar.

e) Secuencia fotográfica o fílmica de la obra
f) Beneficios y recomendaciones para el mantenimiento de la obra.

7.2.5.4 Reuniones informativas extraordinarias

Se realizarán reuniones extraordinarias en el caso de presentarse situaciones imprevistas que ameriten informar en el marco del contrato o a solicitud de la Interventoría, la supervisión, la comunidad, actores políticos, o grupos interesados.

7.2.6 COMITÉ PARTICIPATIVO

El Contratista, deberá establecer un comité participativo, cual estará integrado por líderes de la comunidad, comerciantes, representantes de agremiaciones, representantes de colegios, instituciones de salud, representantes de las alcaldías locales. Su conformación se realizará en las reuniones informativas de inicio, aunque las personas interesadas podrán inscribirse a lo largo del proyecto.

Pasos para la consolidación del comité:

a) Los integrantes se registrarán en las planillas de inscripción los cuales estarán disponibles en el punto de información y en las diferentes reuniones.
b) La periodicidad de las reuniones del Comité será bimestral y deberán contar con la participación de los residentes sociales y de las áreas técnica, tráfico y SST del Contratista, Interventoría y de la supervisión.
c) En su desarrollo se identificarán las problemáticas manifestadas por los asistentes relacionados con la obra, se ofrecerán alternativas y se implementarán actividades para la solución de estas.
d) El objetivo del comité será motivar a los participantes a tener mayor compromiso y apropiación de la obra y a ser multiplicadores de los residentes del área de influencia directa de la información del proyecto. Se promoverán estrategias de formación y capacitación en cultura ciudadana, cuidado y respeto del espacio público, sostenibilidad, entre otros.
e) El constructor debe establecer el cronograma de reuniones, incluyendo los procesos formativos en conocimiento técnico del proyecto, cultura ciudadana y estrategias de sostenibilidad. Dicho cronograma deberá ser enviado a la Interventoría para su

aprobación durante el primer mes de la etapa de Construcción.

f) A partir de las listas de inscritos al Comité, el Contratista estructurará una base de datos en la cual se consignarán los datos de identificación de los participantes, sobre las cuales se procederá a realizar las convocatorias correspondientes. Dichas convocatorias se realizarán en forma escrita, mediante el volante de convocatoria con cinco días de anticipación a la fecha del comité.

g) Durante las reuniones del Comité, se deberá aplicar un instrumento de recolección de información social que permita identificar las preocupaciones, intereses y expectativas de los participantes respecto al proyecto y su aporte a la ciudad.

7.2.7 PUNTO DE ATENCIÓN A LA COMUNIDAD

El Contratista deberá disponer e instalar un Punto de Atención al Ciudadano, en el área de influencia directa del proyecto; en este sitio brindará información y atención a la comunidad que lo requiera. El punto de atención podrá ser de modalidad presencial o virtual, según lo determine el contratista, de acuerdo con las características y condiciones del lugar en el que se disponga su funcionamiento. Se debe implementar al mes de inicio del contrato, previa aprobación de la interventoría y recibo por parte de la supervisión del contrato.

El horario de atención del punto deberá ser propuesto por el Contratista y aprobado por la Interventoría y por la supervisión, atendiendo a las necesidades de la comunidad.

La dirección donde se ubicarán el punto de información (si es presencial), el número telefónico, el correo electrónico para la atención, deberán ser entregados por el Contratista, con previa aprobación de la interventoría y recibidos por la supervisión, al inicio del proyecto, para la elaboración del material de divulgación. Es importante aclarar que no se admiten correos electrónicos personales, para la atención ciudadana.

La ubicación (si es presencial), número telefónico, correo electrónico y horario de atención deben ser divulgados a la comunidad ubicada en el área de influencia directa del proyecto y a las autoridades locales.

El Punto de información si es de modalidad presencial, deberá estar dotado con:

- Baño.
- Línea telefónica exclusiva.

- Cartelera informativa.
- Aviso punto de identificación.
- Computador (con unidad de DVD, pantalla LCD de 21" con filtro y con los programas de office instalados (Word, Excel, power point) AutoCAD, programa de manejo de fotografías y puerto USB.
- Archivador (donde reposen todos los documentos del Plan, incluidas las actas de vecindad, actas de compromiso y demás archivos de soporte elaborados por el contratista.
- Impresora.
- Silla ergonómica y escritorio para la persona encargada de la atención.
- Espacio para reunión de mínimo diez personas, con diez sillas disponibles, diez cascos blancos.
- Piezas de información, planos, afiches y demás información pertinente para el proyecto.
- Debe contar con accesibilidad universal para las personas con discapacidad.

7.2.8 RECORRIDOS URBANOS

Cuando el contratista necesite realizar intervenciones técnicas y de avance de obra que requieren contacto directo con la comunidad, debe establecer acompañamiento de los profesionales sociales para las siguientes actividades:

a) Protección para inmuebles y población aledaña a demoliciones.
b) Actas de vecindad.
c) Actas de rampas y acceso vehicular a predios (garajes).
d) Información por suspensión a acceso a garajes.
e) Actas de compromiso.
f) Actas de adecuación de las bajantes de aguas lluvias.
g) Registro fílmico y fotográfico de andenes, fachadas y vías de desvío.
h) Actas de protección al patrimonio cultural.

Para la realización de estas actividades se deberá contar con un profesional del área técnica y uno social. El personal deberá estar aprobado por la supervisión para el desarrollo de dichas labores.

✓ **Objetivo**

Establecer previo a las intervenciones, las condiciones físicas originales de cada uno de los predios ubicados en el área del proyecto y/o los bienes de interés cultural, como base para determinar las posibles variaciones que se den en el tiempo por efectos del proceso constructivo.

El contratista deberá entregar a la interventoría para su aprobación y recibo de la supervisión, dentro del primer mes de la etapa de pre-construcción, la metodología para la elaboración de las actas necesarias especificadas en este programa. La metodología debe incluir como mínimo los siguientes ítems:

a) Acta de recorrido con el área técnica, en la cual se indique la delimitación del área de influencia del proyecto y las actividades constructivas requeridas según los frentes de obra.
b) Inventario de predios a los que se realizará actas de vecindad, incluidos bienes de interés cultural nacionales y/o distritales.
c) Inventario de rampas y acceso a garajes.
d) Inventario de las vías a utilizar como desvíos y maquinaria, así como el inventario de predios.
e) Inventario predios a intervenir, en caso de requerirse.
f) Registro estado actual vías autorizadas para los desvíos según el PMT.
g) Metodología sobre acciones de Plan a implementar para garantizar la oportuna información.
h) Establecer el procedimiento a implementarse en caso de que se presente algún tipo de afectación en los predios y/o vías o andenes que están ubicadas en la zona de influencia del proyecto y zonas aledañas.
i) Cronograma.
j) Demás información requerida.

7.2.9 ACTAS DE VECINDAD Y/O FACHADA

El acta de vecindad es un documento que se diligencia por medio de visita domiciliaria, a cada uno de los predios que se encuentran al frente de la obra; en ésta se registra el estado físico y estructural del predio, para que, en caso de presentarse alguna reclamación por

daños se pueda identificar si el Contratista es responsable o no.

Actividades para la realización de las actas:

a) Un mes antes del inicio del proceso constructivo el contratista debe realizar el acta de vecindad a cada uno de los predios ubicados al frente de la construcción del proyecto con el fin de registrar el estado físico y estructural inicial de las edificaciones.
b) Las actas de vecindad se levantarán de acuerdo con el inventario de predios realizado en el área de influencia directa del proyecto, vías de desvíos y orejas de manzanas, en la etapa de pre-construcción, de acuerdo con la metodología y cronograma aprobado por la interventoría.
c) El contratista deberá elaborar las piezas de comunicación para informar a la comunidad, sobre el procedimiento de realización de las actas de vecindad, está información se entregará tres (3) días antes del inicio de la actividad, aprobadas por interventoría y la supervisión.
d) Las actas de vecindad deberán ser elaboradas por el Contratista y enviadas a la Interventoría para su revisión y aprobación y la Interventoría debe remitirlas revisadas y aprobadas en un plazo máximo de tres (3) días, a partir de la fecha de entrega del Contratista.
e) El Contratista garantizará el levantamiento del acta de vecindad en el 100% de los predios ubicados al frente de los diferentes tramos de obra. Se recomienda que, si algún predio no ubicado en esta área y es susceptible de afectación por las características del proyecto, debe realizarse el acta de vecindad.
f) Se realizará una inspección detallada del estado de la construcción, soportada con el registro fotográfico y fílmico. Se verificará la existencia de garajes y su uso. Los soportes de las actas de vecindad son formatos diligenciados con la firma del responsable o propietario del predio, registros fotográficos y fílmico.
g) El contratista entregará al propietario del inmueble una copia del acta de vecindad levantada, en un plazo máximo de diez (10) días calendario una vez aprobada por la interventoría.
h) Al finalizar la etapa de construcción, se realizará un acta de cierre de todos los predios, dicha acta consiste en una visita de verificación del estado en que queda la

construcción una vez se hayan terminado las actividades constructivas. Teniendo en cuenta que esta acta consiste en una visita de verificación, no implica un costo adicional, pues este se encuentra contenido en el acta de vecindad de inicio.

i) El levantamiento del acta es responsabilidad del área técnica del Contratista; serán levantadas por un Ingeniero civil o Arquitecto el cual estará acompañado por el área social e Interventoría. El profesional técnico será quien conceptuará sobre el contenido del acta. La información sobre el número de actas de vecindad a levantar en el tramo deberá ser aprobada por la interventoría.

j) En caso de requerirse, el contratista deberá realizar el levantamiento de las actas de vecindad para todos los bienes de interés cultural y monumentos existentes en el área de influencia directa del proyecto, vías de desvíos y orejas de manzanas; previamente se deberá remitir comunicado a las entidades distritales o nacionales competentes, con el fin de informarles de la actividad y solicitar un delegado para el acompañamiento.

k) En caso de reclamaciones, el contratista realizará una visita con el acompañamiento del profesional técnico de la obra, contactando al propietario y/o peticionario del predio y/o vía afectada, para realizar la visita dentro de los tres días siguientes a la fecha de presentación de la PQRSD. En la visita de inspección se realizará el registro del área afectada, que servirá para evaluar si hay responsabilidad o no del Contratista en la queja presentada.

l) Una vez se verifique la responsabilidad de la obra en el daño reclamado, se procederá a dar trámite respectivo a la PQRSD. En el formato de acta de vecindad se registrarán los detalles del procedimiento aplicado en la reparación del área afectada al predio y/o vía, indicando fechas de realización de cada una de las actividades realizadas, con sus respectivos soportes.

m) De acuerdo con el número de actas de vecindad que se deban levantar, se requiere un equipo de profesionales conformado por un Arquitecto y/o Ingeniero y un Profesional del componente social tanto del Contratista como de la interventoría. Dentro de la metodología se deberá estimar el promedio de actas de vecindad a levantar por día en cada comisión. La información sobre el número de actas de vecindad a levantar deberá ser revisada por el contratista y la interventoría y de ser necesario, ajustar y presentar el inventario real dentro de la metodología.

n) El Contratista deberá disponer del personal que considere necesario para el levantamiento de actas de vecindad, conforme a los tiempos y requerimientos establecidos, de igual manera garantizará la sistematización de la información correspondiente.
o) En caso de no encontrar al propietario para el acta de vecindad de inicio y de cierre, se sube al sistema, pero se hace envío de la copia al domicilio del propietario del predio.
p) El contratista debe realizar el análisis entre el equipo técnico y el social para determinar los predios a los que se realizará acta vecindad e informar a la interventoría quien aprobará la propuesta.

7.2.9.1 Actas de acceso a garajes y rampas

a) Esta actividad tiene como propósito generar un documento soporte sobre el uso y condiciones del garaje, en caso de requiera. El Contratista debe levantar las actas de rampa de acceso vehicular a aquellos inmuebles ubicados en el área de influencia directa de la obra, a fin de verificar su condición y uso, acreditación de licencia de construcción y demás documentos exigidos por ley.
b) El levantamiento del acta es responsabilidad del área técnica y social del Contratista e Interventoría. El profesional técnico del contratista será quien conceptuará sobre la construcción o no de la rampa de acceso vehicular, con la aprobación de la interventoría y aceptación de la supervisión, durante la etapa de pre-construcción y construcción.
c) El contratista deberá elaborar las piezas de comunicación necesarias, que divulguen los requisitos establecidos para la construcción de las rampas de acceso vehicular a los predios en los cuales exista acceso vehicular y realizar la respectiva distribución, así como la información sobre el procedimiento para elaborar dichas actas y los plazos perentorios para que los propietarios de los predios hagan llegar las licencias de construcción al Punto de Información.
d) A partir de los requisitos establecidos para la construcción de las rampas de acceso vehicular a los predios, el Contratista deberá informar y hacer seguimiento a los propietarios interesados en dicha construcción, para que cumplan con la

documentación exigida dentro de los plazos fijados por el Contratista.

e) Una vez el Contratista cuente con el inventario de los accesos vehiculares, se deberá realizar una visita al predio para establecer con el propietario, los plazos de entrega de la licencia de construcción y el diligenciamiento del respectivo formato. Dicho encuentro debe ser coordinado con el área técnica y el acompañamiento del componente social del Contratista y la interventoría.

f) Se entregará copia del acta levantada al propietario o arrendatario dentro de los cinco (5) días posteriores a su levantamiento. El anterior documento deberá estar previamente aprobado por la interventoría.

g) El Contratista deberá tener claros los requisitos establecidos por las curadurías urbanas para el trámite de licencias de construcción (procedimientos, tiempos, costos, entre otros) y de esta manera poder informar a los interesados. Adicionalmente deberá abrir una carpeta para cada uno de los predios que aporte la documentación exigida de acuerdo con la normatividad vigente.

h) Las diferentes solicitudes de construcción de rampas de acceso vehicular a los predios deberán ser analizadas en el comité técnico, con la finalidad de generar respuesta por escrito a los peticionarios. Para lo anterior las solicitudes deberán contar con los siguientes soportes:

    a. El acta donde se confirma la accesibilidad vehicular al predio levantada.
    b. La licencia de construcción vigente del predio.

7.2.9.2 Información por suspensión de acceso a garajes

El contratista informará oportunamente, con al menos dos semanas de anticipación, en caso de obedecer a obras programadas, sobre la suspensión de acceso a garajes, con el fin de realizar las gestiones pertinentes para garantizar el acceso a los mismos. Para ello, el contratista suministrará la información respectiva sobre los parqueaderos disponibles que se encuentran en zonas aledañas, de manera que se afecten lo mínimo posible las dinámicas de tiempo y desplazamiento de los residentes.

7.2.9.3 Actas de compromiso

El Contratista, en caso de requerirse, deberá pactar acuerdos con los propietarios de predios y/o representantes de instituciones, que permita el normal desarrollo de las

actividades de obra programadas, por lo cual realizará un acta de compromiso.

La Interventoría deberá hacer seguimiento al cumplimiento de los compromisos que se establezcan y solicitar el diligenciamiento de actas que considere conveniente a partir de las situaciones que encuentre en sus recorridos de obra.

Se entregará copia del acta actualizada al propietario o arrendatario cinco (5) días calendario, posteriores a su levantamiento.

Algunas de las situaciones que ameritan el levantamiento de actas de compromiso son:

- Suspensión de servicios públicos: En caso de cortes se podría establecer estrategias de manejo las cuales quedaran consignadas en el acta de compromiso, especialmente con instituciones de salud, colegios, empresas e industria, de tal manera que su actividad o productividad no se vea afectada.
- Cambios en los accesos peatonales y vehiculares a predios: por dificultad para el ingreso a sus predios o se tiene un acceso que no cuenta con las condiciones de seguridad necesarias, el Contratista deberá diligenciar un acta en la cual establezca el compromiso de adecuación de un paso seguro y con ese soporte, tanto el Contratista como la Interventoría harán seguimiento al compromiso, hasta su cierre a conformidad.
- Adecuación de bajantes de aguas lluvias: En caso de que no se tenga dicha adecuación, se realizará el seguimiento para evitar daños en la construcción.
- El Contratista deberá registrar el cumplimiento del compromiso una vez se efectúen las obligaciones establecidas con el ciudadano y sus tiempos respectivos. La verificación del cumplimiento debe ser efectuada por la Interventoría.

7.2.9.4 Levantamiento de registro fílmico de andenes, fachadas y de las vías que serán empleadas como desvíos

Para el caso de las vías a utilizar como desvíos y que están contempladas en el PMT, el Contratista deberá estructurar un formato especial aprobado previamente por la Interventoría y avalado por la supervisión, en el que se registre el estado actual de las vías acompañado de su respectivo registro fotográfico y fílmico, este documento será realizado por el Contratista, en compañía del representante legal o presidente de Junta de Acción

Comunal del barrio o comunidad que pueda verse afectada. En él se registrará el estado actual de las vías, de tal forma que cuando finalice la etapa de construcción, estas se dejen en el mismo o mejor estado en el que se encontraban al inicio de obra.

a) El Contratista en compañía de la Interventoría deberá registrar el estado inicial de las vías utilizadas como desvíos de acuerdo con los planes de manejo de tráfico (PMT) quince (15) días antes de iniciar las obras, con el fin de contar con una línea base que permitirá establecer la responsabilidad del Contratista frente a reclamaciones de la comunidad sobre el estado de las vías.
b) El Contratista deberá entregar a la Interventoría la programación para la realización de los registros fílmicos, cada vez que se requiera con cinco (5) días de anticipación a la actividad, especificando el día, hora y metodología a implementar.
c) En caso de daños que, con causa probada, se llegaren a presentar por la intensificación de la movilidad vehicular o por el paso de maquinaria y equipos utilizados por el Contratista, este deberá realizar las reparaciones de dichas vías.
d) Este registro es responsabilidad del área técnica del Contratista, el cual estará acompañado por el área social (Contratista e Interventoría) y técnica de la Interventoría, el cual deberá ser remitido a la Interventoría (profesional técnico) para revisión y aprobación.
e) El procedimiento y realización de los registros fílmicos y fotográficos deberán estar aprobados por la Interventoría antes de la intervención.
f) En caso de presentarse solicitudes relacionadas con el área de tráfico y reparación de vías, el Contratista deberá tener en cuenta:
g) El Contratista iniciará el trámite de atención programando visita con el área técnica o de tráfico y social de la Interventoría y del Contratista de obra e informando al interesado con dos (2) días de anticipación. Previo al desarrollo de la visita, tanto Contratista como Interventoría deberán revisar el registro fílmico correspondiente.
h) La Interventoría deberá notificar por escrito al Contratista en un plazo máximo de siete (7) días contados a partir de la realización de la visita, el concepto acerca de la posible responsabilidad o no del Contratista determinando las acciones a seguir y los plazos establecidos.

i) Por su parte el Contratista tendrá la opción de replicar el concepto de la Interventoría en un plazo máximo de tres (3) días a partir del recibo de la notificación de la Interventoría. Cuando se presente discrepancia entre la Interventoría y el Contratista sobre la responsabilidad, se acudirá a la supervisión para resolver la controversia.
j) Si la supervisión establece la responsabilidad del Contratista, deberá comunicar dicha decisión, a través de su delegado en el siguiente comité de seguimiento. El Contratista deberá realizar el mantenimiento de la vía, sin que lo anterior implique remuneración adicional para el Contratista.
k) Se aclara que si por algún motivo se llega a presentar reclamación por parte de la comunidad y el Contratista no cuenta con el registro (que debió ser levantado), será responsabilidad de este proceder con las reparaciones a las que haya lugar.
l) En caso de no ser competencia del Contratista la solicitud, ésta deberá ser remitida a la alcaldía Local respectiva, según sea el caso y se informará del trámite anterior a cada peticionario.
m) Una copia del registro fílmico y fotográfico debe permanecer en las oficinas del Contratista para su eventual consulta en caso de presentarse reclamaciones de este tipo; de igual forma una copia debe reposar en la Interventoría en caso de que la comunidad decida acudir a una segunda instancia ante una reclamación.
n) Al finalizar las obras las vías deberán ser entregadas o restituidas en iguales o mejores condiciones iniciales, por su parte, para las viviendas, estos registros servirán de soporte de verificación ante cualquier reclamación de afectación por el paso de los vehículos.

7.2.9.5 Actas adecuación técnica de las bajantes de aguas lluvias

a) Durante la etapa de pre-construcción y/o construcción, el contratista deberá realizar verificación en campo para identificar los posibles predios en los cuales se dé un manejo inapropiado de las aguas lluvias que podrán afectar el espacio público construido.
b) El Contratista debe garantizar información a la comunidad sobre la necesidad de adecuación de las bajantes de aguas lluvias. Por tanto, se debe elaborar un comunicado informativo donde se divulgue la necesidad de adecuar

apropiadamente las bajantes de aguas lluvias. La distribución del comunicado se realizará de acuerdo con el cronograma aprobado por interventoría.

c) Durante la construcción de las obras correspondientes a espacio público, la comunidad afectada no se ha manifestado sobre el tema, el Contratista deberá enviar un oficio personalizado a los propietarios, solicitando la gestión y dando un plazo perentorio e indicando, que, en caso de respuesta negativa, será reportado ante la Alcaldía Local e Inspección de Policía.
d) De igual manera, se deberán realizar actividades informativas con los predios en los cuales se identifiquen problemas por la falta de adecuación técnica de las bajantes de aguas lluvias.

7.2.9.6 Programa de cultura ciudadana

Este programa busca desarrollar procesos pedagógicos y de formación que acompañen las estrategias de relacionamiento con la comunidad, para fomentar el conocimiento, apropiación y corresponsabilidad con el proyecto y el desarrollo urbano de la ciudad.

- ✓ **Objetivo**

Formar e incentivar ciudadanías activas, participativas y corresponsables con el proyecto y el desarrollo urbano de la ciudad a través de procesos de diálogo conjunto en proyectos de infraestructura urbana, cultura ciudadana y control social.

7.2.9.6.1 Formación en Cultura Ciudadana

El Contratista realizará actividades de formación en Cultura Ciudadana y Desarrollo Urbano, que será previamente aprobado con la Interventoría y la supervisión, a través de talleres o espacios de dialogo con el fin de promover ciudadanías que reconozcan la importancia de los proyectos urbanos y sus beneficios en la construcción de ciudad, el buen uso y cuidado del medio ambiente, motivar la democratización del uso de los espacios públicos, el buen comportamiento de los peatones y ciclistas, cuidado del entorno, sentido y valor de lo público en la búsqueda de la sostenibilidad de las obras.

El Contratista incluirá en el Plan Social, la metodología y cronograma a utilizar para el desarrollo del programa, y contendrá como mínimo lo siguiente:

- Marco conceptual
- Objetivos, metas y resultados esperados
- Técnicas que serán empleados
- Temática, horario, materiales y lugar de la actividad.
- Público al que se dirige el taller
- Diseño del material que será utilizado
- Formato de evaluación y sugerencias
- Registro de asistencia, registro fotográfico y acta.
- El informe de la actividad y los resultados se entregarán a la Interventoría en el informe mensual correspondiente.

Las temáticas que debe abordar en los talleres de formación en cultura ciudadana y desarrollo urbano serán:

- **Desarrollo Urbano:** Elementos sobre instrumentos de ordenamiento territorial y desarrollo urbano, proyectos de infraestructura vial, de espacio público, accesibilidad universal, democratización de la movilidad y a la ciudad, ajustes razonables.
- **Cultura Ciudadana:** Estrategias de participación ciudadana en espacios públicos, mecanismos de corresponsabilidad y apropiación de proyectos de infraestructura.

La programación y ejecución de los talleres se realizarán al segundo mes de iniciado el contrato, se propone ejecutar como mínimo dos talleres considerando los tiempos estimados de ejecución de obra. El Contratista presentará el número de talleres y actividades mínimos a realizar durante el periodo de ejecución del proyecto. Estos deberán ser aprobados por la interventoría y la supervisión.

7.2.9.6.2 Formación a empleados de obra

a) El Contratista deberá priorizar la divulgación de las vacantes de mano de obra requeridas para la ejecución del proyecto a través de los canales institucionales y mecanismos públicos de intermediación laboral disponibles, tales como el Servicio Público de Empleo y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), o aquellos que hagan sus veces, con el fin de promover el acceso equitativo al empleo y fortalecer

la vinculación de mano de obra local, siempre que los perfiles requeridos se encuentren disponibles y cumplan con las competencias y requisitos definidos para cada cargo.

b) El Contratista deberá elaborar una estrategia de formación sobre temas que contribuyan al mejoramiento de la convivencia y desarrollo personal, laboral y social de los trabajadores vinculados al proyecto, en articulación con el componente de SST. En cada una de estas capacitaciones se debe enfatizar sobre el servicio a la ciudadanía.
c) Las acciones de formación se realizarán con el apoyo del área de SST, mensualmente con el personal de obra y su asistencia debe registrarse en los formatos correspondientes.
d) No serán objeto de capacitación el personal que labore ocasionalmente en el Contrato, la Interventoría deberá verificar la información de este personal.

7.2.10 SUGERENCIAS

a) Se sugiere que el punto de atención a la comunidad pueda implementarse bajo modalidad presencial, virtual o móvil, de acuerdo con las características del proyecto, la cobertura territorial, las condiciones de accesibilidad y la estrategia definida por el Contratista para garantizar una atención oportuna y efectiva a la ciudadanía.
b) Se recomienda que el Comité Participativo esté conformado por un mínimo de tres (3) integrantes, pudiendo ampliarse el número de participantes según la representatividad de los actores sociales y el criterio técnico del Contratista.
c) Se recomienda que el Plan de Gestión Social contemple mecanismos de articulación, comunicación y participación con las veedurías ciudadanas legalmente constituidas, con el propósito de fortalecer el ejercicio del control social, la transparencia y el seguimiento a la ejecución del proyecto.
d) Se sugiere mantener una articulación permanente con las entidades contratantes y con las instituciones públicas, privadas o comunitarias que tengan incidencia en el área de influencia del proyecto. En la medida de su competencia y pertinencia, dichas entidades deberán ser convocadas, jornadas de socialización y demás

actividades desarrolladas durante la ejecución del proyecto, con el fin de fortalecer la coordinación interinstitucional y la gestión del territorio.

8 REFERENCIAS

- Decreto 555 de 2021 (diciembre 29). Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB-ESP. (2020). Norma Técnica NS-030 V.5.3. Lineamientos para trabajos topográficos. Bogotá D.C.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB-ESP. (2020). Norma Técnica NS-046 V.6.1. Requisitos para la elaboración y entrega de planos de obra construida. Bogotá D.C.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (2020). Resolución 529 de 2020. Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (2021). Origen CTM-12. Sistema de proyección cartográfica único para Colombia.
- IDU. Normas técnicas NS-012, NS-065, NS-118 y NS-119 para trabajos topográficos y cartografía de detalle.
- DJI Enterprise. (2024). DJI Zenmuse L2 – Specifications. https://enterprise.dji.com/zenmuse-l2/specs
- Anexo técnico. 2025. Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático -IDIGER-. Subdirección de análisis del riesgo y efectos del cambio climático. Realizar el estudio detallado integral y planteamiento de medidas de reducción de riesgo por movimientos en masa, incluyendo soluciones basadas en la naturaleza, en 11 polígonos que incluyen las 22 laderas priorizadas para el corto plazo por el POT, en Bogotá, D.C. Grupo 2 – Ciudad Bolívar - Chapinero. Polígonos 3, 4, 8 y 9.
- 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.
- Proyecto compilación y levantamiento de la información geomecánica: zonificación geomorfológica de la Sabana de Bogotá, volumen I - Características geomorfológicas de la Sabana de Bogotá. 2005. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). Bogotá D.C. 87p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca / El Instituto. - - Subdirección de Agrología. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. 992p.: ils. mapas a colores. + 2 CD-ROOM.
- Decreto 555 de 2021. Adopción del Plan de Ordenamiento Territorial -POT- de Bogotá D. C. 633p.
- Valcárcel M., Freddy y Otros. 2.007. Atlas Ambiental de Bogotá D. C. (Autor temático: Capítulo Suelos). Secretaría Distrital de Ambiente. Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 272p.
- Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá - POMCA-. Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá. Resolución 957 del 2 de abril de 2019. Corporación Autónoma de Cundinamarca -CAR-., Corpoguavio y Corporinoquía. 2.500p. 20 Tomos. Anexos.