
 <p>CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO</p>	<p>ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE INGENIERÍA NECESARIOS PARA EL CONOCIMIENTO Y LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN SITIOS CRÍTICOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ Y OTRAS CUENCAS PRIORIZADAS EN JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA</p>	
<p>CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1633 de 2022</p>	<p>INFORME DETALLADO</p> <p>VERSION: 01 FECHA: 12-09-2022</p>	



CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE INGENIERÍA NECESARIOS PARA EL CONOCIMIENTO Y LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN SITIOS CRÍTICOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ Y OTRAS CUENCAS PRIORIZADAS EN JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA

CONTRATO DE CONSULTORIA No. 1633 de 2022

INFORME DETALLADO

Punto 35 – Tocancipá (Patiño)

Bogotá D.C., abril de 2023

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. OBJETIVOS	3
IV. ALCANCE	3
V. LOCALIZACIÓN	4
VI. METODOLOGÍA	5
VII. CARTOGRAFÍA	5
1. FASE I – INVESTIGACIÓN PRELIMINAR Y RECONOCIMIENTO DE CAMPO	14
1.1. REVISIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS – CAR.....	14
1.2. VISITA DE CAMPO DE VERIFICACIÓN CONJUNTA	15
1.3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	16
1.3.1. INFORMACIÓN RECOPIADA	16
1.3.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	23
1.4. INSPECCIÓN TÉCNICA EN CAMPO	49
1.4.1. INSPECCIÓN GEOLÓGICA.	50
1.4.2. INSPECCIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	53
1.4.3. INSPECCIÓN GEOTÉCNICA	55
1.4.4. INSPECCIÓN DE FUENTES HÍDRICAS.....	56
1.5. ANÁLISIS DE CUENCA	57
1.5.1. CIERRE DE CUENCA.....	57
1.5.2. INVENTARIO DE ESTACIONES	58
1.5.3. ISOYETAS.....	59

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.5.4.	MODELO LLUVIA ESCORRENTÍA.....	59
1.5.5.	CURVAS NÚMERO.....	60
1.5.6.	BALANCE HÍDRICO.....	63
1.6.	DIAGNÓSTICO.....	66
1.6.1.	GEÓLOGO - GEOMORFOLÓGICO.....	66
1.6.2.	GEOTÉCNICO.....	68
1.7.	PROPUESTA DE EJECUCIÓN DE CANTIDADES.....	70
1.7.1.	TOPOGRAFÍA Y TOPOBATIMETRÍA.....	71
1.7.2.	PROSPECCIÓN.....	73
2.	FASE II – TRABAJO DE CAMPO.....	76
2.1.	TOPOGRAFÍA.....	76
2.1.1.	PUNTOS DE AMOJONAMIENTO.....	76
2.1.2.	LEVANTAMIENTO CON LIDAR AÉREO.....	79
2.1.3.	ENTREGAS.....	92
2.2.	PROSPECCIÓN.....	94
2.2.1.	EXPLORACIÓN INDIRECTA (GEOFÍSICA).....	94
2.2.2.	EXPLORACIÓN DIRECTA.....	112
2.3.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	118
2.3.1.	RECURSOS.....	119
3.	FASE III – MODELACIÓN Y DISEÑO DE OBRAS DE INGENIERÍA.....	125
3.1.	HIDROLOGIA.....	125
3.1.1.	ALCANCE.....	126
3.1.2.	GENERALIDADES.....	126
3.1.3.	CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	134

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.1.4.	VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN	147
3.1.5.	DELIMITACIÓN Y MORFOMETRÍA DE LA CUENCA	150
3.1.6.	ÁREAS AFERENTES OBRAS PROPUESTAS.....	152
3.1.7.	ESTIMACIÓN DE CAUDAL MÁXIMO	153
3.2.	COBERTURAS	157
3.2.1.	INTERPRETACIÓN DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA DE LAS ZONAS DE INTERVENCIÓN	157
3.2.2.	RESULTADOS	158
3.3.	GEOLOGÍA	159
3.3.1.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES	159
3.3.2.	GEOLOGÍA LOCAL.....	159
3.3.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL.....	168
3.3.4.	GEOMORFOLOGÍA	179
3.3.5.	FACTORES HIDROGEOLÓGICOS.....	192
3.4.	HIDRÁULICA	193
3.4.1.	FOTOINTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL	194
3.4.2.	METODOLOGÍA AGUAS CLARAS 1D.....	194
3.4.3.	CONCEPTUALIZACIÓN MODELO HIDRÁULICO	200
3.4.4.	DISEÑO HIDRÁULICO DE ZANJAS	205
3.4.5.	RESULTADOS MODELO HIDRÁULICO	207
3.4.6.	DESCOLE ZANJAS DE CORONACIÓN	213
3.5.	MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO.....	214
3.5.1.	PROSPECCIÓN	215
3.5.2.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	218
3.5.3.	PARAMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	223

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.5.4.	MECANISMOS DE FALLA.....	235
3.6.	AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO EN ESTADO ACTUAL.....	236
3.6.1.	EVALUACIÓN AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	236
3.6.2.	VULNERABILIDAD Y RIESGO.....	249
3.7.	DEFINICIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN	264
3.7.1.	ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN.....	265
3.7.2.	EVALUACIÓN MULTICRITERIOS.....	281
3.7.3.	DISEÑO DE DETALLE DE ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	290
3.7.4.	AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO CON OBRAS PROPUESTAS	295
3.7.5.	PRESUPUESTO	296
4.	CONCLUSIONES	298
5.	RECOMENDACIONES.....	301
6.	BIBLIOGRAFÍA	303

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Estudios recopilados Patiño.	16
Tabla 1-2. Relación de Unidades litoestratigráficas identificadas a nivel regional.	24
Tabla 1-3. Caracterización de unidades geomorfológicas.	32
Tabla 1-4. Movimientos en masa activos en la zona de estudio.	44
Tabla 1-5. Deslizamientos de tipo Rotacional inventariados en el municipio de Tocancipá.	45
Tabla 1-6. Infraestructura vulnerable.	47
Tabla 1-7. Zonas residenciales vulnerables.	47
Tabla 1-8. Número de Curva de Escorrentía para áreas urbanas. AMC II e $la=0,2S$	61
Tabla 1-9. Balance hídrico y caudal de flujo subsuperficial	65
Tabla 1-10. Inventario de Procesos.	67
Tabla 1-11. Cantidades de ejecución propuestas.	70
Tabla 2-1. Coordenadas geográficas WG S84.	83
Tabla 2-2. Coordenadas planas (Magna sirgas Origen Bogotá).	83
Tabla 2-3. Orígenes de coordenadas para Colombia.	86
Tabla 2-4. Relación personal de levantamiento	87
Tabla 2-5. Equipos utilizados	87
Tabla 2-6. Entregables	92
Tabla 2-7. Coordenadas líneas sísmicas y tomografía	94
Tabla 2-8. Rangos de velocidades de onda de compresión para tipologías de suelo y rocas.	103
Tabla 2-9. Rangos de velocidades de onda de compresión y su relación con la dureza y grado de meteorización.	103
Tabla 2-10. Rango de velocidades de ondas de corte según NSR 10.	104
Tabla 2-11. Resumen de velocidades V_p por capas – método simplificado	107
Tabla 2-12. Tipo de suelo de Línea sísmica según NSR-10.	108
Tabla 2-13. Módulos de elasticidad y rigidez Línea LS01.	109
Tabla 2-14. Módulos de elasticidad y rigidez Línea LS02.	109

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 2-15. Valores de resistividad de algunos tipos de suelos, rocas y materiales presentes en la naturaleza.	110
Tabla 2-16. Resumen localización de las perforaciones mecánicas ejecutadas.....	112
Tabla 2-17. Personal de campo.	113
Tabla 2-18. Ensayos de Laboratorios ejecutados - Sondeos.....	119
Tabla 3-1. Períodos de retorno para diseño de drenajes.	125
Tabla 3-2. Estaciones con información disponible	129
Tabla 3-3. Características geográficas de estaciones disponibles	130
Tabla 3-4. Inventario por variable climática	130
Tabla 3-5. Resultados de análisis de datos faltantes	131
Tabla 3-6. Evaporación total mensual [mm/mes] promedio multianual [1990-2021].....	134
Tabla 3-7. Humedad relativa media mensual [%/mes] promedio multianual [1990-2021]135	
Tabla 3-8. Nubosidad total mensual [Octas/mes] promedio multianual [1990-2021].....	136
Tabla 3-9. Precipitación total mensual [mm/mes] promedio multianual [1990-2021].....	137
Tabla 3-10. Precipitación número de días mensual [días/mes] promedio multianual [1990-2021].....	140
Tabla 3-11. Precipitación máxima en 24 horas mensual [mm/día/mes] promedio multianual [1990-2021].....	143
Tabla 3-12. Temperatura de rocío media mensual [°C/mes] promedio multianual [1990-2021].....	145
Tabla 3-13. Temperatura máxima mensual [°C/mes] promedio multianual [1990-2021].	145
Tabla 3-14. Temperatura mínima mensual [°C/mes] promedio multianual [1990-2021]..	146
Tabla 3-15. Coeficiente del método de Vargas y Diaz granados (1998)	148
Tabla 3-16. Curvas de intensidad duración y frecuencia para la estación Lourdes (21201050)	149
Tabla 3-17. Parámetros morfométricos de la cuenca de análisis	150
Tabla 3-18. Tiempo de concentración <i>tc</i> estimado por varios métodos para las cuencas de análisis.....	151
Tabla 3-19. Tiempo de retardo <i>tlag</i> para las cuencas de análisis.....	151
Tabla 3-20. Valores del coeficiente C de la escorrentía (de Schwab et al. 1981)	153
Tabla 3-21. Caudales máximos esperados para diferentes períodos de retorno.....	154

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-22. Abscisas y ordenadas del hidrograma	155
Tabla 3-23. Abscisas y ordenadas del hidrograma.	156
Tabla 3-24. Coberturas presentes en el polígono	158
Tabla 3-25. Relación de la UGI identificadas en el área con las unidades geológicas regionales del SGC	160
Tabla 3-26. Descripción del sondeo exploratorio S01	164
Tabla 3-27. Descripción del sondeo exploratorio S02.....	164
Tabla 3-28. Descripción del sondeo exploratorio S03.....	165
Tabla 3-29. Descripción del sondeo exploratorio S04.....	165
Tabla 3-30. Descripción del sondeo exploratorio S05.....	166
Tabla 3-31. Datos de mediciones de estratificación y familia de diaclasas.....	170
Tabla 3-32. Caracterización de unidades geomorfológicas.	181
Tabla 3-33. Relación de unidades geomorfológicas identificadas a nivel local.....	183
Tabla 3-34. Inventario de Procesos.....	186
Tabla 3-35. Relación fotografías aéreas.....	190
Tabla 3-36. Periodos de retorno para diseño de obras de drenaje.....	193
Tabla 3-37. Caudales Pico.....	200
Tabla 3-38. Condiciones de frontera River Análisis AutoCAD Civil 3D.....	204
Tabla 3-39 Parámetros Hidráulicos Zanja	208
Tabla 3-40. Parámetros de Diseño Sísmico para el sitio crítico.....	214
Tabla 3-41. Valores de KST_{amax} Mínimos para Análisis Seudoestático de Taludes	215
Tabla 3-42. Descripción general de los sondeos.....	218
Tabla 3-43. Propiedades índices y de clasificación de suelo Stco-Qd.	219
Tabla 3-44. Ensayo de resistencia al corte directo.....	219
Tabla 3-45. Propiedades índices y de clasificación de suelo Stfl-Q1sa.	220
Tabla 3-46. Ensayo de resistencia al corte- directo Stfl-Q1sa.	221
Tabla 3-47. Ensayo de propiedades índice-Roca intermedia arenisca Ria-K2t.	222
Tabla 3-48. Ensayo de resistencia en roca intermedia arenisca Ria.....	222
Tabla 3-49. Análisis del peso Unitario-suelo Stco-Qd.....	223
Tabla 3-50. Análisis del ángulo de fricción- suelo Stco P35.	225
Tabla 3-51. Análisis de cohesión- suelo Stco.....	225

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-52 Resultados de laboratorio Stfl-Q1sa.....	226
Tabla 3-53. Análisis del ángulo de fricción- suelo Stfl-Q1sa.	227
Tabla 3-54. Análisis de cohesion- suelo Stfl-Q1sa.....	227
Tabla 3-55 Distribución del peso Unitario (kN/m ³) – roca intermedia Arenisca Ria-K2t...	228
Tabla 3-56 Distribución de resistencia a la compresión UCS (MPa)– Roca Intermedia Arenisca Ria	228
Tabla 3-57. Datos de entrada para el programa RocData-Valor medio de σ_c (Mpa).....	229
Tabla 3-58 Datos de entrada para el programa RocLab – Mínimo de σ_c (Mpa)	230
Tabla 3-59 Datos de entrada para el programa RocLab – Máximo de σ_c (Mpa)	231
Tabla 3-60 Análisis del peso Unitario – suelo Salv.	232
Tabla 3-61 Análisis del ángulo de fricción – suelo Salv.	232
Tabla 3-62 Análisis de cohesión – suelo Salv.	232
Tabla 3-63 Análisis del peso Unitario – suelo transportado aluvial Stca.	233
Tabla 3-64 Análisis del ángulo de fricción – suelo transportado aluvial Stca.	233
Tabla 3-65 Análisis de cohesión – suelo transportado aluvial Stca.	234
Tabla 3-66 Resumen de parámetros de resistencia al corte.....	234
Tabla 3-67. Resumen de parámetros de resistencia al corte.....	235
Tabla 3-68. Factores de seguridad para la discretización de la amenaza.....	238
Tabla 3-69. Categorización propuesta para la amenaza por movimientos en masa por la consultoría.	239
Tabla 3-70. Resumen de parámetros de resistencia al corte.....	240
Tabla 3-71 Valores de Cohesión (kPa) que aporta cada cobertura	241
Tabla 3-72 Relación de espesores de Stco/materiales movilizados en cada exploración	241
Tabla 3-73 Cálculo y estimación del coeficiente Ru.....	242
Tabla 3-74. Rangos de pendientes usados en el análisis de amenaza por movimientos en masa	243
Tabla 3-75. Coeficientes de aceleración sísmica de análisis.	244
Tabla 3-76. Clasificación de los elementos expuestos.....	251
Tabla 3-77. Variables de vulnerabilidad en los elementos expuestos	254
Tabla 3-78. Variables de vulnerabilidad en los elementos expuestos.	255

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-79 Intervalos de vulnerabilidad en los elementos expuestos.....	256
Tabla 3-80 Intervalos de vulnerabilidad en los elementos expuestos.....	262
Tabla 3-81 Factores de seguridad para elementos permanentes	272
Tabla 3-82 Condiciones iniciales para los elementos permanentes tipo pernos	273
Tabla 3-83. Análisis de criterios.	282
Tabla 3-84. Ponderación de componentes	287
Tabla 3-85. Ponderación de criterios	287
Tabla 3-86. Indicador de preferencia sobre las alternativas	288
Tabla 3-87. Clasificación de las alternativas para cada uno de los criterios	288
Tabla 3-88. Ponderación global.	289

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura VII-1. Directorios geodata base.	5
Figura VII-2. Estructura GDB.	6
Figura VII-3. Insumos.	6
Figura VII-4. Insumos por especialidad.	6
Figura VII-5. Intermedios.	7
Figura VII-6. Intermedios por especialidad.	7
Figura VII-7. Productos.	7
Figura VII-8. Estilos 8	8
Figura VII-9. Insumos GDB.	8
Figura VII-10. Intermedios GDB.	8
Figura VII-11. Productos GDB.	9
Figura VII-12. Importación de estilos.	10
Figura VII-13. Enlaces rotos.	10
Figura VII-14. Reenlazar archivos.	11
Figura VII-15. Reenlazar archivos.	11
Figura VII-16. Ejemplo.	12
Figura 1-1. Asentamientos diferenciales en la ladera de la montaña.	14
Figura 1-2. Vista afectación muro.	14
Figura 1-3. Viviendas.	15
Figura 1-4. Registro fotográfico visita de reconocimiento.	15
Figura 1-5. Mapa de amenaza por inundación POMCA.	18
Figura 1-6. Fotografía aérea.	19
Figura 1-7. Cartografía rural.	20
Figura 1-8. Geología regional.	21
Figura 1-9. Mapa Geológico Regional.	24
Figura 1-10. Diagrama cronoestratigráfico de unidades identificadas a nivel regional.	27
Figura 1-11. Sección de la Cordillera Andina.	28
Figura 1-12. Esquema estructural regional, escala 1:100.000.	29
Figura 1-13. Perfil esquemático de unidades geomorfológicas.	31

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Figura 1-14. Mapa de unidades geomorfológicas.	32
Figura 1-15. Mapa de pendientes.	33
Figura 1-16. Mapa usos del suelo.	34
Figura 1-17. Isoyetas.	36
Figura 1-18. Redes de drenaje.	37
Figura 1-19. Cartografía base.	38
Figura 1-20. Amenaza por inundación.	39
Figura 1-21. Mapa avenidas torrenciales.	40
Figura 1-22. Remoción en masa.	41
Figura 1-23. Procesos identificados base de datos.	42
Figura 1-24. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa.	43
Figura 1-25. Relación de los movimientos en masa activos inventariados en la zona de estudio.	44
Figura 1-26. Coordenadas: E: 1016270, N: 1037594. Movimiento en masa de tipo rotacional. Vereda Canavita (Sector Patiño).	46
Figura 1-27. Localización de los movimientos en masa activos en el municipio de Tocancipá.	46
Figura 1-28. Elementos expuestos.	48
Figura 1-29. Afloramiento de macizo rocoso en arenisca. (Patiño).	49
Figura 1-30. Imagen Satelital.	50
Figura 1-31. Afloramiento de la formación Arenisca Tierna.	51
Figura 1-32. Afloramiento de depósitos coluviales (Q2c) supra yaciendo niveles residuales de la Formación Arenisca Tierna (Sr-K2t).	52
Figura 1-33. Aspecto del escarpe facetado (Def).	53
Figura 1-34. Cono y lóbulo coluvial (Dco).	54
Figura 1-35. Procesos de inestabilidad presentes.	55
Figura 1-36. Red de drenajes, escala 1:10.000.	57
Figura 1-37. Estaciones existentes.	58
Figura 1-38. Isoyetas.	59
Figura 1-39. Curvas número.	62
Figura 1-40. Temperatura.	64

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Figura 1-41. Escorrentía superficial.	65
Figura 1-42. Procesos identificados.	67
Figura 1-43. Proceso identificado.	68
Figura 1-44. Vistas laterales del proceso ocurrido.	69
Figura 1-45. Área de estudio propuesta.	70
Figura 1-46. Puntos de fotocontrol.	71
Figura 1-47. Polígono para topografía.	72
Figura 1-48. Perforaciones líneas sísmicas y tomografías propuestas.	74
Figura 2-1. Punto de control GCP - Mojón N° 15 (Base).	76
Figura 2-2. Punto de fotocontrol GCP - Mojón N° 12.	77
Figura 2-3. Punto de fotocontrol GCP - Mojón N° 13.	77
Figura 2-4. Punto de control GCP - Mojón N° 14.	78
Figura 2-5. Punto de control GCP - Mojón N° 14.	78
Figura 2-6. Trayectoria de vuelo.	79
Figura 2-7. Misión de vuelo.	80
Figura 2-8. Registro fotográfico de vuelo.	81
Figura 2-9. Registro fotográfico punto de fotocontrol 12.	82
Figura 2-10. Registro fotográfico punto de fotocontrol 13.	82
Figura 2-11. Registro fotográfico punto de fotocontrol 14.	82
Figura 2-12. Estación base del IGAC.	83
Figura 2-13. Puntos de fotocontrol.	84
Figura 2-14. Cartera de campo.	85
Figura 2-15. Ficha técnica drone eBee plus.	88
Figura 2-16. Drone eBee plus.	89
Figura 2-17. Especificaciones técnicas sensor.	89
Figura 2-18. Ficha técnica software.	90
Figura 2-19. DSM.	91
Figura 2-20. DTM.	93
Figura 2-21. Curvas de nivel.	93
Figura 2-22. Ubicación de la geofísica ejecutada.	94
Figura 2-23. Procedimiento para mediciones geofísicas.	96

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Figura 2-24. Registro de ondas a lo largo de la línea.....	97
Figura 2-25. Medidor de resistencia AMEC 4500.....	99
Figura 2-26. representación simplificada de la técnica de tomografía de resistividad eléctrica para un arreglo polodipolo.....	99
Figura 2-27. Sismograma con identificación de tiempos de arribo de ondas.	100
Figura 2-28. Ondas incidentes y ondas refractadas.....	100
Figura 2-29. Dromocronas para modelo de refracción línea LS01.	101
Figura 2-30. Dromocronas para modelo de refracción línea LS02.	102
Figura 2-31 Resultado típico tomografía 2D.....	102
Figura 2-32. Modelo simplificado de velocidades a compresión (Vp) • Línea Sísmica LS01.....	105
Figura 2-33. Modelo simplificado de velocidades a compresión (Vp) • Línea Sísmica LS02.....	106
Figura 2-34. Módulos de elasticidad y rigidez Línea LS01.....	109
Figura 2-35. Módulos de elasticidad y rigidez Línea LS02.....	109
Figura 2-36. Tomografía eléctrica T01.....	111
Figura 2-37. Ubicación de la exploración directa ejecutada.....	112
Figura 2-38. Perforación con equipo de rotoperCUSión tipo Petty.	113
Figura 2-39. Muestra 1,2 y 3 del sondeo 1.	116
Figura 2-40. Muestra 4 y 5 sondeo 2 y sondeo 3 respectivamente.	116
Figura 2-41. Muestra 6 y 7 sondeo 3 y 4 respectivamente.	117
Figura 2-42. Muestra 8 y 9 sondeo 4 y sondeo 5.	117
Figura 2-43. Muestra 10 y 11 sondeo 5.....	117
Figura 2-44. Muestra 12 y 13 sondeo 1.....	118
Figura 2-45. Muestra 14 y 15 sondeo 2.....	118
Figura 2-46. Ensayos y laboratorios.	119
Figura 2-47. Ficha técnica instrumento laboratorio.	120
Figura 2-48. Ficha técnica balanza digital.	121
Figura 2-49. Ficha técnica horno.	122
Figura 2-50. Ficha técnica ensayo a compresión.....	123
Figura 3-1. Localización de estaciones cercanas al área aferente.	129

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Figura 3-2. Análisis gráfico de la longitud de las series hidroclimáticas disponibles..... 132

Figura 3-3. Ejemplo de series de tiempo original y series desestacionalizadas..... 133

Figura 3-4. Curvas de masa simple. 134

Figura 3-5. Variación temporal de la evaporación total mensual promedio multianual [1990-2021]..... 135

Figura 3-6. Variación temporal de la Humedad relativa media mensual promedio multianual [1990-2021]..... 136

Figura 3-7. Variación temporal de la Nubosidad Total mensual promedio multianual [1990-2021]. 137

Figura 3-8. a) Variación temporal de la Precipitación Total mensual promedio multianual [1990-2021] y b) valores mínimos, medios y máximos de la variable..... 138

Figura 3-9. Variación temporal de la precipitación número de días mensual promedio multianual [1990-2021] y b) valores mínimos, medios y máximos de la variable. 140

Figura 3-10. Variación temporal de la precipitación máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2021] y b) valores mínimos, medios y máximos de la variable. 142

Figura 3-11. Serie de precipitación máxima en 24 horas anual. 144

Figura 3-12. Variación temporal de la temperatura de rocío media mensual promedio multianual [1990-2021]..... 145

Figura 3-13. Variación temporal de la temperatura máxima mensual promedio multianual [1990-2021]..... 146

Figura 3-14. Variación temporal de la temperatura mínima mensual promedio multianual [1990-2021]..... 147

Figura 3-15. Isoyetas al interior de la cuenca de análisis. 147

Figura 3-16. Curvas de intensidad y frecuencia para la estación LOURDES (21201050). 149

Figura 3-17. Cuenca hidrográfica..... 150

Figura 3-18. Área aferente al canal propuesto. 152

Figura 3-19. Esquemas de la hidrografía del SCS 154

Figura 3-20. Distribución espacial de las coberturas de la tierra en el polígono 158

Figura 3-21. Unidades geológicas para ingeniería..... 160

Figura 3-22. Afloramiento de la formación Arenisca Tierna. 161

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Figura 3-23. Afloramiento de depósitos coluviales (Q2c) supra yaciendo niveles residuales de la Formación Arenisca Tierna (Sr-K2t).	162
Figura 3-24. Sonde de exploración y línea de corte	163
Figura 3-25. Columna estratigráfica del sonde S04.	167
Figura 3-26. Perfil geológico A-B	167
Figura 3-27. Localización de datos estructurales tomados con relación al Flanco NW del anticlinal de Sopo-Sesquilé	169
Figura 3-28. Proyección estereográfica de direcciones de buzamiento obtenidas.	171
Figura 3-29. Histograma de direcciones de buzamiento obtenidas.	171
Figura 3-30. Histograma de ángulos de inclinación obtenidos.....	172
Figura 3-31. Diagrama rosa de dirección de rumbo de estructuras geológicas.	172
Figura 3-32. Mecanismos de falla según	173
Figura 3-33. Falla planar.	174
Figura 3-34. Falla en acuña.	174
Figura 3-35. Falla por volcamiento directo.....	175
Figura 3-36. Falla de volcamiento por flexión.....	175
Figura 3-37. Estimación del GSI, basado en observaciones geológicas.....	177
Figura 3-38. Comparación de Perfiles de Meteorización de un macizo rocoso según Deere y Patton (1971), Dearman (1974, 1991) y Forero et al. (1999).	178
Figura 3-39. Perfil esquemático de unidades geomorfológicas.	180
Figura 3-40. Mapa de unidades geomorfológicas.	180
Figura 3-41. Mapa de pendientes.	182
Figura 3-42. Geomorfología local.....	184
Figura 3-43. Área de influencia en 3D.	184
Figura 3-44. Procesos morfodinámicos	187
Figura 3-45. Relación de fotografías aéreas georreferenciadas de la zona de estudio ...	190
Figura 3-46 Distribución de rugosidades	203
Figura 3-47. Ubicación del tendido de la LRS (2022).....	216
Figura 3-48. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia.....	224

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Figura 3-49. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia.....	226
Figura 3-50. Parámetros resistencia al corte Roca Intermedia Arenisca.....	229
Figura 3-51. Parámetros resistencia al corte mínimo – Roca Intermedia Arenisca Ria en RocLab.....	230
Figura 3-52. Parámetros resistencia al corte máximo – Roca Intermedia Arenisca Ria en RocLab.....	231
Figura 3-53. Zonificación detallada de amenaza por movimientos en masa.....	237
figura 3-54. Parámetros para análisis de amenaza por movimientos en masa.....	238
Figura 3-55. Mapa de pendientes.	243
Figura 3-56. Análisis de estabilidad Perfil 1.....	245
Figura 3-57. Análisis de estabilidad Perfil 2.....	246
Figura 3-58. Análisis de estabilidad Perfil 3.....	246
Figura 3-59. Mapa de amenaza por movimiento en masa, con perfiles de análisis en planta.	247
Figura 3-60. Procesos morfodinámicos en la categorización de amenaza por movimientos en masa.	248
Figura 3-61. Mapa de amenaza por movimientos en masa.....	248
Figura 3-62. Exposición de los elementos y ubicación de la amenaza	252
figura 3-63. Mapa de vulnerabilidad.....	257
Figura 3-64. Elementos expuestos y zonificación de amenaza.	258
Figura 3-65. Elementos expuestos (Tabla de atributos de ArcGIS).....	259
figura 3-66. Viviendas en exposición.	259
Figura 3-67. Vía en exposición.	260
figura 3-68. Viviendas en exposición.	260
Figura 3-69. Vivienda en exposición	261
figura 3-70. Mapa de riesgo.	263
Figura 3-71. Ejemplo de implantación de obras de bioingeniería tipo estabilización viva con trinchos de guadua.	265
Figura 3-72. Ejemplo de implantación de obras de bioingeniería tipo estabilización viva con trinchos de guadua.	266

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Figura 3-73. Ejemplo de disipador de energía en trinchos de guadua y piedra pegada..	266
Figura 3-74. Amargoso (Ageratina aristeii).	267
Figura 3-75. Maní forrajero (Arachis pintoi).	268
Figura 3-76. Condición Estática Alternativa No. 1 – Perfil 1.....	269
Figura 3-77. Condición Pseudo-Estáticos Alternativa No.1 – Perfil 1.	269
Figura 3-78. Condición Estática Alternativa No. 1 – Perfil 2.....	270
Figura 3-79. Condición Pseudoestática Alternativa No. 1 – Perfil 2.....	270
Figura 3-80. Condición Estática Alternativa No. 1 – Perfil 3.....	271
Figura 3-81. Condición Pseudoestática Alternativa No. 1 – Perfil 3.....	271
Figura 3-82.Dimensionamiento de los pernos.	274
Figura 3-83.Sistema malla-pernos.....	275
Figura 3-84. Características de la malla TECCO 645/2	275
Figura 3-85. Amargoso (Ageratina aristeii).....	276
Figura 3-86. Uva camaronera, uva de monte (Macleania rupestris).....	277
Figura 3-87.Revegetalización propuesta	277
Figura 3-88. Condición Estática Alternativa No. 2 – Perfil 1.....	278
Figura 3-89. Condición Pseudo-Estáticos Alternativa No.2 – Perfil 1.	278
Figura 3-90. Condición Estática Alternativa No. 2 – Perfil 2.....	279
Figura 3-91. Condición Pseudoestática Alternativa No. 2 – Perfil 2.....	279
Figura 3-92. Condición Estática Alternativa No. 2 – Perfil 3.....	280
Figura 3-93.Condición Pseudoestática Alternativa No. 2 – Perfil 3.....	280
Figura 3-94. Implantación de obras.	290
Figura 3-95. Detalle de los trinchos (vista frontal)	291
Figura 3-96. Detalle de los trinchos (Vista lateral).....	292
Figura 3-97. Detalle de los trinchos (Vista de perfil).....	292
Figura 3-98. Plan de Reforestación.	293
Figura 3-99. Canales.....	294
Figura 3-100. Condición de amenaza por movimientos en masa con las áreas de procesos morfodinámicos mitigados con las obras de mitigación para la alternativa seleccionada.	295
Figura 3-101. Programación de obra para la alternativa seleccionada.	296

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Figura 3-102. Presupuesto para la alternativa seleccionada.297

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

ÍNDICE CARPETA DIGITAL**01. INFORMES****02. ANEXOS****FASE I – INVESTIGACIÓN PRELIMINAR Y RECONOCIMIENTO DE CAMPO**

01. Informe técnico CAR.
02. Visita verificación conjunta.
03. Información secundaria.
04. Cartografía.
05. Inspección técnica.
06. Inventario de estaciones.

FASE II – TRABAJO DE CAMPO

01. Puntos de Control GCP.
02. Topografía.
03. Prospección.
04. Ensayos Laboratorios.


FASE III – MODELACIÓN Y DISEÑO DE OBRAS DE INGENIERÍA

01. Hidrología.
02. Coberturas.
03. Geología.
04. Hidráulica.
05. Modelo Geológico Geotécnico.
06. Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo.
07. Definición de Obras de Mitigación.
08. Presupuesto.

03. GBD

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

RESPONSABLES

REVISÓ	APROBÓ
CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO	INGENIERÍA CONSTRUCCIONES Y DISEÑOS SAS
 Juan Carlos Ruge Cárdenas Director de Consultoría	 Juan Gabriel Bastidas Martinez Director de Interventoría

CONTROL DE CAMBIOS

VERSIÓN	OFICIO	CAMBIOS REALIZADOS	FECHA
V1	CMC23-083	Creación del documento	03/04/2023
V2	CMC23-124	Subsanación oficio CC&D-CAR-1641-214	28/04/2023

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

I. INTRODUCCIÓN

Dando cumplimiento al contrato de consultoría No. 1633 de 2022, que tiene como objeto la “ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE INGENIERÍA NECESARIOS PARA EL CONOCIMIENTO Y LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN SITIOS CRÍTICOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ Y OTRAS CUENCAS PRIORIZADAS EN JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA”, celebrado con la Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR, el cual, está contemplado realizarse en 40 puntos (sitios) críticos, distribuidos en treinta y un (31) municipios, treinta (30) del Departamento de Cundinamarca y uno (1) en el Departamento de Boyacá.

Por lo antes expuesto, el Consorcio Mitigación del Riesgo, presenta en este documento, el Informe detallado del Punto 35 contractual, ubicado en el Municipio de Tocancipá, el cual fue desarrollado en tres fases dando cumplimiento así a las especificaciones técnicas detalladas de este contrato, estas Fases fueron desarrolladas de la siguiente manera:

Fase I "Investigación preliminar y reconocimiento de campo". Esta Fase permitió establecer a nivel regional, las posibles causas de las amenazas que pudieron ser identificadas, así como también, de manera cualitativa, establecer el área de estudio, para la toma de cada uno de los parámetros necesarios para establecer a escala detallada estas amenazas.

Fase II "Trabajo de campo". Esta Fase, con base a la información geológica y geomorfológica, y las condiciones generales observadas en el reconocimiento geotécnico, desarrollo de la primera Fase, se definió un programa de exploración del subsuelo con el fin de identificar la distribución y las características de las unidades superficiales, los materiales de transición y las formaciones presentes en el área, así como también, para obtener muestras representativas para la caracterización físico – mecánica de tales materiales, todo esto, para poder caracterizar todos los materiales que se involucren en los análisis de estabilidad y en especial, aquellos que se vean afectados por procesos de inestabilidad. Esto implicó la ejecución de exploración directa e indirecta, la directa mediante sondeos mecánicos por rotación en diámetro NQ con el objeto de identificar macizo rocoso sano mediante el criterio RQD > 75% o similar, y para la exploración indirecta, implicó la ejecución de líneas sísmicas y tomografías adecuadamente distribuidos

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

sobre el área de estudio, todo adecuadamente distribuido sobre el área de estudio de manera que permitiera garantizar la obtención de la información requerida para completar los modelos geológico – geotécnicos propuestos. Además de esto, la prospección se complementó con un programa de ensayos de laboratorio (propiedades índices y mecánicas) que permitiera establecer adecuadamente, las características esfuerzo-deformación y resistencia de los materiales involucrados, dependiendo de los mecanismos de falla.

Fase III “Modelación y Diseño de Obras de Ingeniería”. Esta Fase contiene el desarrollo de las actividades relacionadas con la evaluación de las condiciones de los procesos o fenómenos identificado como amenaza, para así establecer las medidas de control necesarias a través de la revisión, procesamiento y el análisis de información topográfica, geológica, geomorfológica, hidrológica y de drenaje superficial, sismológica, de cobertura, y de los resultados de la exploración geotécnica directa e indirecta y el modelo geológico-geotécnico.

De igual manera se revisan los posibles mecanismos de falla en la zona y se presenta la evaluación de la estabilidad en condiciones actuales. Además, se presentan las alternativas planteadas encaminadas a mitigar las problemáticas evidenciadas en el área de estudio. Estas obras se analizan a través de una matriz de evaluación multicriterio, para definir la intervención que mejor se acople a las necesidades de la comunidad y que a su vez represente una opción factible a nivel económico y ambiental. Posteriormente se presenta el diseño detallado para la alternativa seleccionada. Este diseño se complementa con las especificaciones de materiales, especificaciones de obra, presupuesto y programación de actividades.

II. JUSTIFICACIÓN

En los antecedentes del informe de Fase I de este sitio se describe el informe técnico No 068 DEL DGOAT, elaborado el 29 de julio del 2021 con el fin de identificar y verificar Flujos de tierra lentos y deslizamiento traslacional en sector muro de contención, que afecta infraestructura de la comunidad según solicitud del municipio de Tocancipá.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

III. OBJETIVOS

El objeto del contrato es la ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE INGENIERÍA NECESARIOS PARA EL CONOCIMIENTO Y LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN SITIOS CRÍTICOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ Y OTRAS CUENCAS PRÍORIZADAS EN JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA.

Con base en el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar la información necesaria de diferentes entidades y realizar visita preliminar del sitio
- Realizar los levantamientos pertinentes en campo junto con la caracterización física y mecánica de los materiales existentes en la zona.
- Ajustar el modelo Geológico – Geotécnico a partir de las características del suelo obtenidas en la exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio.
- Diseñar las obras de mitigación para el fenómeno observado en el sitio crítico.

IV. ALCANCE

Las actividades realizadas durante la Fase I “Investigación preliminar y reconocimiento de campo” permiten establecer a nivel regional las posibles causas de las amenazas identificadas y así obtener los parámetros necesarios para establecer a escala detallada las amenazas por proceso de remoción en masa, inundación y/o avenidas torrenciales. Las actividades desarrolladas en la Fase II “Trabajos de Campo” comprendieron levantamiento topográfico y topobatimétrico, la exploración directa del subsuelo mediante sondeos mecánicos y exploración indirecta mediante ensayos geofísicos (Líneas de Refracción Sísmicas y Tomografías), y la caracterización física y mecánica de los materiales. Por último, la Fase III comprende "Modelación y Diseño de Obras de Ingeniería", desarrollando diferentes actividades y análisis para proponer un modelo y diseño de obras de mitigación y control sobre el proceso encontrado en el punto.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

V. LOCALIZACIÓN

El sitio de estudio corresponde al Punto 35 de este contrato, se encuentra en área rural de Tocancipá Cundinamarca, en la vereda Patiño. Las coordenadas de referencia de este punto son Este: 4896902 y Norte: 2056461 y tiene una elevación promedio de 2602 msnm.

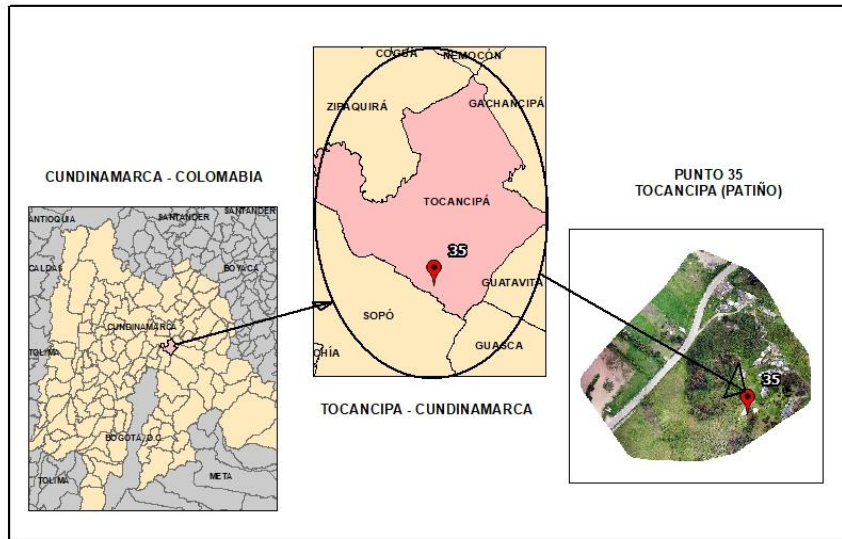


Figura V-1. Localización general de la zona de estudio.
Fuente: Propia.



Figura V-2. Ubicación general de la zona de estudio.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

VI. METODOLOGÍA

La metodología de un proyecto es el conjunto de procedimientos para la planificación y gestión de todos los componentes de este. De acuerdo con lo anterior y al diagnóstico, estudios y diseños correspondiente a cada Punto a estudiar, se realiza la propuesta metodológica para el desarrollo de las distintas Fases del proyecto enunciadas a continuación, la cual se presenta en Anexos - Metodología, que comprende las 3 Fases.

VII. CARTOGRAFÍA

Estructura GEODATABASE

Se entrega una carpeta denominada PUNTO 35 – Tocancipá (Patiño) la cual contiene los siguientes directorios.

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
01. Informe detallado		13/02/2023 8:57 a. m.	Carpeta de archivos	
02. Anexos		13/02/2023 8:57 a. m.	Carpeta de archivos	
03. GDB		28/04/2023 10:04 a. m.	Carpeta de archivos	
03. GDB_P35		22/03/2023 1:57 p. m.	Carpeta de archivos	
04. P35		2/02/2023 9:19 p. m.	ArcGIS ArcMap Do...	1.407 KB

Figura VII-1. Directorios geodata base.
Fuente: Propia.

CONTIENE:

- 01. Informe detallado:** El cual contiene el informe final de la zona de estudio.
- 02. Anexos:** El cual contiene la cartografía necesaria según sus especialidades, en archivos DWG y PDF.
- 03. GDB_P35:** Cuenta con los metadatos de las especialidades integrados.
- 04. P35:** El cual es un archivo MXD, el cual sirve para ilustrar los datos de la GDB.

Para ítem nuestros recursos a utilizar son el 03 y el 04.

La GDB se estructuró de la siguiente manera:

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Insumos	✓	29/12/2022 5:45 p. m.	Carpeta de archivos	
Intermedios	✓	16/12/2022 2:55 p. m.	Carpeta de archivos	
Productos	✓	16/12/2022 2:57 p. m.	Carpeta de archivos	

Figura VII-2. Estructura GDB.
Fuente: Propia.

Contiene:

1. Insumos

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Estilos	✓	21/01/2023 11:36 p. m.	Carpeta de archivos	
Insumos.gdb	✓	2/02/2023 2:53 p. m.	Carpeta de archivos	
Raster	✓	29/12/2022 5:45 p. m.	Carpeta de archivos	

Figura VII-3. Insumos.
Fuente: Propia.

- Estilos: Contiene los estilos temáticos de los diferentes archivos SHP según la necesidad del proyecto (Cada especialidad cuenta con una carpeta).

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Insumos_Forestal	✓	21/01/2023 11:36 p. m.	Carpeta de archivos	
Insumos_Geologia	✓	16/12/2022 3:09 p. m.	Carpeta de archivos	
Insumos_Geomorfologia	✓	16/12/2022 3:11 p. m.	Carpeta de archivos	
Insumos_Geotecnia	✓	16/12/2022 4:30 p. m.	Carpeta de archivos	
Insumos_Hidraulica	✓	16/12/2022 3:24 p. m.	Carpeta de archivos	
Insumos_Hidrologia	✓	16/12/2022 3:28 p. m.	Carpeta de archivos	

Figura VII-4. Insumos por especialidad.
Fuente: Propia.

- Insumos. GDB: Contiene todos los archivos SHP generados por el software ArcGIS 10.5.
- Ráster: Contiene los archivos TIFF de las diferentes especialidades necesarias para la zona de estudio (Cada especialidad cuenta con una carpeta).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2. Intermedios:

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Estilos	✓	16/12/2022 2:56 p. m.	Carpeta de archivos	
Intermedios.gdb	✓	30/01/2023 11:26 a. m.	Carpeta de archivos	

Figura VII-5. Intermedios.
Fuente: Propia.

- Estilos: Contiene los estilos temáticos de los diferentes archivos SHP según la necesidad del proyecto (Cada especialidad cuenta con una carpeta).

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Intermedios_Geologia	✓	16/12/2022 3:11 p. m.	Carpeta de archivos	
Intermedios_Geomorfologia	✓	16/12/2022 3:11 p. m.	Carpeta de archivos	
Intermedios_Geotecnia	✓	16/12/2022 3:22 p. m.	Carpeta de archivos	
Intermedios_Hidraulica	✓	16/12/2022 3:25 p. m.	Carpeta de archivos	

Figura VII-6. Intermedios por especialidad.
Fuente: Propia.

- Intermedios. GDB: Contiene todos los archivos SHP generados por el software ArcGIS 10.5.

3. Productos:

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Estilos	✓	21/01/2023 11:35 p. m.	Carpeta de archivos	
Productos.gdb	✓	2/02/2023 2:53 p. m.	Carpeta de archivos	

Figura VII-7. Productos.
Fuente: Propia.

- Estilos: Contiene los estilos temáticos de los diferentes archivos SHP según la necesidad del proyecto (Cada especialidad cuenta con una carpeta).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Producto_Forestal	✓	21/01/2023 11:35 p. m.	Carpeta de archivos	
Producto_Geologia	✓	16/12/2022 3:11 p. m.	Carpeta de archivos	
Producto_Geomorfologia	✓	16/12/2022 3:13 p. m.	Carpeta de archivos	
Producto_Geotecnia	✓	16/12/2022 3:23 p. m.	Carpeta de archivos	
Producto_Hidraulico	✓	17/01/2023 5:22 p. m.	Carpeta de archivos	
Propuesta_Mitigacion	✓	29/12/2022 6:13 p. m.	Carpeta de archivos	

Figura VII-8. Estilos
Fuente: Propia.

A continuación, se muestra la estructura de la GDB, que se encuentra en el sistema de proyección Magna Sirgas Colombia Bogotá y se divide en:

1. Insumos

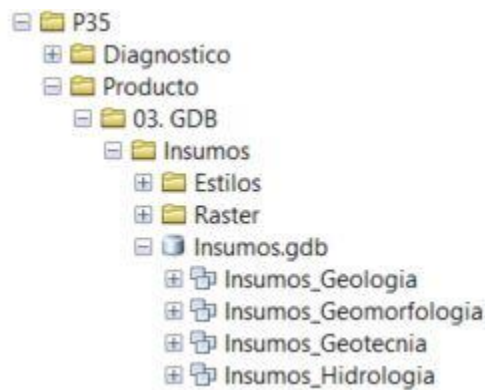


Figura VII-9. Insumos GDB.
Fuente: Propia.

2. Intermedios



Figura VII-10. Intermedios GDB.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3. Productos



Figura VII-11. Productos GDB.
Fuente: Propia.

En cada uno de los metadatos se encuentra la información requerida por cada especialidad para llegar a una propuesta de mitigación.

IMPORTACIÓN DE ESTILOS:

A continuación, se presentará un ejemplo de cómo cargar los estilos que se encuentra en la carpeta con el mismo nombre, presentada en las diferentes fases de las GDB de los puntos a trabajar:

Para comenzar se abre el archivo MXD, donde se puede observar los archivos SHP repartidos según su especialidad y según su fase del proyecto (Insumos, Intermedios y Productos).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

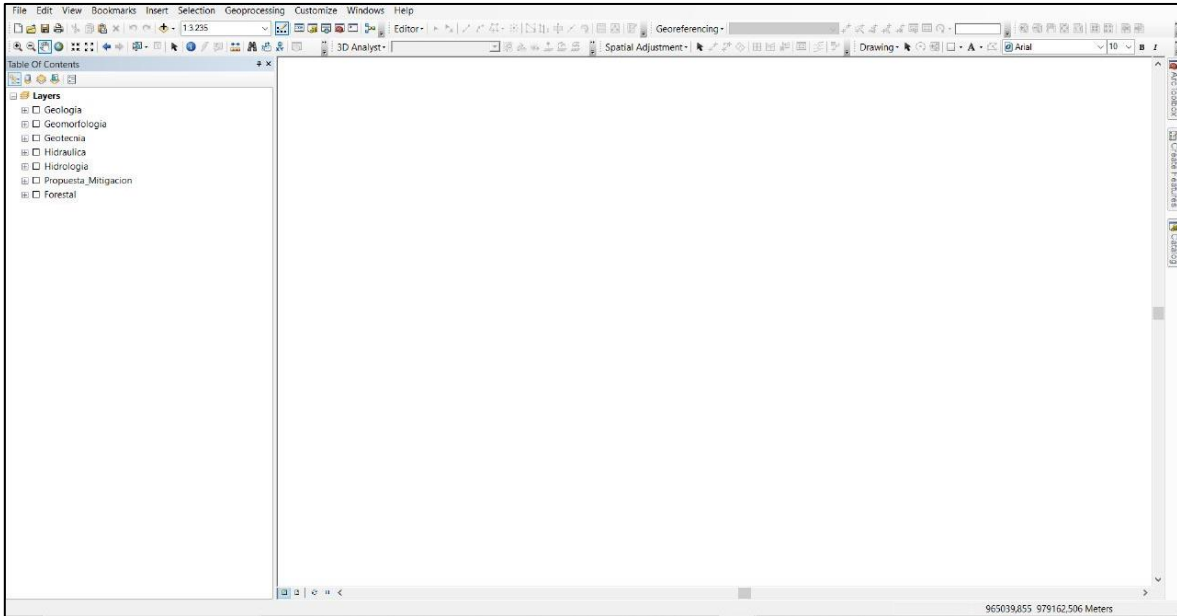


Figura VII-12. Importación de estilos.
Fuente: Propia.

Al abrir el programa ARCGIS 10.5 o superior, se evidencia enlaces rotos, por lo cual se debe hacer lo siguiente:

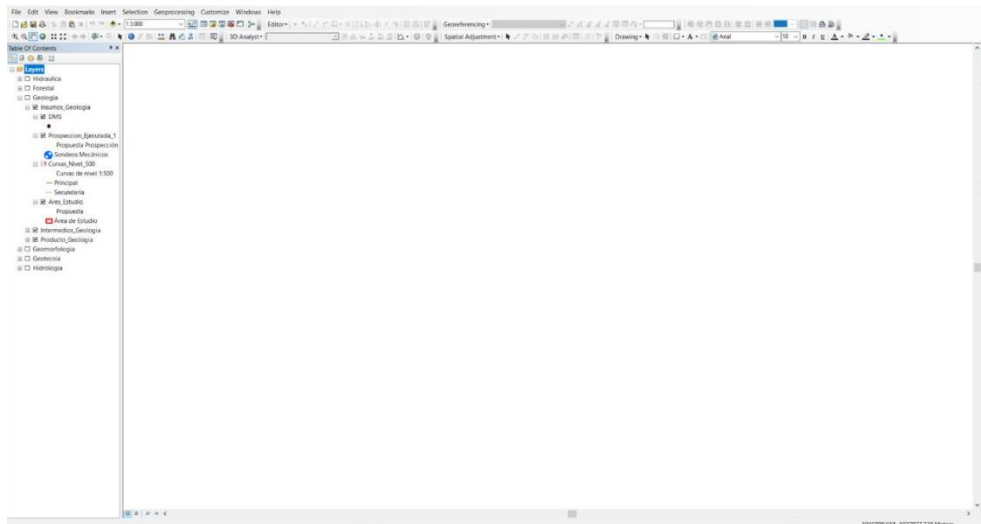


Figura VII-13. Enlaces rotos.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Se debe seleccionar el archivo que se quiere reenlazar con una ruta según su especialidad y según su fase, se debe buscar la ruta nueva de este archivo SHP (En el ejemplo se está utilizando las curvas de nivel de la ruta de insumos de geología):

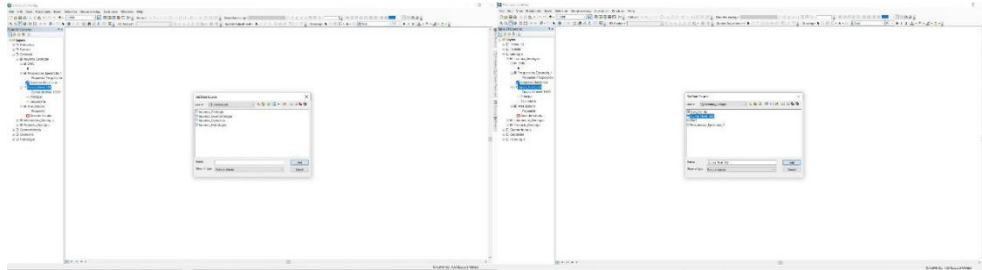


Figura VII-14. Reenlazar archivos.
Fuente: Propia.

Cuando se evidencie la ausencia del icono de alerta significa que las rutas se volvieron a enlazar:

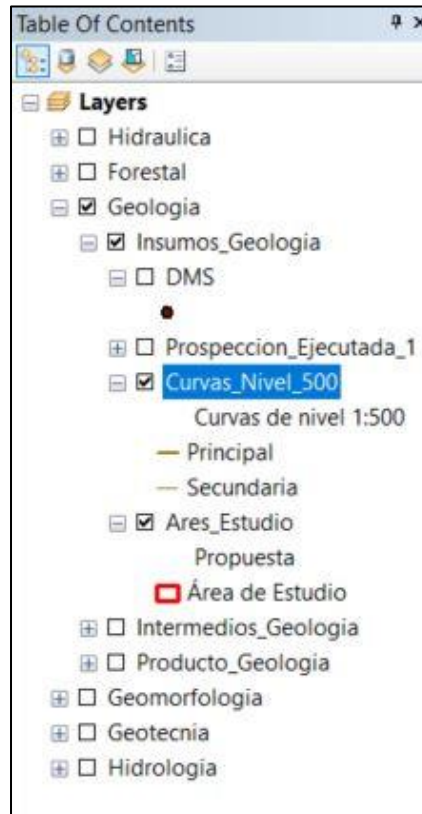


Figura VII-15. Reenlazar archivos.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Para que el programa muestre los gráficos se tiene que encender el cajón de la especialidad a revisar teniendo en cuenta su fase (Para el ejemplo se utiliza la especialidad de geología en su fase de insumos).

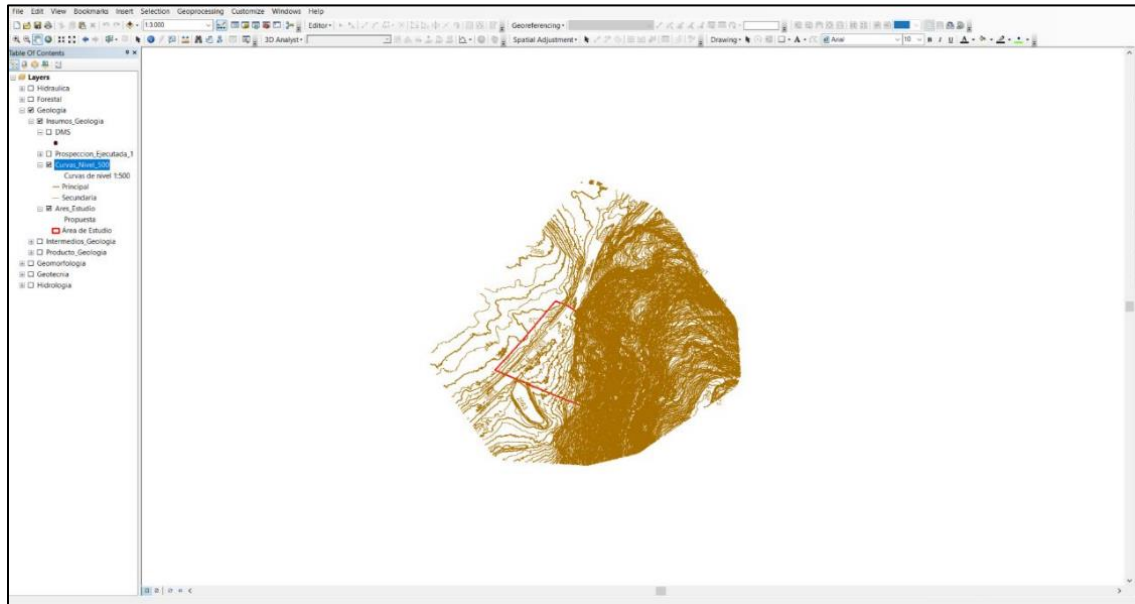


Figura VII-16. Ejemplo.
Fuente: Propia.

Esto se puede repetir para cada una de sus especialidades para cada una de sus fases.

FASE I – INVESTIGACIÓN PRELIMINAR Y RECONOCIMIENTO DE CAMPO

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1. FASE I – INVESTIGACIÓN PRELIMINAR Y RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Para definir el área de estudio, se llevaron a cabo las actividades que se enumeran a continuación, las cuales permitieron establecer a nivel regional las posibles causas de las amenazas identificadas.

1.1. REVISIÓN DOCUMENTOS TÉCNICOS – CAR

Previo a la visita de campo de verificación conjunta (Supervisión de la CAR – Interventor - Consultor), se hizo revisión del Informe Técnico DGOAT No. 068 de 29 JUL. 2021 (Ver Anexos – Fase I – 01), en el cual se indica que, en esta zona se encontraron Flujos de tierra lentos y deslizamiento traslacional en sector muro de contención, que afecta infraestructura de la comunidad (Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR, 2021)



Figura 1-1. Asentamientos diferenciales en la ladera de la montaña.
Fuente: Informe Técnico DGOAT No. 068 de 29 JUL. 2021.



Figura 1-2. Vista afectación muro.
Fuente: Informe Técnico DGOAT No. 068 de 29 JUL. 2021.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.2. VISITA DE CAMPO DE VERIFICACIÓN CONJUNTA

El día 25/04/2022 se realizó una visita de reconocimiento (Supervisión de la CAR – Interventor - Consultor) para verificar las condiciones de la zona que presenta el proceso de remoción en masa identificando, además de un posible deslizamiento de las viviendas con respecto a la ladera arriba, la cual puede llevar el riesgo hasta las vías principales. (Para mayor detalle ver anexo – fase I - 02)



Figura 1-3. Viviendas.
Fuente: Propia.



Figura 1-4. Registro fotográfico visita de reconocimiento.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

1.3.1. INFORMACIÓN RECOPIADA

Se presenta el análisis general de la información recopilada para la Fase 1, así como la investigación preliminar y reconocimiento del Sitio Crítico 35 correspondiente a Patiño ubicado en Tocancipá, esta información comprendió la búsqueda y captura de:

- Información disponible de las entidades nacionales que generan información de cartografía, geología, geomorfología, hidrología y clima, inventarios o registros de eventos, suelos, ambiental y usos del suelo.
- Información temática de mayor detalle contenida en los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos del municipio y la gobernación de Cundinamarca.
- Información procedente de la alcaldía de Tocancipá.

En la siguiente tabla se presenta las entidades de las cuales se recopiló información (Para mayor detalle ver anexo Fase I- información secundaria).

Tabla 1-1. Estudios recopilados Patiño.

FUENTE	TIPO DE INFORMACIÓN	ESCALA (SI APLICA)	AÑO	FORMATO
Corporación autónoma regional (CAR)	Informe DGOAT NO. 068	N/A	2018	PDF
	POMCA río Bogotá	1:25000	2019	Shape
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)	Fotografías aéreas	1:40000 1:25000 1:15000	1976-2021	.tif
	Planchas 209 IIID_GE_2013, 228IA_GE_2013, 228IB_AC_2014	1:25000	2013, 2014	Shape
Secretaría de ambiente	Sentencia del río Bogotá, informe de protección, recuperación y preservación de las fuentes hídricas del municipio, insumo del suelo rural	N/A	2019	PDF

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

FUENTE	TIPO DE INFORMACIÓN	ESCALA (SI APLICA)	AÑO	FORMATO
Alcaldía Municipal de Tocancipá	Informes de geología, hidrografía, áreas de interés ambiental, zonificación, coberturas, uso del suelo rural y de casco urbano, plan de manejo de gestión de riesgo, POT.	1:25000	2005- 2009	PDF
Servicio Geológico Colombiano	Geología de la plancha 228-Bogotá noreste , procesos identificados SIMMA	1:25000	2015	Shape
GEOCING	Relación de movimientos en masa	N/A	2019	PDF
Alos Palsar	Análisis de cuenca	1:10000	2011	Shape
IDEAM	Inventario de estaciones	1:25000	2022	Shape
Soil Conservation Service	Modelo lluvia-escorrentía	N/A	2019	PDF
Universidad de Pamplona	Curva de escorrentías	N/A	2016	PDF

Fuente: Propia.

1.3.1.1. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL (CAR)

El DGOAT 068 facilitado por la CAR permitió identificar a construcción de viviendas y cambios geomorfológicos en la ladera de la montaña. Según lo indicado existió un evento de movimiento en masa muchos años atrás por lo cual la administración de esa época realizó la construcción de un muro de contención.

Con base en el POMCA del río Bogotá se pudo identificar las coberturas a una escala de 1:25000, de igual forma se identificaron procesos hidro climatológicos como lo fueron las isoyetas y así poder realizar un análisis del balance hídrico de la zona, de igual manera, como se puede ver en la siguiente imagen, se analizó el shape de las amenazas de inundación y avenida torrencial a una escala 1:25000 para enfocarlo en el área de interés.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

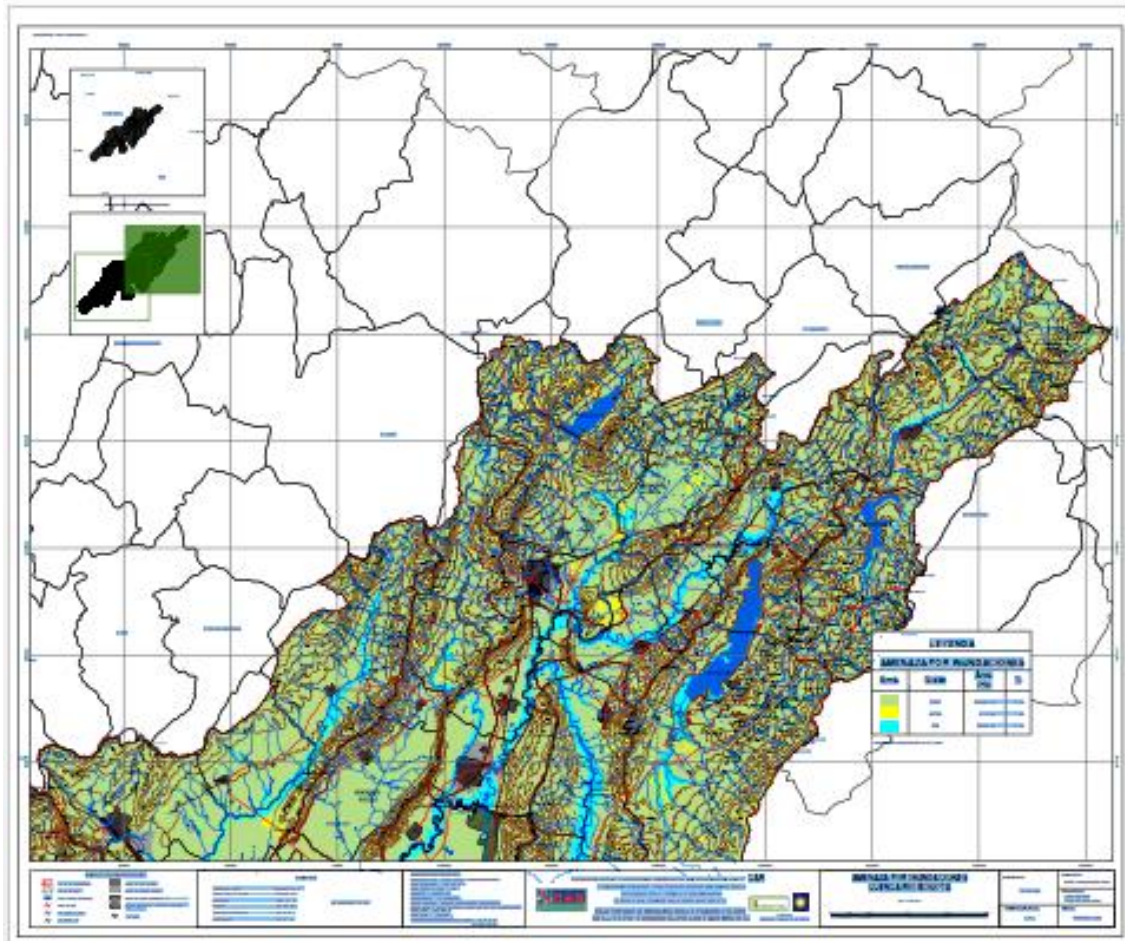


Figura 1-5. Mapa de amenaza por inundación POMCA.
Fuente: (POMCA Río Bogotá, CAR Escala 1:25000)

1.3.1.2. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC)

Las planchas anteriormente mencionadas corresponden a un plano cartográfico a escala 1:25000, las cuales proporcionan una información relevante en cuanto a los elementos expuestos, infraestructura vial, drenajes secundarios y primarios, entre otros, dicha información se complementa con estudios suministrados por la alcaldía.

Las fotografías aéreas e imágenes satelitales son de gran relevancia para este estudio por lo que la información que se obtenga a partir de estas servirá como base para soportar todas las características y aspectos geomorfológicos y estructurales que abarcan el área del punto crítico.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 1-6. Fotografía aérea.

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2022)

1.3.1.3. SECRETARIA DE AMBIENTE

Por medio de los documentos de la secretaria de ambiente se puede identificar los humedales naturales y artificiales de Tocancipá, la revisión ambiental inicial actual de las fuentes hídricas lóxicas para protección, recuperación y preservación de estas, así como el uso actual del suelo y las zonas que se perciben con riesgo de movimiento en masa, inundación, agotamiento del recurso suelo y contaminación por residuos y el impacto ambiental que esto conlleva.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.1.4. ALCALDÍA MUNICIPAL DE TOCANCIPÁ

Los documentos facilitados por la alcaldía permiten complementar los estudios anteriormente analizados. De igual forma da una idea de la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, medidas y acciones permanentes para el conocimiento, la reducción del riesgo y el manejo de desastres. Mediante el POT se pueden extraer detalles de gran valor técnico en cuanto al uso del suelo tanto rural como del casco urbano, lo cual permite saber si en el punto crítico se cumple la densidad máxima suelo suburbano y las extensiones corredoras para conservar y mantener las áreas arbóreas forestales, así identificar y analizar el riesgo que presenta este punto crítico en cuanto a remoción en masa para dar cumplimiento al objeto y ejecutar obras de mitigación del riesgo presente.

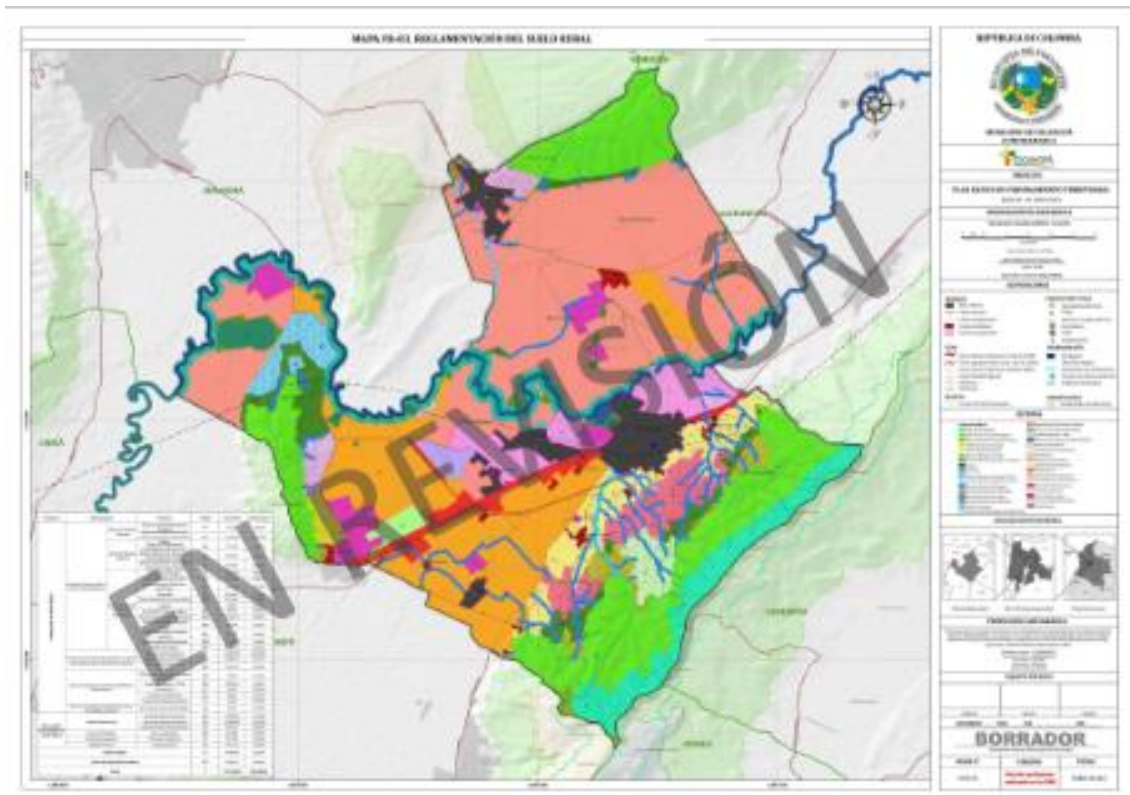


Figura 1-7. Cartografía rural.
Fuente: (Alcaldía Municipal de Tocancipá 2021, escala 1:10000)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO**1.3.1.5. SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO**

Con base en la información de la PLANCHA 228 SGC 2015, identificándose principalmente la formación Labor-Tierna (K2t), la formación Sabana (Q1sa).

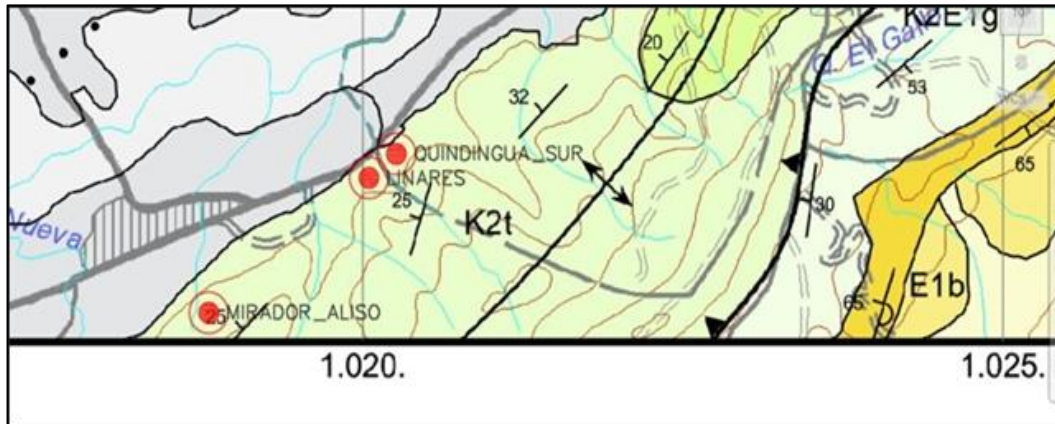


Figura 1-8. Geología regional.

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano – SGC, 2022)

1.3.1.6. ALOS PALSAR

Para mejorar la definición de la selección del área de estudio, se tomó en cuenta un modelo digital de elevación con una resolución de 12.5 x 12.5 m obtenido del satélite ALOS Palsar, este modelo de elevación digital (DEM), tiene una precisión mayor para la definición de drenajes, permitiendo un trazo de drenaje y cuenca más preciso.

1.3.1.7. IDEAM

Con base en el catálogo nacional de estaciones hidrológicas y meteorológicas se ubicaron las estaciones activas cercanas al área de estudio para poder realizar un análisis de modelo de lluvia de escorrentía para la obtención de los caudales en esta zona.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.1.8. SOIL CONSERVATION SERVICE

Al no existir medición directa de caudales sobre el área de pertinencia se utiliza el modelo del SCS, el cual basa la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de las características del suelo, el uso de este y su cubierta vegetal.

1.3.1.9. UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Por medio del documento de la universidad de Pamplona se puede lograr extraer la tabla de curvas número de escorrentía para áreas urbanas para poder conocer el grupo hidrológico en el cual se encuentra el área de estudio basado en la descripción del uso del suelo y así generar un archivo shape de dichas curvas número.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**1.3.2.1. GEOLOGÍA**

A continuación, se referencia el resumen de la información obtenida en fuentes de información como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el IDEAM y el IGAC para el punto de estudio.

GEOLOGÍA REGIONAL

El punto 35 de estudio se localiza en la Cordillera Oriental Andina, hacia el municipio de Tocancipá, vereda Canavita, predio Patiño, el cual se ubica dentro de la plancha 228-Santafé de Bogotá Noreste a escala 1:100.000.

Esta cordillera constituye un cinturón orogénico caracterizado por la presencia de un basamento Paleozoico fracturado sobre el que se dispone una secuencia sedimentaria de edad Cretácica y Cenozoica.

Con base en la información recopilada en primera instancia obtenida mediante el SGC, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el POMCAS del río Bogotá, se analizó la siguiente información:

Estratigrafía.

Litológicamente están representadas diferentes unidades sedimentarias de edades comprendidas entre el Cretácico y el Cuaternario, depositadas inicialmente en una cuenca de mar somero que evoluciona hacia un ambiente continental que caracteriza a las series Terciarias. En seguida, se hace una descripción de las unidades geológicas nombradas en orden cronológico de la más antigua a la más reciente y representadas en la tabla y Figura siguientes. (Para mayor detalle ver anexo Fase I – cartografía – análisis de la información).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 1-2. Relación de Unidades litoestratigráficas identificadas a nivel regional.

Cuaternario	Q1sa	Formación Sabana
	Q2c	Depósitos Coluviales
Cretácico	K2t	Formación Labor Tierna

Fuente: Propia

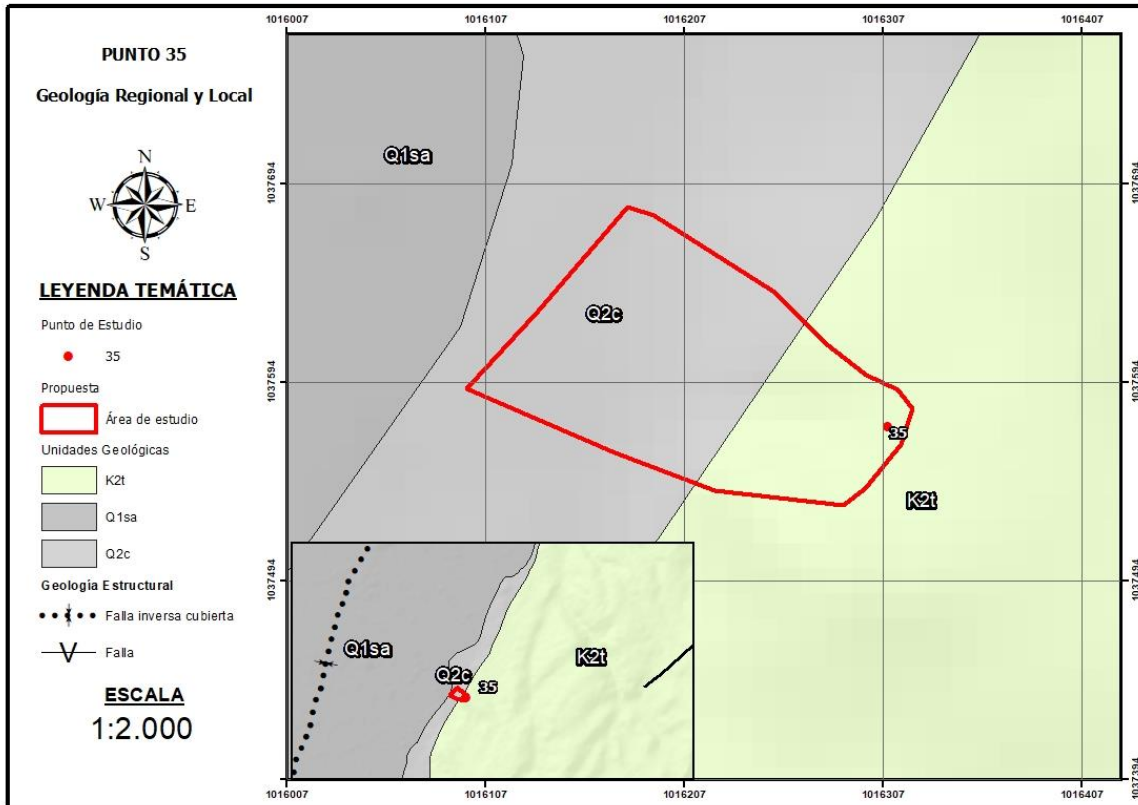


Figura 1-9. Mapa Geológico Regional.
Fuente: (Servicio Geológico Colombiano – SGC, 2022)

• **CRETACICO**

- Formación Arenisca de Labor y Tierna (K2t) Maastrichtiano inferior

Hubach (1931) subdivide el conjunto superior del Piso del Guadalupe y asigna al segmento superior el nombre de “Horizonte de areniscas tiernas” que “se distingue en general por areniscas granulosas, tiernas, que llevan un banco poroso constituido de materia orgánica silíceas, cuyo origen se relaciona posiblemente con algas o esponjas silíceas”. Pérez &

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Salazar (1978) dividen el horizonte superior de Hubach (1931) en Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna, dentro de la formalización del Grupo Guadalupe.

Esta formación está conformada principalmente por porcelanitas, limolitas y arcillolitas, con algunas intercalaciones de arenitas. Las porcelanitas son de color gris amarillento, ocurren en capas medias a muy delgadas, hasta gruesas y muy gruesas, con laminación plano-paralela y foraminíferos bentónicos. Se intercalan con capas de espesor variable entre delgadas y muy gruesas de lodolitas, arcillolitas o limolitas de color negro o gris, con laminación plano-paralela, localmente bioclásticas.

El contacto inferior entre la Formación Arenisca Dura y la Formación Plaeners es neto y concordante, mientras que el superior con la Formación Arenisca de Labor y Tierna es gradual rápido y concordante. Pérez & Salazar (1978) consideran la Formación Plaeners de edad Maastrichtiano inferior, mientras que Föllmi et al. (1992) determinan que abarca el Campaniano tardío hasta el Maastrichtiano temprano. Terraza et al. (2010) recolectan fauna de amonitas y bivalvos (*Abruptolopha Abrupta*) que indican edad Campaniano tardío a Maastrichtiano, lo que corrobora la edad determinada por Föllmi et al. (1992).

- **CUATERNARÍO**

- Formación Sabana (Q1sa)

La Formación Sabana aflora en los valles de los ríos Bogotá. Carvajal et al. (2004) describen estos depósitos como extensos, de aspecto aterrazado y con morfología ondulada suavemente inclinada. Esta unidad se encuentra disectada por el río Bogotá y sus afluentes (Helmens & Van der Hammen, 1995).

La definición original se debe a Hubach (1957), quien agrupa los “depósitos lacustres, paludales y marginales distribuidos en la planicie de la Sabana de Bogotá y anexos, en los valles que desembocan en ellas, y en algunos cerros bajos, como los de Madrid y Mosquera”. El autor Incluye también los depósitos glaciares del páramo de Cruz Verde al

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

sureste de Bogotá y la parte norte de la región de Sumapaz; el nombre proviene de la Sabana de Bogotá.

La Formación Sabana consiste principalmente de arcillas lacustres y hacia los márgenes de la cuenca de Bogotá se incrementan las intercalaciones de arcillas orgánicas, turbas arcillas arenosas y arenas arcillosas. En la parte central de la Sabana de Bogotá, la Formación Sabana está constituida principalmente por arcillas, mientras que hacia el sector de Chía-Cota se encuentran (hacia el techo) intercalaciones de arcillas arenosas y arenas arcillosas relacionadas con sedimentos de los ríos Frío y Bogotá; en la parte más norte del valle de Sopó-La Calera se encuentran intercalaciones de turba y arenas arcillosas al tope de la Formación. De acuerdo con dataciones absolutas de las cenizas más inferiores y de carbono-14 para la parte superior de la Formación Sabana, se establece una edad de Pleistoceno medio y tardío (Helmens, 1990).

- Depósitos coluviales (Q2c).

Dentro de los depósitos coluviales se incluyen los depósitos de pendiente de origen local, Según Carvajal et al. (2004) estos depósitos forman unidades de conos coluviales, conos de taludes, lóbulos de soliflucción y flujos torrenciales; los conos coluviales y lóbulos de soliflucción son de longitudes cortas y largas, tienen formas convexas e inclinaciones, suaves o abruptas.

De acuerdo con este autor, son acumulaciones sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial, por flujo lento y viscoso de suelos saturado y no saturado, y la litología es de bloques angulares.

De igual manera en la Figura siguiente se muestra un diagrama cronoestratigráfico de las unidades identificadas en el área del proyecto a nivel regional, de acuerdo con los estudios realizados por diversos autores.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

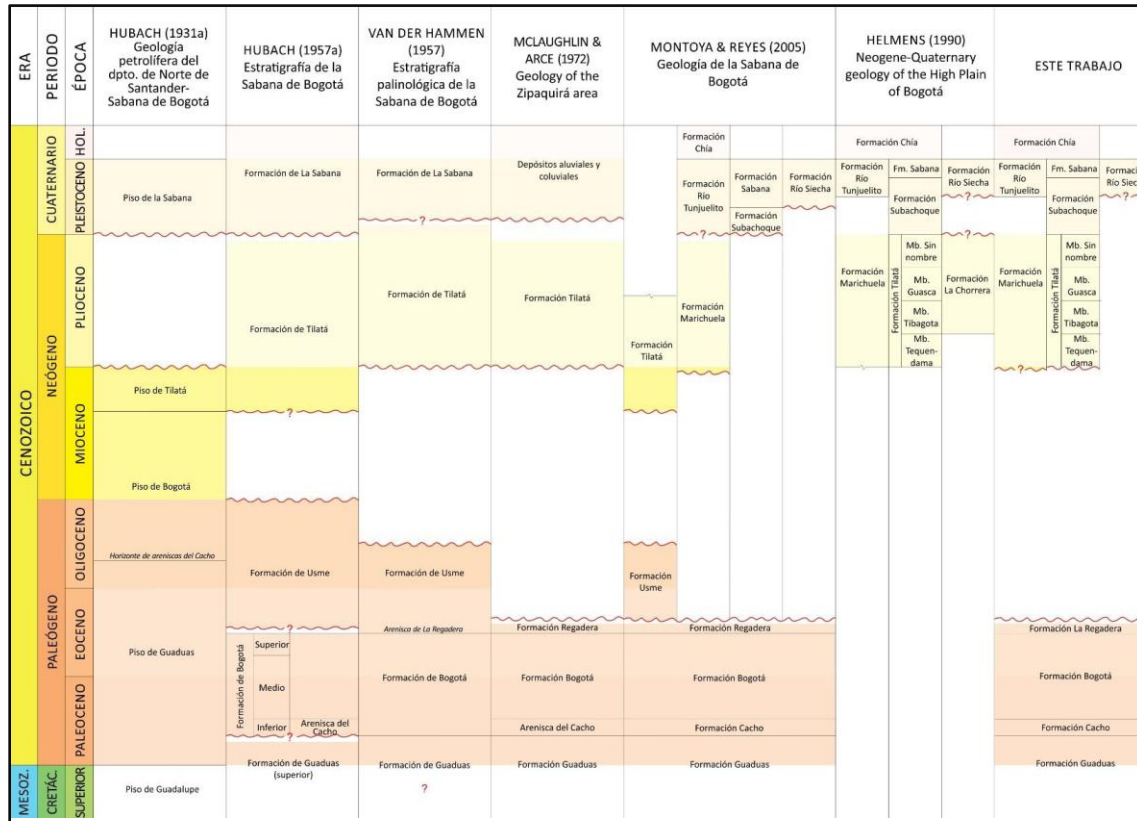


Figura 1-10. Diagrama cronoestratigráfico de unidades identificadas a nivel regional.
Fuente: Geología de la plancha 228-Bogotá noreste.

Geología estructural – marco tectónico regional.

El área de interés se localiza en la vertiente este de la Cordillera Oriental Andina que constituye un cinturón orogénico divergente, plegado y fallado, cuyo levantamiento se inició a finales del Paleoceno, cuando finalizó la cinemática divergente regional y se implantó un régimen de convergencia de placas. En este contexto se produjo la reactivación e inversión tectónica de las fallas normales preexistentes en las antiguas cuencas extensionales de sedimentación del Cretácico inferior. La geometría de estas cuencas y la disposición de las fracturas respecto a la orientación de los esfuerzos son los dos factores que condicionan el estilo deformacional, generándose una mayor inversión en regímenes transpresivos que en el caso de entornos compresivos.

A continuación, se muestra un perfil esquemático a lo largo de la Cordillera donde se observan los principales rasgos que la caracterizan, destacándose la divergencia

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

estructural entre el flanco próximo al Borde Llanero, con orientación al este, y el flanco cercano al Valle del Magdalena con orientación al oeste.

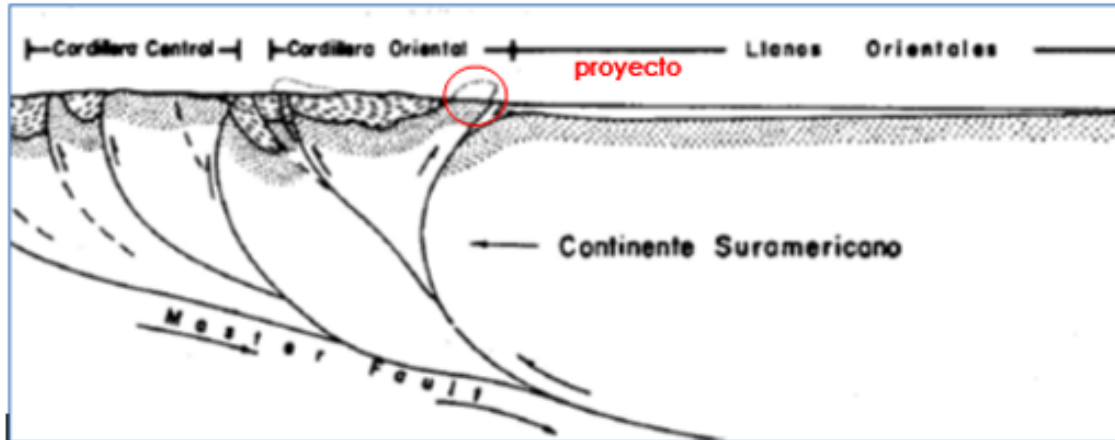


Figura 1-11. Sección de la Cordillera Andina.
Fuente: (Historia Geológica de Colombia, Burgl, H.)

A nivel más local, el área de influencia del Punto se ubica hacia la zona occidental de la plancha geológica 228, donde las fallas más relevantes del área son: Machetá, Suralá, Chocontá-Pericos y el Anticlinal Sopó-Sesquilé.

En la siguiente Figura, se presentan sus principales rasgos estructurales asociados al área de influencia del Punto.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

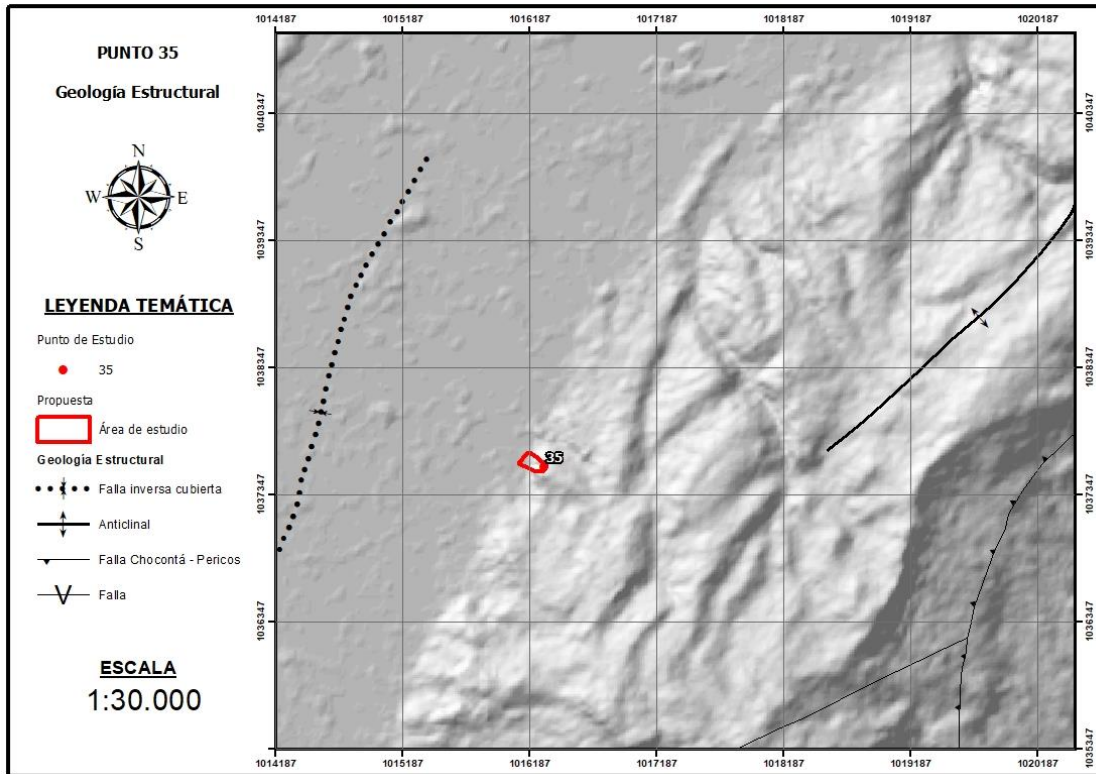


Figura 1-12. Esquema estructural regional, escala 1:100.000
Fuente: (Servicio Geológico Colombiano – SGC, 2022)

• **FALLAS**

- Falla Machetá

La Falla de Machetá cruza la parte centro oriental de la plancha en dirección noreste-suroeste. El nombre posiblemente fue asignado por McLaughlin & Arce (1972) con base en la población de Machetá, que está cerca del trazo de la falla (Terraza et al., 2010).

Es una falla inversa de alto ángulo con vergencia al sureste y una componente dextral (Montoya & Reyes, 2003). En la plancha 228-Bogotá noreste, a causa de la Falla de Machetá, la Formación Arenisca Dura o Plaeners queda en contacto con la Formación Guaduas, esta última sobre el bloque yacente de la estructura.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- Falla de Suralá.

De acuerdo con lo descrito por Montoya & Reyes (2003), esta falla tiene una orientación N35°E, buza hacia el oriente y podría tener un componente de rumbo, además de presentar fuentes termales que indicaría que posiblemente es una falla profunda. La Falla de Suralá pone en contacto la Formación Arenisca de Labor y Tierna con la Formación Guaduas.

- Falla Chocontá-Pericos

La Falla de Pericos fue cartografiada por McLaughlin & Arce (1972) en la serranía del mismo nombre, de donde probablemente toma el nombre. Por atravesar el valle de Chocontá, Montoya & Reyes (2003), modifican la nomenclatura adicionándole el nombre de Chocontá en la plancha 209-Zipacquirá.

La Falla de Chocontá-Pericos es de tipo inverso con vergencia al oriente y en el área de estudio muestra trazos sinuosos a causa de la variación en la inclinación y orientación del plano de falla; es usual también que presente fallas retro inversas asociadas como en el sector de Pericos y la Falla de Teusacá, así como bloques muy tectonizados, probablemente rotados, evidenciados en la inversión de estratos (Montoya & Reyes, 2003). Esta falla pone en contacto las formaciones cretácicas con rocas del Paleógeno a lo largo de su extensión.

- **PLEGAMIENTOS.**

- Anticlinal Sopó-Sesquilé

Estructura anticlinal localizada desde el municipio de Sesquilé (McLaughlin & Arce, 1975), entre la localidad de Gachancipá y el embalse de Tominé. Es una estructura asimétrica con el flanco occidental menos inclinado que el oriental, el cual localmente presenta inversiones debidas a que está limitado por la Falla de Chocontá.

En su núcleo aparece la Formación Arenisca Dura y en los flancos Plaeners y Labor-Tierna. Aunque no hay conexión directa podría ser continuidad del anticlinal de Suesca.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.2.2. GEOMORFOLOGÍA

El punto de estudio, que se localiza en el municipio de Tocancipá departamento de Cundinamarca (E: 4896902m, N: 2103481m), altitud 2670msnm, se caracteriza por tener un relieve montañoso abrupto, disectado por quebradas que conforman una red hidrológica con una morfología de tendencia rectangular a subparalela.

El modelado geomorfológico del sector se ha originado a partir de factores estructurales, litológicos y climáticos. Desde un punto de vista tectónico, hay un dominio de las fallas de dirección NE que condicionan la orientación de las principales lineaciones montañosas y cauces fluviales. Las litologías dominantes, rocas de naturaleza clástica y pelítica de edad Cretácica, son favorables a los procesos de meteorización que dan lugar a suelos residuales de tipo arcilloso a limoso de varios metros de espesor. De este modo, las laderas constituidas por estas rocas son susceptibles a los fenómenos de remoción en masa, principalmente deslizamientos y reptaciones, que pueden verse favorecidos por la orientación de la estratificación y las diaclasas, las condiciones climáticas, así como por eventuales episodios sísmicos.

Las principales geoformas que se presentan en la zona del proyecto son crestas, laderas y valles, que corresponden respectivamente a ambientes estructurales, denudacional y fluviales como se muestra esquemáticamente en la Figura siguiente.

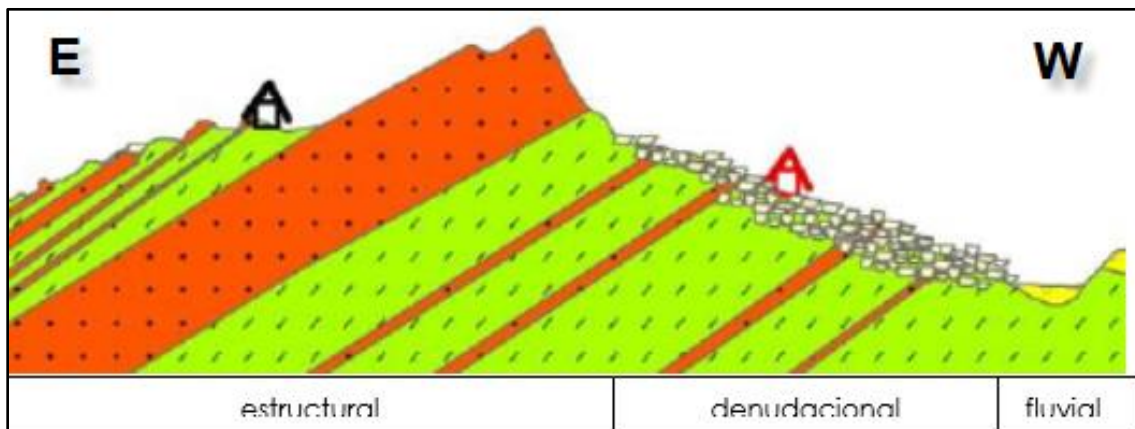


Figura 1-13. Perfil esquemático de unidades geomorfológicas.

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano – SGC, 2022)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

En el siguiente mapa se muestra la distribución espacial de las unidades geomorfológicas identificadas a nivel regional. (Para mayor detalle ver Anexo – Fase I – Cartografía – Análisis de la información)

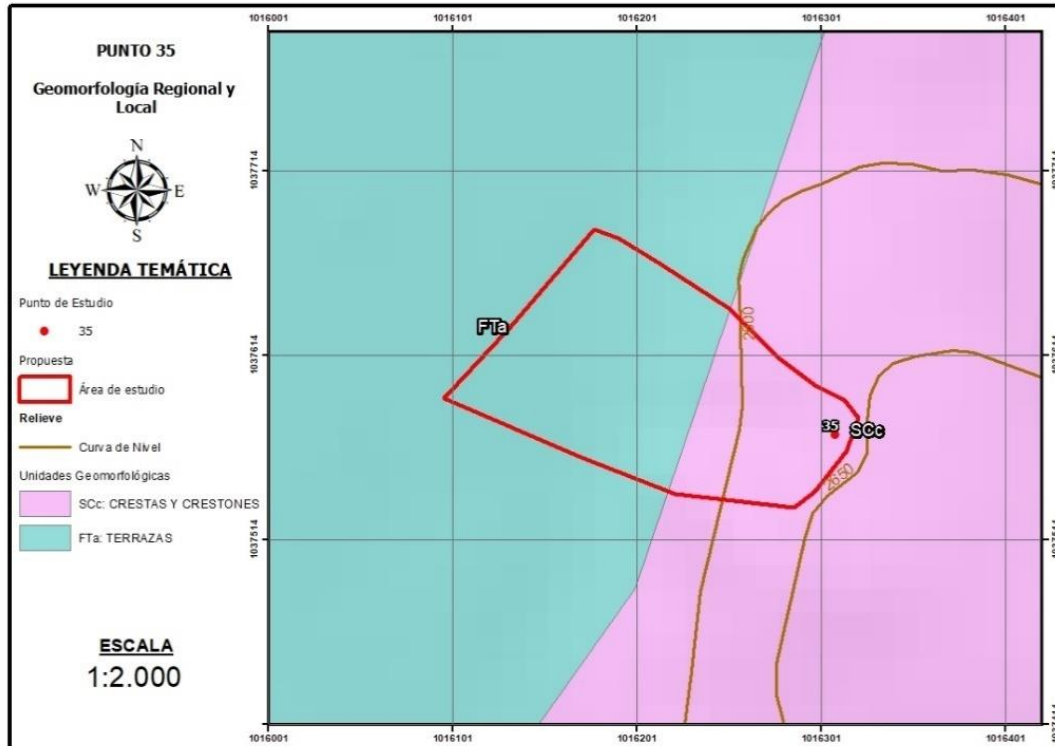


Figura 1-14. Mapa de unidades geomorfológicas.
Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2022).

Los rasgos característicos de cada una de estas unidades geomorfológicas se muestran a continuación.

Tabla 1-3. Caracterización de unidades geomorfológicas.

AMBIENTE Y SUBAMBIENTE	UNIDAD	CARACTERÍSTICAS
Estructural/ Cresta	Ladera Estructural	Rocas sedimentarias plegadas Pendientes con inclinación moderada a fuerte
Denudacional/ Ladera Denudacional a Coluvial	Ladera Denudacional activa	Laderas con procesos de erosión y coluviación, pendiente moderada a fuerte.
Fluvial	Terraza Aluvial	Planicies aluviales con pendientes suaves (<7%), Bajo grado de disección
	Cono Aluviotorrencial	Relieve alomado con drenajes secundarios

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2022).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Relieve y suelos

La localización del sitio presenta pendientes fuertemente quebradas, moderadamente escarpadas y escarpadas, siendo habitual la presencia de depósitos coluviales originados por procesos de remoción en masa. Por su parte, hacia la parte baja del área de estudio se presenta una planicie aluvial en aspecto de terraza influenciado por depósitos del río Bogotá y sus afluentes, con morfología desde plana hasta fuertemente ondulada.

En los mapas de pendientes y de suelos que se muestran a continuación, se aprecian los rasgos mencionados, la localización en un paisaje montañoso, de tipo de relieve en crestones, clima frío, en general por encima de los 2670 msnm y la preponderancia de los suelos denominados MMVf que corresponden a zonas con pendientes fuertemente quebrado a moderadamente escarpado, afectado en sectores por erosión hídrica moderada y severa, menor suelos RMRa.

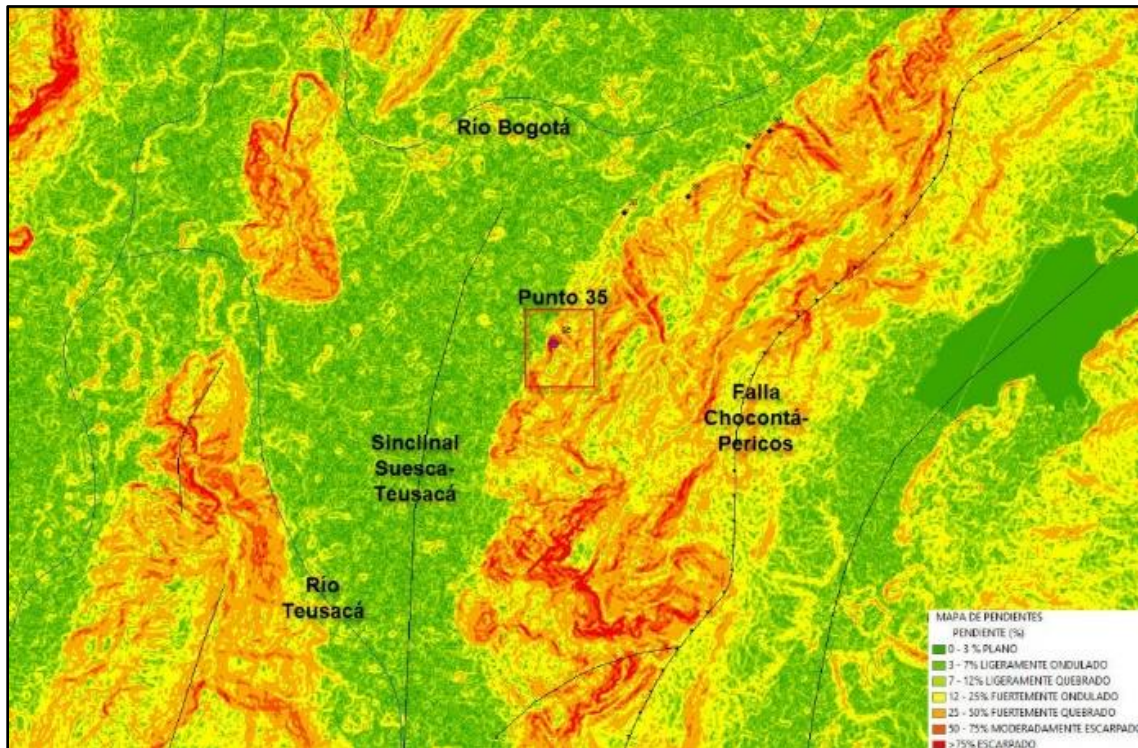


Figura 1-15. Mapa de pendientes.
Fuente: Tomado y modificado del SGC.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.2.3. COBERTURAS

Las coberturas encontradas en la zona de estudio corresponden principalmente a bosques y áreas seminaturales, territorios agrícolas y territorios artificializados como se puede ver en la siguiente Figura (Para mayor detalle ver Anexo Fase I - 04).

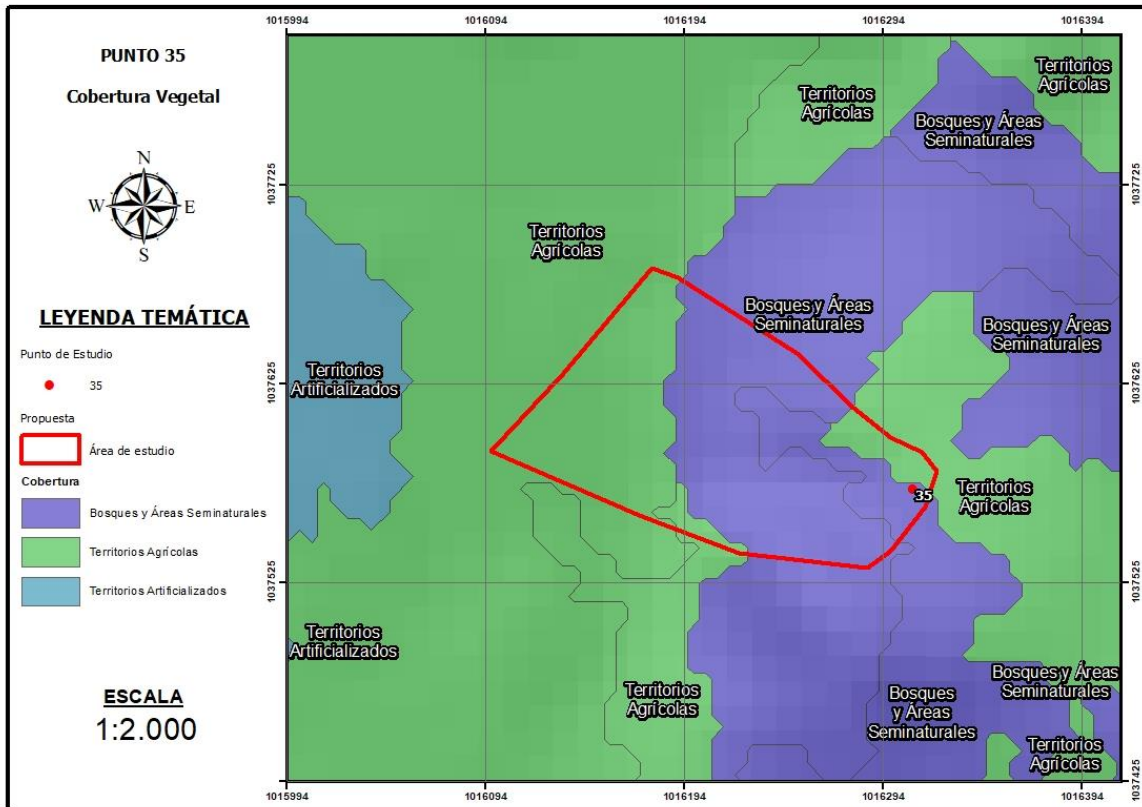


Figura 1-16. Mapa usos del suelo.
Fuente: (POMCA Río Bogotá, 2019)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.2.4. HIDROLOGÍA

Se revisó la información relacionada al componente hidrológico, encontrando los siguientes aspectos y sus fuentes de obtención.

1.3.2.4.1. ESTACIONES HIDROLÓGICAS

Las estaciones con las cuales se trabajarán corresponden a las estaciones hidrológicas y meteorológicas disponibles por la Corporación Autónoma Regional CAR, en el capítulo 5 se encuentran especializadas las estaciones que se usarán para el desarrollo hidrológico.

Cabe resaltar que se hace la revisión también de las estaciones hidrológicas y meteorológicas del IDEAM que se encuentran presentes en la zona de estudio y serán utilizadas según se requieran por la ausencia de datos o estaciones por parte de la CAR.

Dentro de la zona de estudio se encuentran: 5 estaciones limnimétricas, 5 estaciones pluviométricas y 5 estaciones pluviográficas.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.2.4.2. ISOYETAS

Las isoyetas que se utilizaran en el presente informe fueron extraídas del POMCA del río Bogotá las cuales fueron creadas con la información hidro climatológica histórica disponible de las estaciones existentes del IDEAM y la CAR, dichas isoyetas se encuentran en un rango de 612 hasta 3225 mm.

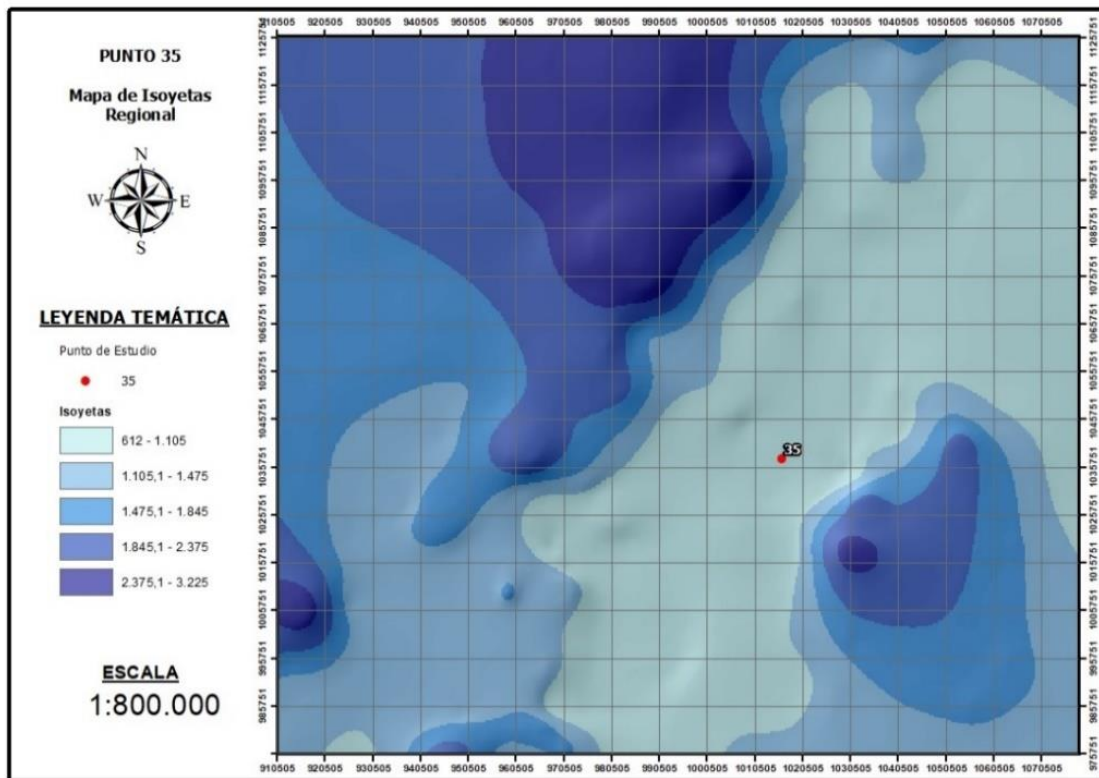


Figura 1-17. Isoyetas.
Fuente: (POMCA río Bogotá, 2019)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.2.5. CARTOGRAFÍA BASE

Como resultado de la recopilación de información en fuentes secundarias fue posible la obtención de cartografía base con múltiples temáticas como: drenajes, vías, curvas de nivel y Zonas de interés ambiental. Estas capas de información resultan útiles para complementar los diagnósticos y permite realizar diagnósticos más elaborados y detallados.

A continuación, se presentan las capas de información secundaria cercanas a la zona de estudio del punto 35. (Para mayor detalle ver anexo - fase I – cartografía – análisis preliminar)

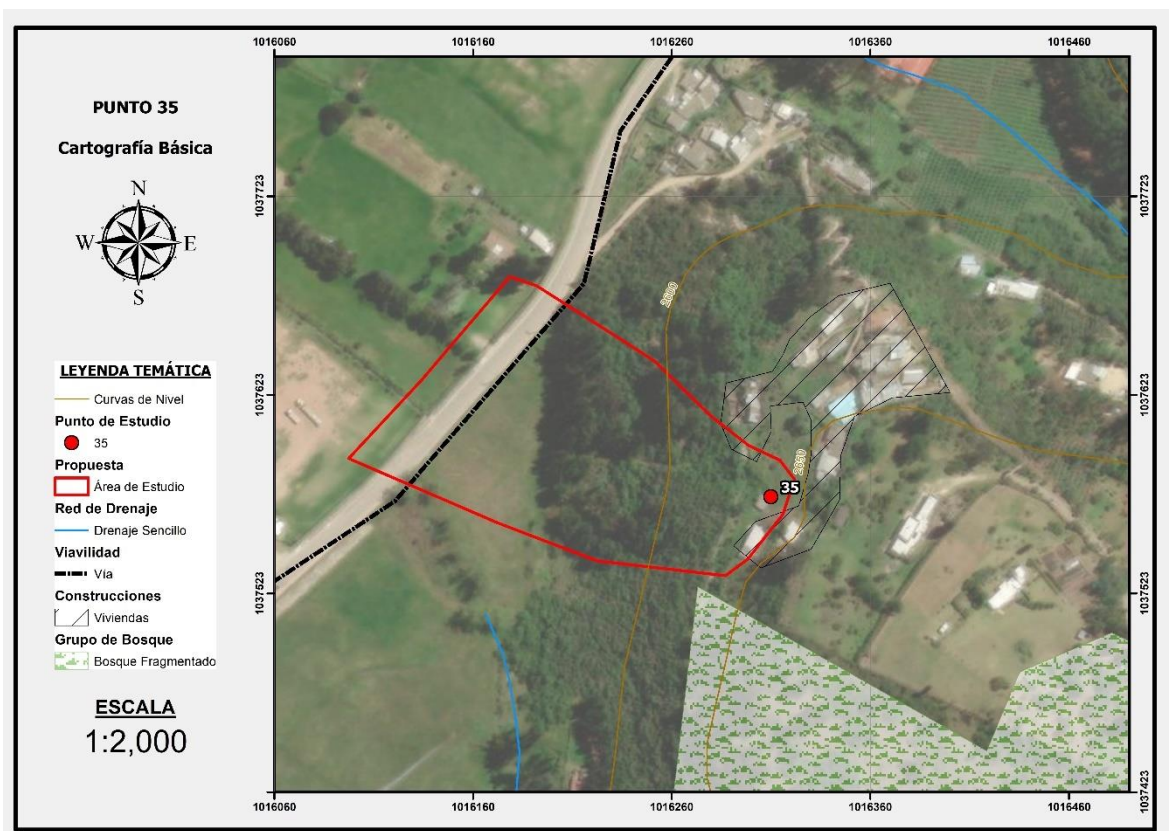


Figura 1-19. Cartografía base.

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2022)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.2.6. AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGO

1.3.2.6.1. INUNDACIONES

En la siguiente Figura se muestra la condición amenaza por inundación del municipio de acuerdo con el POMCA del río Bogotá, esta información de zonificación de amenaza da una idea del área de impacto que tendría un evento en el cual la capacidad hidráulica del lecho del río Bogotá fuera superada dentro del municipio. De este mapa se observa que los sitios críticos no se verían afectados por este evento no obstante se realizará un estudio puntual detallado de hidrología y se plantearán alternativas para el manejo de la pluviosidad con el fin de que no aporten peso al detonante de otras amenazas como movimientos en masa.

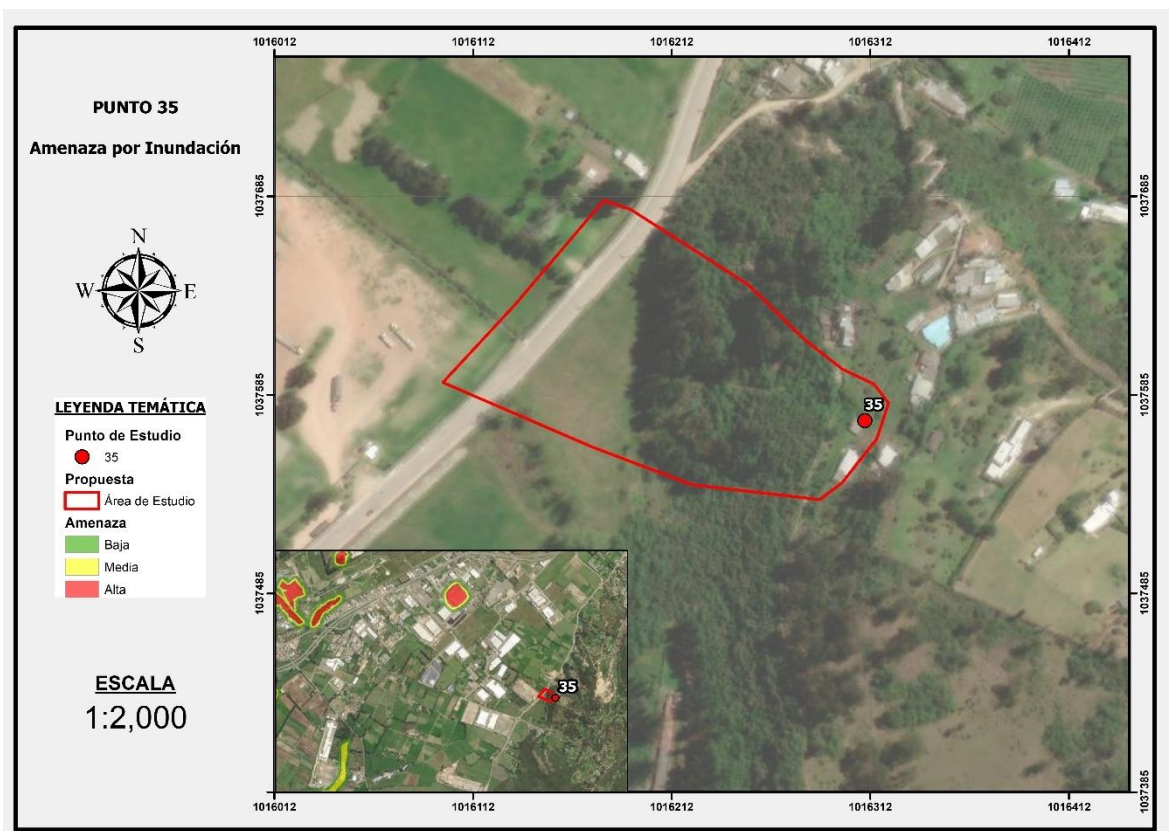


Figura 1-20. Amenaza por inundación.
Fuente: (POMCA río Bogotá, 2018)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Adicional al POMCA se revisa el mapa de zonificación de amenaza por inundaciones del plan municipal de gestión del riesgo de Tocancipá, el cual muestra no solo la mancha de inundación que generaría el desbordamiento del río Bogotá sino también el desbordamiento de las quebradas presentes en el municipio, sin embargo, se confirma que la zona de estudio esta fuera del área de afectación por una posible inundación generada por el río Bogotá y de las quebradas cercanas.

1.3.2.6.2. AVENIDAS TORRENCIALES

En la siguiente Figura se encuentra ilustrada con las manchas de la zonificación de avenidas torrenciales del POMCA del rio Bogotá.

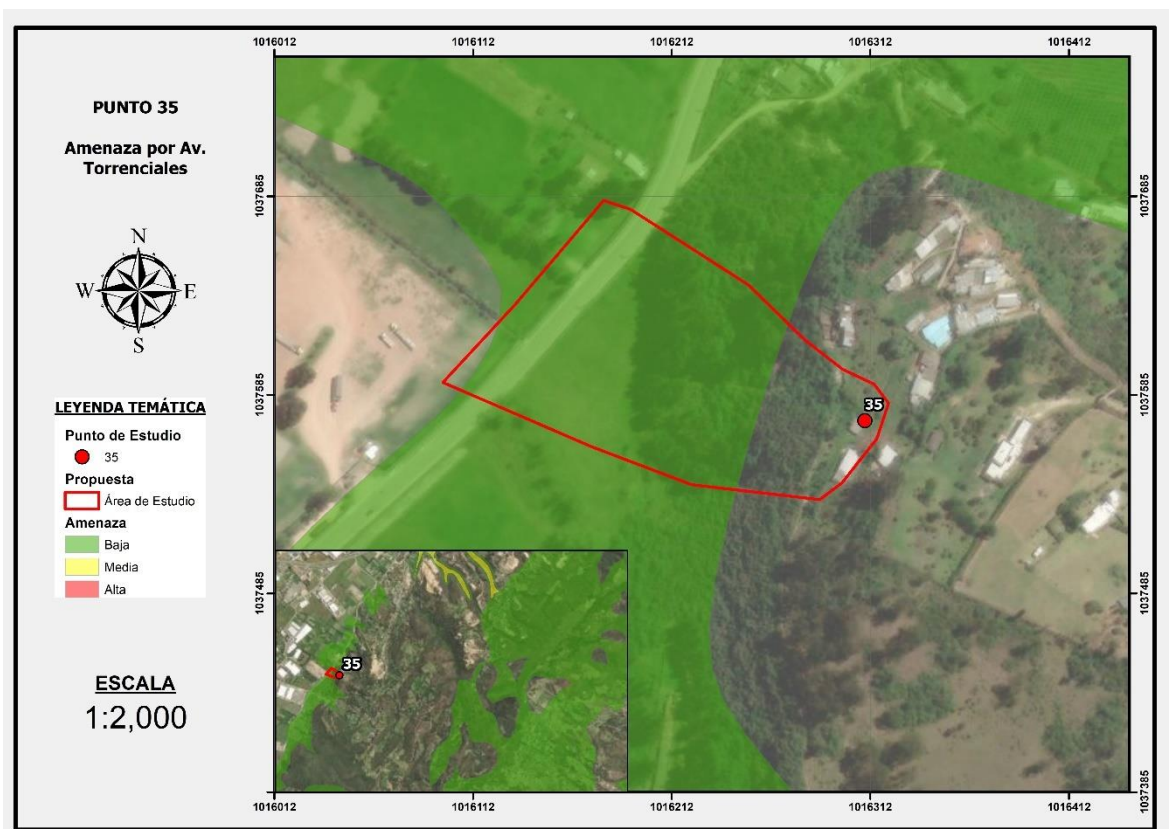


Figura 1-21. Mapa avenidas torrenciales.
Fuente: (POMCA Río Bogotá, 2018)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.2.6.3. MOVIMIENTOS EN MASA

Como parte de la revisión de información secundaria en cuanto a ocurrencia de movimientos en masa a los que puede estar expuesta el área de estudio, se ha realizado la verificación en la base de datos de SIMMA, SGC y DESINVENTAR encontrando que no hay identificados procesos de inestabilidad históricos cercanos al sitio de estudio, tal como se puede ver en las Figuras siguientes.

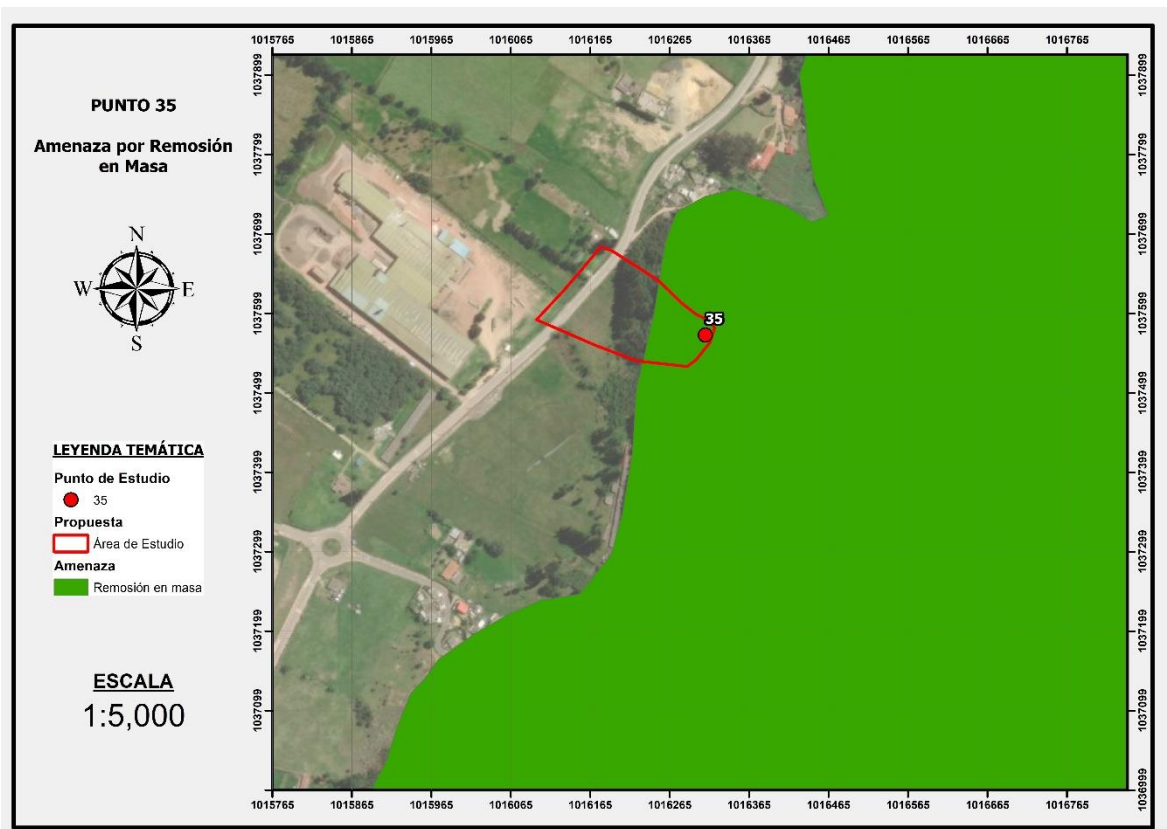


Figura 1-22. Remoción en masa.
Fuente: (POMCA río Bogotá, 2018)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

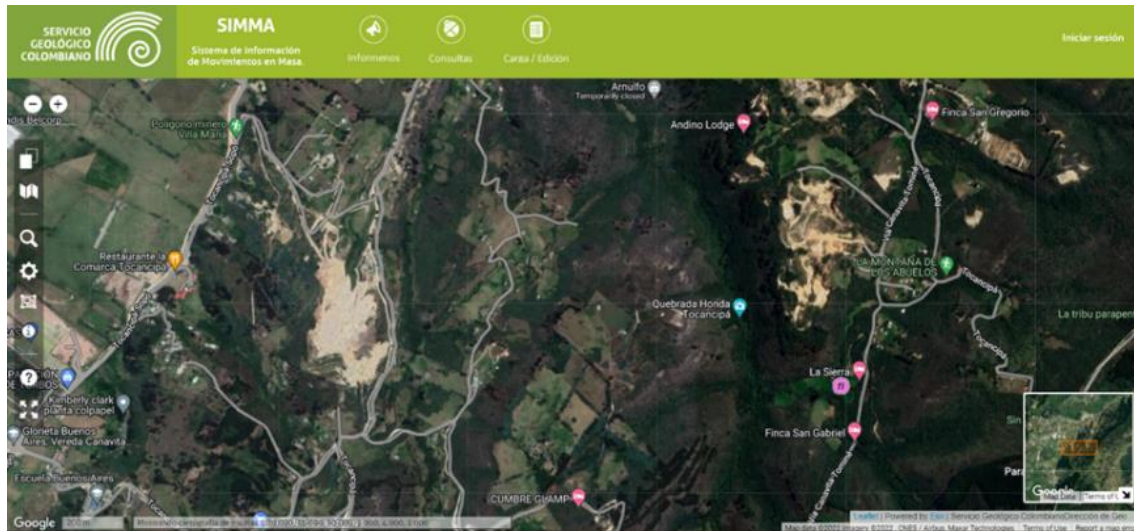


Figura 1-23. Procesos identificados base de datos.
Fuente: (Base de datos SIMMA SGC, 2016)

Por otra parte, también se realizó la verificación en el mapa de Amenaza relativa por Movimientos en Masa – Plancha 228, Bogotá D.E. Noreste, para identificar la susceptibilidad de amenazas por movimientos en masa según en el Servicio Geológico Colombiano (SGC), estableciendo así, que el área de estudio de encuentra en una zona pintada de color naranja, categorizada como **“Alta”**.

Según el SGC (2016), alrededor del 30.10 % del área de la plancha se encuentra en esta categoría de amenaza. Aunque esta categoría se distribuye en casi todos los sectores de la plancha, se puede observar un predominio en los municipios de Junín, Gachetá, Fómeque, Guasca, La Calera, Choachí y Guatavita. En estas áreas se distribuyen grandes depósitos coluviales y rocas de composición y textura variada de clástica consolidada a clástica cementada pertenecientes a diferentes unidades litoestratigráficas las cuales en su mayoría se encuentran afectadas por procesos de plegamiento y fallamiento regional, con coberturas de pastos limpios y mosaicos de cultivos, que en muchos casos no favorecen la estabilidad del terreno. En las áreas mencionadas se recomienda intensificar las medidas de prevención en cuanto al uso adecuado del suelo, preservación de la cobertura vegetal y manejo responsable de sistemas de drenaje y también se recomienda generar políticas ambientales y de reordenamiento territorial orientadas a restablecer el equilibrio de las zonas inestables especialmente en aquellas zonas en donde han desaparecido las

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

coberturas. El detonante climático está representado por precipitaciones medias anuales entre los 2000 mm hasta 3000 mm, con valores de lluvia máxima diaria que en muchos sectores van desde 50 mm hasta 150 mm. Por su parte el detonante sismo, se relaciona con valores de aceleración máxima horizontal a nivel de roca van desde 100 cm/s² hasta más de 300 cm/s². Bajo este panorama de factores condicionantes y detonantes, existe la posibilidad de que se puedan intensificar los procesos erosivos y desarrollar movimientos en masa como deslizamientos traslacionales, flujos de detritos y suelo y zonas puntuales con caídas de roca.

En la categoría de amenaza alta, se recopiló información de 12 registros de movimientos en masa tipo catálogo que fueron reportados como deslizamientos indiferenciados, los cuales se localizan en inmediaciones de los municipios de Bogotá, Junín y La Calera”.

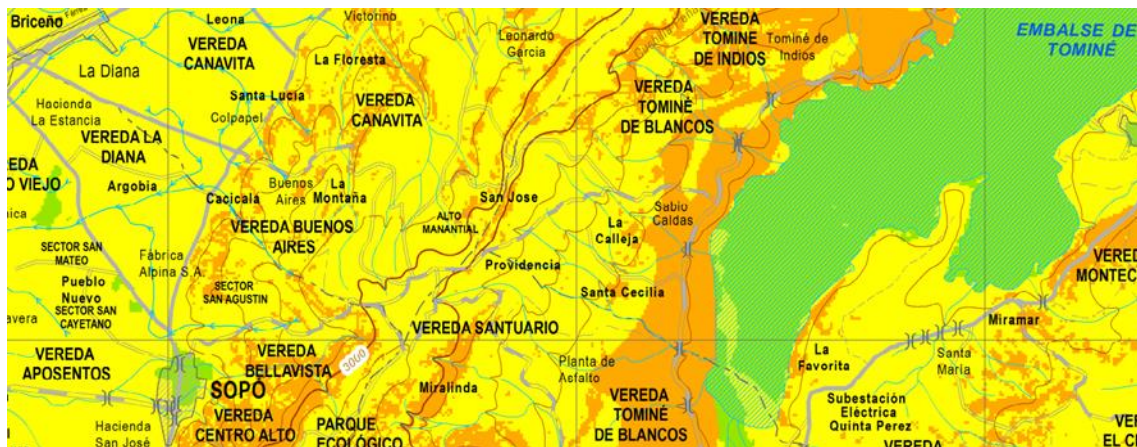


Figura 1-24. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa.
Fuente: (Mapa de Amenaza relativa por Movimientos en Masa Plancha 228 SGC, 2016).

Amenaza Local

La información más relevante a nivel local obedece a los estudios desarrollados en el marco del contrato de consultoría 421 de 2018 denominados como: “CONSULTORÍA TÉCNICA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y CATEGORIZACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN EN CAUCES NATURALES, REMOCIÓN EN MASA EN ÁREAS RURALES, ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y PROPUESTA DE DELIMITACIÓN DEL POLÍGONO MINERO DETERMINANDO LAS ÁREAS DE MANEJO Y PROTECCIÓN AMBIENTAL EN LA

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE TOCANCIPÁ, EN CUMPLIMIENTO A LA SENTENCIA DEL RÍO BOGOTÁ”, desarrollados por la firma de consultoría GEOCING S.A.S. Durante la elaboración del estudio se identificaron en total 43 deslizamientos activos e inactivos, de los cuales 35 son procesos activos y 8 son procesos inactivos. La distribución de los movimientos en masa se presenta de manera resumida en la siguiente tabla y Figura.

Tabla 1-4. Movimientos en masa activos en la zona de estudio.

Movimiento en masa	Cantidad	Distribución
Caída de bloques	11	31%
Caída de detritos	1	3%
Deslizamiento rotacional	2	6%
Deslizamiento Traslacional	14	40%
Reptación	7	20%
Total	35	100%

Fuente: (GEOCING S.A.S., 2019)



Figura 1-25. Relación de los movimientos en masa activos inventariados en la zona de estudio.

Fuente: (GEOCING S.A.S., 2019)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

La localización de todos los movimientos en masa activos que se identificaron durante el estudio se presenta de manera gráfica en la Figura 1-27.

Localmente el proceso de estudio ya había sido identificado por parte de GEOCING S.A.S. (2019) en el grupo de los movimientos rotacionales y se clasifica como el proceso *PS022* (ver Tabla 5). y describe el movimiento como:

En la Figura 1-26 se observa un movimiento en masa de tipo rotacional de longitud por la forma de la corona, de aproximadamente 142 m, la magnitud del escarpe y el espesor de la unidad de suelo en la zona, que se calcula de 1,5 metros, sobre el cual se desarrolla el movimiento, y cuyo límite es el contacto con la arenisca de la Formación Labor y Tierna. El material arrastrado se presenta un flujo en la parte inferior debido a la pendiente de la ladera que es de menor magnitud al del deslizamiento principal (GEOCING, 2019).

Tabla 1-5. Deslizamientos de tipo Rotacional inventariados en el municipio de Tocancipá.

Id proceso	Ubicación del Proceso			Fuente	Estado
	Este	Norte	Referentes Geográficos		
PS010	1018636	1040128	Vereda La Esmeralda (Sector Garzón)	Recorrido en campo	Activo
PS022	1016270	1037594	Vereda Canavita (Sector Patiño)	Recorrido en campo	Activo
PS043	1019748	1040626	Vereda La Esmeralda	Google Earth	Inactivo

Fuente: (GEOCING S.A.S, 2019)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 1-26. Coordenadas: E: 1016270, N: 1037594. Movimiento en masa de tipo rotacional. Vereda Canavita (Sector Patiño).
Fuente: (GEOCING S.A.S, 2019)

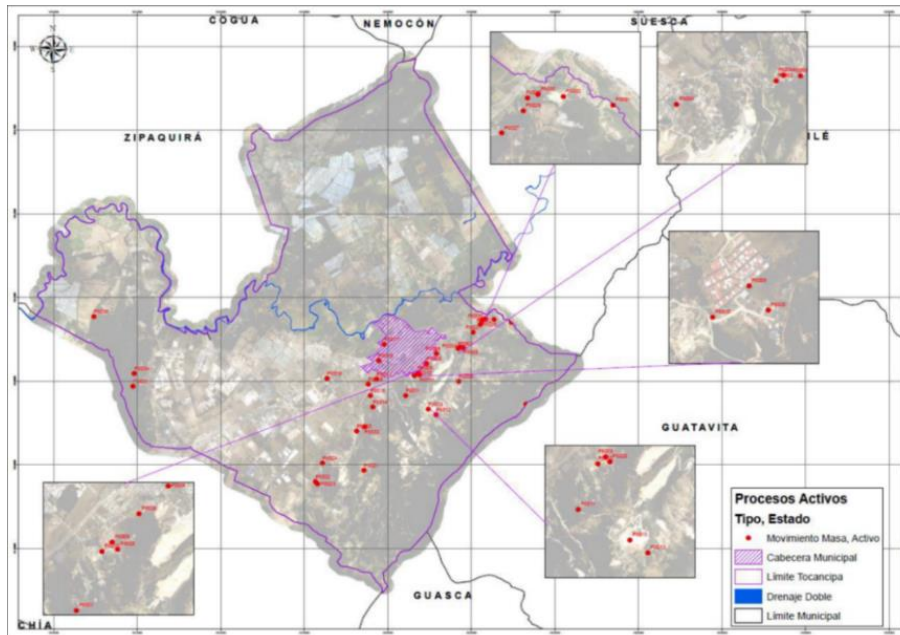


Figura 1-27. Localización de los movimientos en masa activos en el municipio de Tocancipá.
Fuente: (GEOCING S.A.S., 2019)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.3.2.6.4. ELEMENTOS EXPUESTOS

A partir de imágenes satelitales de Google Earth se realizó el diagnóstico inicial de los sectores que pueden verse afectados si los procesos de remoción que vienen ocurriendo en el sector siguen aumentando, con base en esto, se identificó tres tipos de bienes público – privados que se verían afectados, cabe resaltar que para realizar este diagnóstico preliminar se tuvieron en cuenta los elementos que se encontraban construidos dentro de la zona de estudio para la fecha de abril de 2021, en las siguientes tablas se presenta la estimación de los bienes afectados.

Tabla 1-6. Infraestructura vulnerable.

Infraestructura	m-lineal
Vía Pavimentada	190
Acueducto y alcantarillado	190

Fuente: Propia.

Tabla 1-7. Zonas residenciales vulnerables.

Residencial	m ²
1	50.4
2	45.2
3	25
4	68.4
5	77.1
6	41.8
7	35.7
8	73.8
S	417.4

Fuente: Propia.

A continuación, en la Figura siguiente se presentan los elementos expuestos al fenómeno de remoción en masa identificados dentro del área de estudio.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

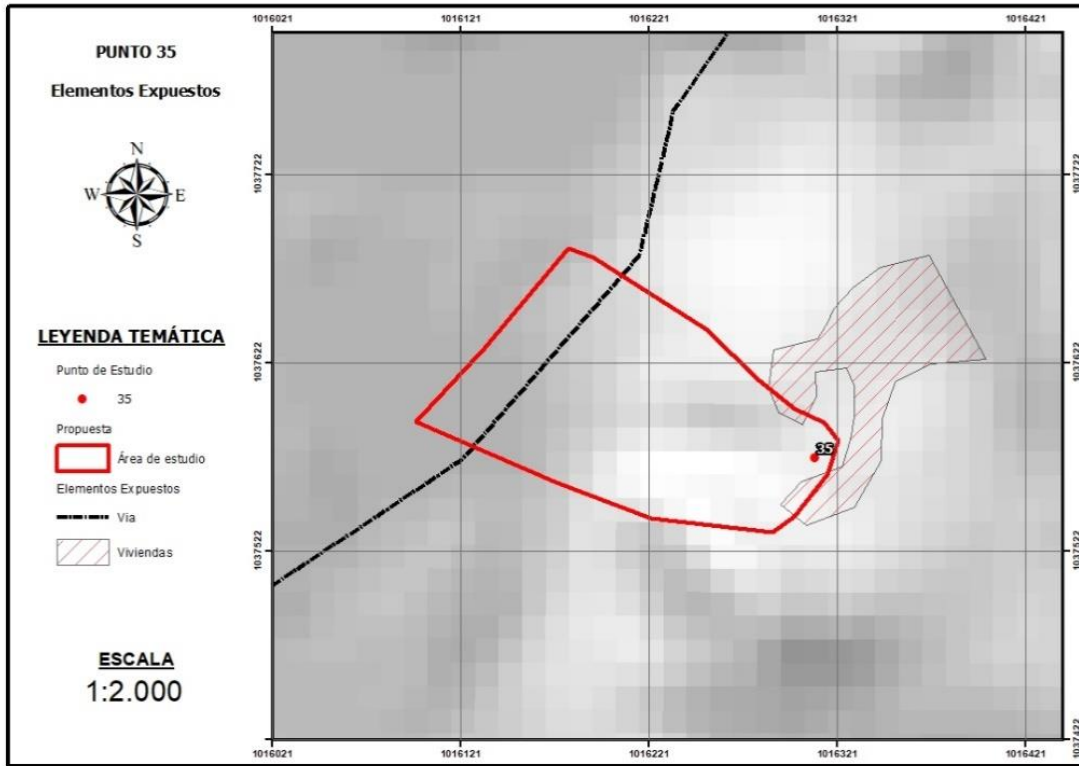


Figura 1-28.Elementos expuestos.

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2022)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.4. INSPECCIÓN TÉCNICA EN CAMPO

Se realizó una inspección técnica en campo (Geológico, geomorfológico, geotécnico y de fuentes hídricas), en el cual, se evidenciaron asentamientos diferenciales en la ladera. (Ver Anexos – Fase I – 05)



Figura 1-29. Afloramiento de macizo rocoso en arenisca. (Patiño).
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO**1.4.1. INSPECCIÓN GEOLÓGICA.**

A continuación, se muestra la información relacionada con la interpretación de las imágenes satelitales, que luego fue correlacionada con la inspección en campo que se realizó para el área de influencia del Punto de estudio.

Interpretación lito estructural

Se obtuvieron imágenes recientes de los satélites Landsat8 desde la página web del United States Geological Survey (USGS), el que se ha seleccionado por estar dotado de sensores multiespectrales de alta resolución que ofrecen un nivel de detalle óptimo para el objeto previsto; igualmente, se tomó información de la página del servicio geológico colombiano (SGC) y de Google Earth, algunas de las cuales se muestran a continuación.

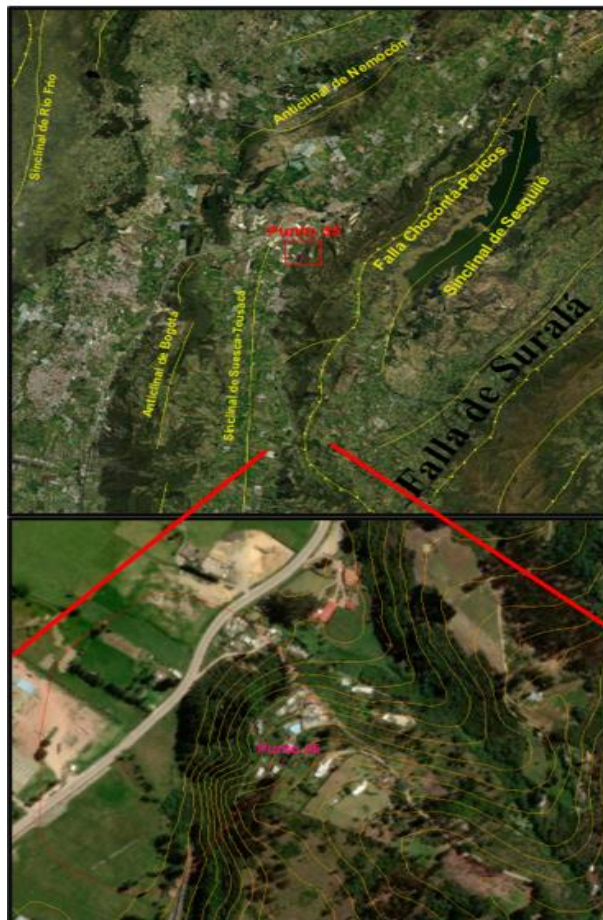


Figura 1-30. Imagen Satelital.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

En esta imagen se puede identificar la localización del área de influencia, con respecto a las principales estructuras geológicas a nivel regional, donde se presenta una amplia influencia de la falla de Cabalgamiento Chocontá -Pericos, así como del flanco oriental del sinclinal de Suesca – Teusacá.

GEOLOGIA LOCAL.

En concordancia con la información del Servicio Geológico Colombiano, localmente se identifica una unidad Cretácica, que de acuerdo con el SGC corresponde a la Formación Labor y Tierna (K2t), la cual está supra yacida por depósitos coluviales (Q2c).

- Formación labor y tierna (k2t)

Como ya se indicó en el apartado de geología regional, esta Formación fue descrita inicialmente por Hubach (1931) el cual subdivide el conjunto superior del Piso del Guadalupe y asigna al segmento superior el nombre de “Horizonte de areniscas tiernas”. Pérez & Salazar (1978) dividen el horizonte superior de Hubach (1931) en Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna, dentro de la formalización del Grupo Guadalupe.

En el área de influencia del Punto 35, esta unidad aflora en la parte alta de la ladera como una arenisca cuarzosa de color amarillo claro y blanco, con un nivel intermedio de consolidación y alto grado de meteorización que llega hasta suelo residual.



Figura 1-31. Afloramiento de la formación Arenisca Tierna.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Aunque no fue posible determinar su disposición, se pudieron identificar algunos estratos ligeramente tumbados a manera de bloques, como se observa en la Figura anterior, en los que se pudo apreciar además de niveles importantes de arenisca que llegan hasta los 80 cm. espesor, algunos niveles limo-arcillosos que no superan los 10 cm. de potencia.

- Depósitos coluviales (Q2c)

En este sector estos depósitos supra yacen a la formación Arenisca Tierna en sus niveles de mayor meteorización y estratos de suelo residual de esta misma formación.

Los clastos presentan tamaños que no superan los 50 cm. de tamaño y se diferencian por su angulosidad, así como por ser matriz soportados, estos clastos se componen principalmente de arenisca y no presentan una continuidad lateral continua como se muestra en la imagen siguiente, donde supra yacen el suelo residual de la Formación Arenisca Tierna (Sr-K2t).



Figura 1-32. Afloramiento de depósitos coluviales (Q2c) supra yaciendo niveles residuales de la Formación Arenisca Tierna (Sr-K2t).

Fuente: Propia.

La matriz es limosa de color marrón oscuro, presenta algunos fragmentos de materia orgánica y predomina con respecto a los clastos como se indicó previamente.

Estos depósitos presentan un mayor grado de consolidación con respecto a los que son clasto-soportados, por lo cual su deposición no solo se puede asociar solo a la acción de la gravedad, sino que también se puede asociar algún medio acuoso.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.4.2. INSPECCIÓN GEOMORFOLÓGICA

Aunque en la información regional de geomorfología de IGAC, previamente referenciada se hace alusión a unidades geomorfológicas estructurales de crestas y crestones, así como de unidades fluviales de terraza aluvial, los componentes geomorfológicos identificados a nivel más local en el área de influencia del Punto 35, se asocian a un origen denudacional, más específicamente a escarpe facetado (Def) y Cono y lóbulo coluvial (Dco).

ESCARPE FACETEADO (Def)

En la metodología geomorfológica del SGC (2016), este tipo de unidad geomorfológica se asocia con una superficie triangular o trapezoidal, de base amplia y tope angosto, con laderas de morfología alomada, cóncava de longitud corta a moderadamente larga y pendientes escarpadas a muy escarpadas.

Su origen es relacionado a procesos de erosión, incisión y movimientos en masa en laderas relictas que aparecen en torno a relieves estructurales constituidos por materiales fracturados.

En el área de influencia, se presenta un escarpe principal en la parte alta de la ladera con una altura aproximada de 2 m., la ocurrencia de este escarpe está relacionada con un proceso de remoción en masa, más estrictamente con deslizamiento traslacional, en el cual se pueden identificar materiales residuales y la roca meteorizada como se muestra en la Figura siguiente.



Figura 1-33. Aspecto del escarpe facetado (Def).

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO**CONO Y LOBULO COLUVIAL (Dco)**

En la metodología de geomorfología del SGC (2016), este tipo de unidades geomorfológicas, se distinguen por corresponder a estructuras en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja.

Su origen es relacionado a procesos de transporte y deposición de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidro gravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a areno limo-arcillosa.

En el área de estudio, la identificación de esta unidad geomorfológica se facilita por las pendientes irregulares que se presentan, dada la composición heterogénea de los materiales que la conforman (clastos y matriz), a los cuales se asocian procesos morfodinámicos como reptación que se identifican más que todo en la parte media y baja de la ladera, la cual presenta una pendiente considerable, por ende, su alta susceptibilidad a la formación de movimientos en masa, como se muestra en la Figura siguiente.



Figura 1-34. Cono y lóbulo coluvial (Dco).

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.4.3. INSPECCIÓN GEOTÉCNICA

Durante la ejecución de la visita técnica se pudieron identificar diferentes condiciones geotécnicas asociados a los procesos de inestabilidad presentes en cada sitio:

Para el sitio 35, se inicia con un recorrido desde la parte inferior de la ladera y se prosigue de manera ascendente generando una inspección visual de los procesos de inestabilidad presentes en área de estudio asociada al sitio crítico, tal como se puede ver en la Figura siguiente, de igual forma se identificaron los elementos expuestos de los cuales hace parte dos viviendas que no cuentan con un adecuado descole de aguas servidas o alcantarillado. Se evidencio que, aunque la pendiente tiene una ladera muy inclinada el área es usada para pastoreo



Figura 1-35. Procesos de inestabilidad presentes.
Fuente: Propia.

Desde la parte media y alta de la ladera también se prosiguió con la inspección visual identificando procesos de inestabilidad puntuales, se visualizó el escarpe principal del proceso de inestabilidad, donde según relatos de los habitantes de la zona se han construido en un par de ocasiones estructuras artesanales tipo muro, con materiales como

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

saco de suelo cemento, que claramente una vez se generó la inestabilidad estos se movilizaron ladera abajo en la dirección del flujo.

También se realizó la identificación de evidencias de inestabilidad tales como grietas, fisuras, escarpes entre otros.

1.4.4. INSPECCIÓN DE FUENTES HÍDRICAS

Durante la visita no fue posible la identificación de una corriente, quebrada o drenaje superficial, sin embargo, se evidencia el inexistente manejo de las aguas provenientes de la escorrentía superficial.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.5. ANÁLISIS DE CUENCA

1.5.1. CIERRE DE CUENCA

Para mejorar la definición de la selección del área de estudio, se tomó en cuenta un modelo digital de elevación con una resolución de 12.5 x 12.5 m obtenido del satélite ALOS Palsar, este modelo de elevación digital (DEM), tiene una precisión mayor para la definición de drenajes, por tal razón se considera más preciso el trazado de drenajes y cuencas generado a partir de esta fuente de información.

En el punto en relación del presente informe para el inventario de drenajes cercanos se toma como base la cartografía base a escala 1:10.000. El punto se encuentra en medio de dos cuerpos de agua, uno innominado con una distancia de 200 metros y la quebrada el Cedro con unos 280 metros de distancia al punto (ver Figura 1-36), estos cuerpos de agua pueden ser receptores del agua lluvia. Por lo anteriormente mencionado se planteará manejar por medio de cunetas en el estudio detallados de la mitigación del riesgo. Gracias a este modelo digital de elevación se realizó el análisis de cuencas y de drenaje, teniendo como resultado el cierre total de la cuenca aguas debajo de la zona afectada por el evento de remoción en masa.

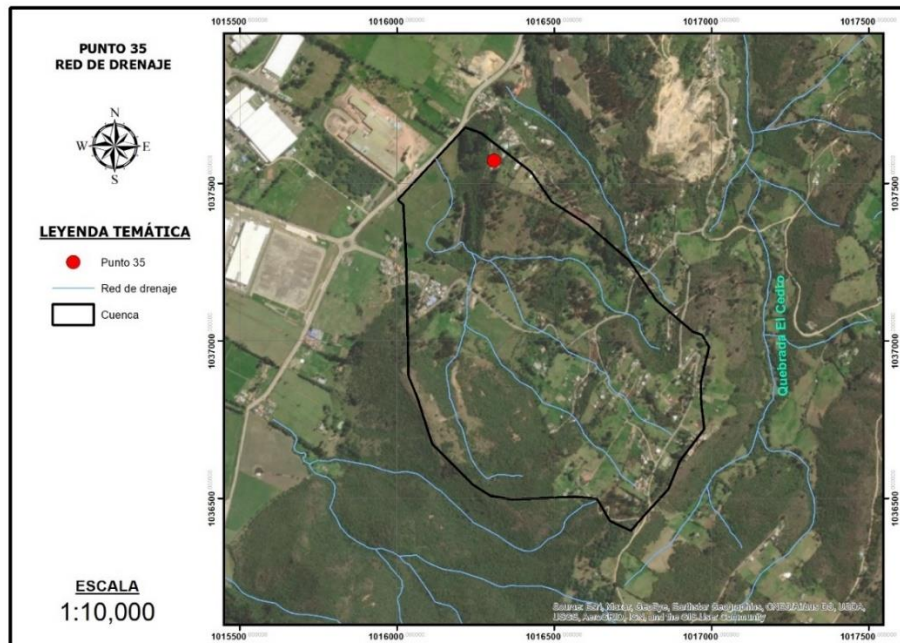


Figura 1-36. Red de drenajes, escala 1:10.000.

Fuente: (Satélite ALOS, 2011)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.5.2. INVENTARIO DE ESTACIONES

Se consultó el catálogo nacional de las estaciones hidrológicas e hidrometeorológicas cercanas a la zona de estudio. En la siguiente figura se muestra la ubicación de las estaciones presentes, gracias a las cuales es posible un análisis limnimétrico, climatológico, entre otros.

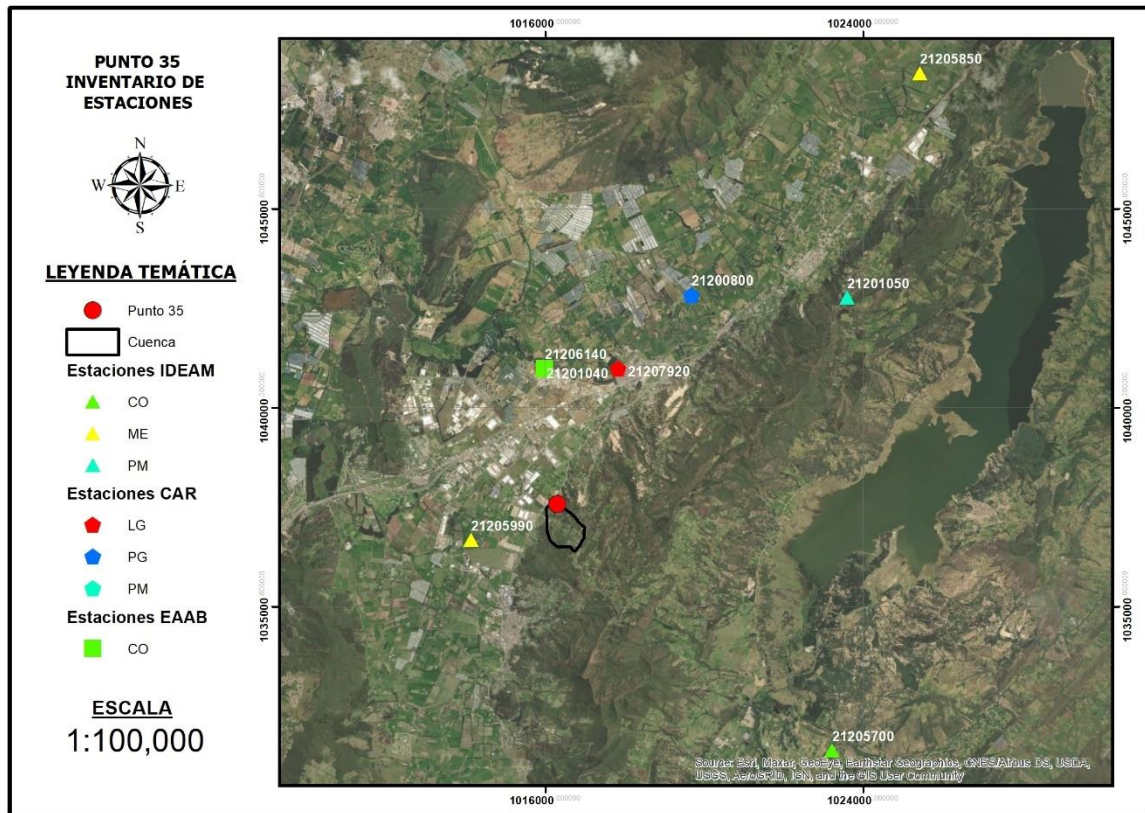


Figura 1-37. Estaciones existentes.

Fuente: (Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR, 2022) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2022)

Para el Punto 35 se consultó información recopilada de las bases de datos de la CAR, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.5.3. ISOYETAS

Se utilizó el mapa de isoyetas presentado en la Figura siguiente el cual fue generado por la CAR para el departamento de Cundinamarca. Este mapa contiene el promedio de la precipitación total anual generado a partir de 260 estaciones aledañas al departamento. Para la cuenca de estudio, se estima que el valor promedio de precipitación anual en su interior es de 801.99 mm.

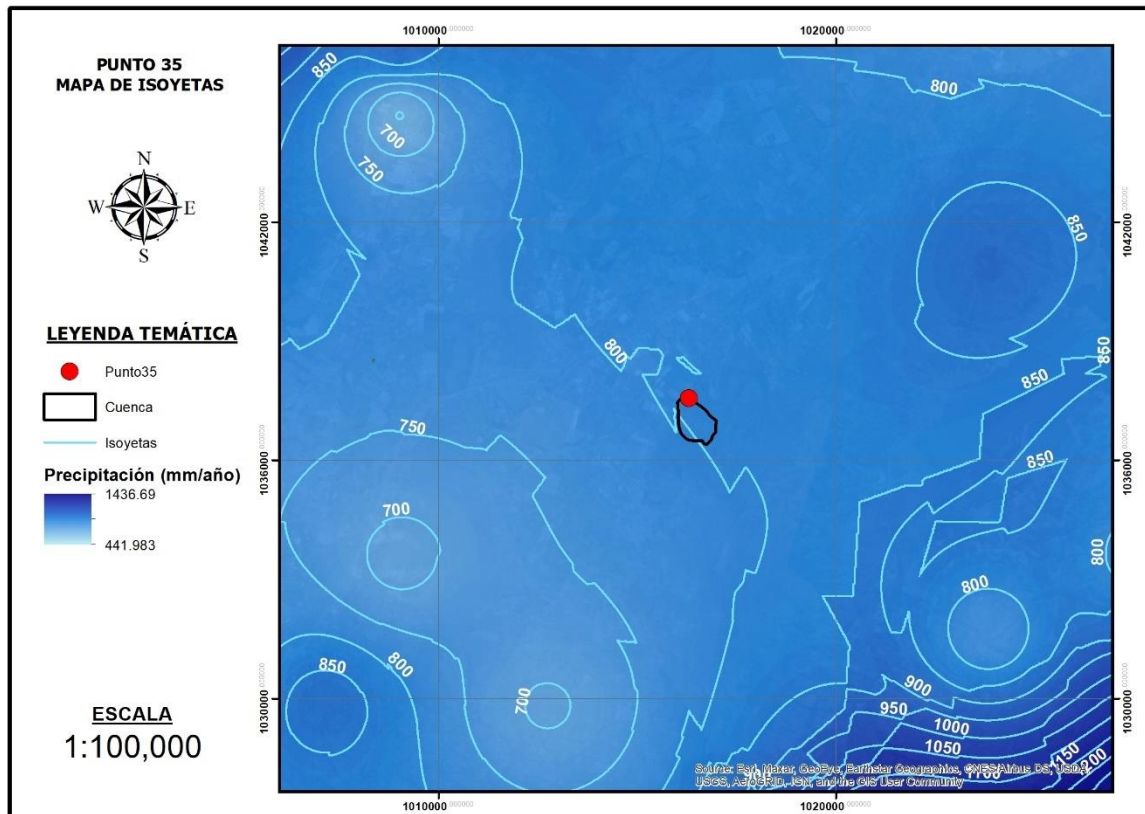


Figura 1-38. Isoyetas.
Fuente: Propia.

1.5.4. MODELO LLUVIA ESCORRENTÍA

Como no existe medición directa de caudales sobre la fuente objeto de estudio, se deben determinar los caudales de diseño a partir de métodos indirectos mediante la aplicación de un modelo lluvia-escorrentía. Para el caso particular se empleará el hidrograma unitario adimensional del U. S. Soil Conservation Service -SCS- (servicio de conservación de suelos de Estados Unidos) (U.S. Soil Conservation Service, 1972). Éste se basa en la estimación

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal. Asimismo, el método plantea el uso de curvas número (CN) las cuales representan la relación entre precipitación (P) y precipitación efectiva (Pe), variando de 1 a 100 según sea el grado de escorrentía directa, donde un valor igual a 1 indica que toda la lluvia infiltra y un valor de 100 representa la escorrentía total de la precipitación.

Este modelo hidrológico fue establecido con base en el análisis de una serie de hidrogramas unitarios naturales pertenecientes a cuencas de un extenso rango de tamaños y ubicadas en diferentes partes de la geografía de los Estados Unidos (Vargas-Garay et al., 2019). De igual manera, no establece restricción alguna de área máxima de drenaje para su uso, lo cual lo hace ampliamente aplicable. Por esta razón y su facilidad para generar valores de caudales distribuidos en el tiempo, ha sido ampliamente usado en estudios hidrológicos en Colombia (e.g. Elizondo Cordero, 2018; Mesa Sánchez & Botero, 2001; Vargas-Garay et al., 2019), donde su calibración se basa en establecer adecuadamente los CN para la zona de estudio, es decir, representar correctamente el potencial de escorrentía de la zona. Los insumos para seleccionar adecuadamente este parámetro se presentan en el siguiente numeral.

1.5.5. CURVAS NÚMERO

La Corporación Autónoma de Cundinamarca CAR en Convenio con la Universidad de Pamplona en el año 2016 elaboró la actualización y complementación de la oferta hídrica superficial para cuencas hasta quinto orden para la jurisdicción de la CAR, dicho estudio generó para los suelos de la jurisdicción los valores de la curva número, la determinación del complejo de suelo hidrológico se establece en términos de dos variables principales: (i) el tipo de suelo mediante el cual se fijan las condiciones de infiltración sub superficial incidente en la escorrentía superficial en forma directa y por tanto la condición hidrológica del suelo se ajusta a los conceptos de tipo agrológico. (ii) la cobertura vegetal, según la cual las plantas también ejercen una fuerte influencia en la escorrentía directa no solamente en su interpretación hipotética de un coeficiente de escorrentía sino también en la capacidad de planta para absorber agua en los períodos húmedos. Esta interacción permite determinar

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

en forma empírica una primera aproximación al valor del CN (curva numero) para las condiciones hidrológicas promedio a nivel local. (Universidad de pamplona 2016).

En la siguiente tabla se presentan los valores de curva número para el modelo SCS.

Tabla 1-8. Número de Curva de Escorrentía para áreas urbanas. AMC II e $Ia=0,2S$.

Descripción del uso de la tierra	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada:				
sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales:				
condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:				
condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:				
trocicos delgados, cubiertas pobres, sin hierbas	45	66	77	83
cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial:				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Fuente: (Universidad de pamplona, 2016).

La curva número en la zona de estudio se encuentra en un rango 73-82, de acuerdo con la tabla anterior esto indica que la zona de varia en un grupo hidrológico del suelo tipo D para las tierras agrícolas, en cuanto a las zonas de bosques y áreas seminaturales esta categorizado con un grupo C por otro lado para los territorios artificializados se cuenta con un grupo hidrológico del suelo tipo B.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

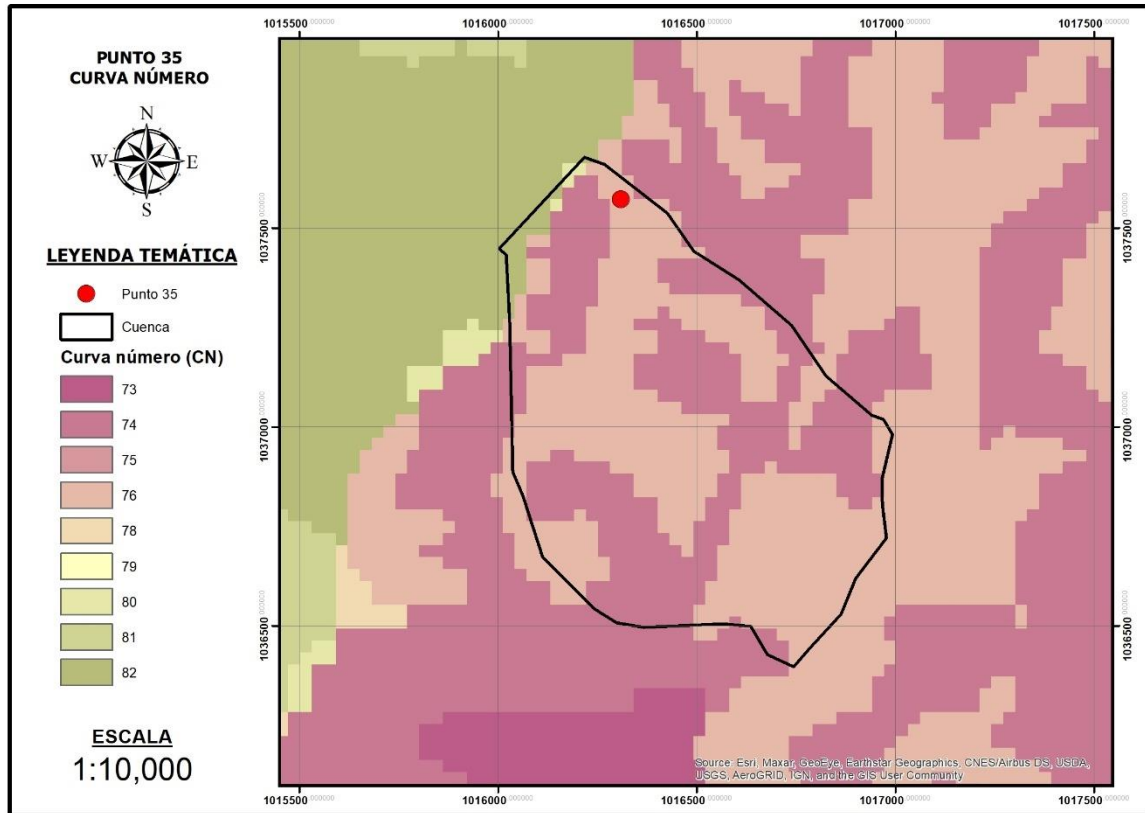


Figura 1-39. Curvas número.
Fuente: (Universidad de pamplona, 2016).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.5.6. BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico a nivel regional se evalúa desde el cruce de los principales procesos del ciclo hidrológico al interior de la cuenca en estudio. Entonces, se tienen en cuenta los valores de precipitación, evapotranspiración real y escorrentía superficial. A partir de la operación entre estos procesos se conocerá una estimación del recurso hídrico referente al flujo subsuperficial, de acuerdo con la siguiente ecuación:

Ecuación 1-1. Balance hídrico

$$Q_{sub} = P - ETR - Q_{sup}$$

donde Q_{sub} es el caudal de escorrentía subsuperficial, P es precipitación, ETR es evapotranspiración real y Q_{sup} es el caudal de escorrentía superficial.

De acuerdo con lo anterior, se calculó el promedio al interior de la cuenca de la precipitación total anual a partir del mapa de isoyetas presentado en el numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la cual es de 801.99 mm. Para el cálculo de la evapotranspiración, el cual se divide en un valor potencial y uno real, se utilizó el método de Holdridge y la ecuación de Budyko, respectivamente. El método de Holdridge establece una simple expresión para conocer la evapotranspiración potencial en zonas tropicales y subtropicales con temperaturas del aire entre 0 y 30 °C (Vega & Jara, 2009). Su ecuación es la siguiente:

Ecuación 1-2. Evapotranspiración potencial anual por el método de Holdridge

$$ETP = 58.93 \cdot T$$

donde ETP es evapotranspiración potencial en mm/año y T es la temperatura media anual en °C. Ahora, la ecuación de Budyko establece una relación con la precipitación total a la misma escala temporal de la evapotranspiración potencial, a partir de funciones hiperbólicas trigonométricas (Barreto Ruiz & Morales Villamil, 2017). Su ecuación es la siguiente:

Ecuación 1-3. Evapotranspiración real por la ecuación de Budyko

$$ETR = \sqrt{ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \cdot \left[1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right]}$$

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

donde *ETR* es evapotranspiración real anual en mm/año y *P* es la precipitación anual en mm/año. Para el cálculo de estas evapotranspiraciones se generó un mapa con la temperatura media anual multianual, a partir de la información presentada en el numeral 3.1.3. Este mapa se presenta en la siguiente Figura, cuyo promedio al interior de la cuenca es 12.32 °C.

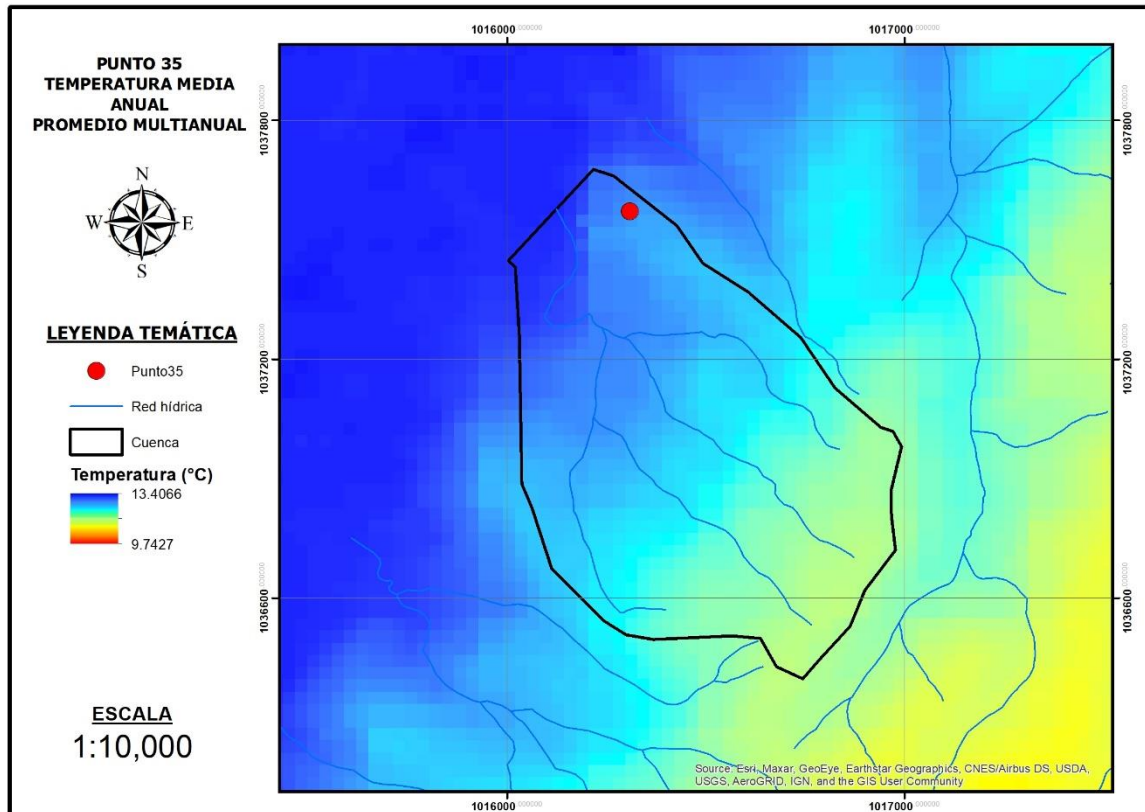


Figura 1-40. Temperatura.
Fuente: Propia.

Para el cálculo de hidrología superficial se tomó como base los resultados obtenidos por la Universidad de Pamplona en el estudio actualización de la oferta hídrica superficial para las cuencas hasta de quinto orden para la jurisdicción de la CAR, en donde se obtuvo el ráster a nivel regional de esorrentía. Este mapa se presenta en la siguiente Figura, del cual se obtiene un valor de caudal aproximado de 0.0068 m³/s/km² promediado al interior de la cuenca.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

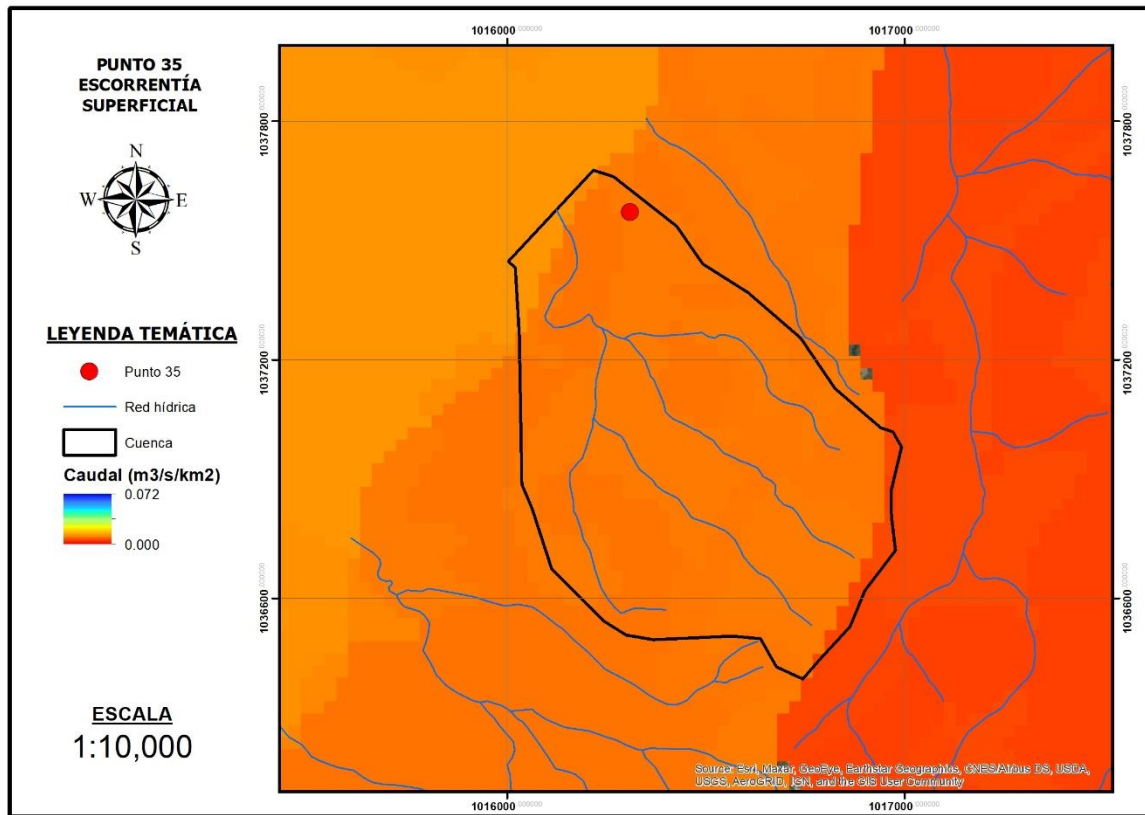


Figura 1-41. Escorrentía superficial.
Fuente: Propia.

Finalmente, teniendo en cuenta que el área de la cuenca hidrográfica es de 0.813 km² y aplicando la Ecuación 1-1 se obtiene el valor del flujo subsuperficial:

Tabla 1-9. Balance hídrico y caudal de flujo subsuperficial

Proceso	Valor	Unidades
Lluvia total	0.0208	m ³ /s
Evapotranspiración real	0.0136	m ³ /s
Escorrentía superficial	0.0055	m ³ /s
Escorrentía subsuperficial	0.0017	m ³ /s

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.6. DIAGNÓSTICO**1.6.1. GEÓLOGO - GEOMORFOLÓGICO**

En el sector de Patiño, se observa materiales superficiales depositados sobre roca altamente meteorizada de color marrón rojizo y marrón amarilloso; es una corona de deslizamiento reciente y activo, a su vez es el principal detonante de la saturación del suelo por lluvia. La fuerte pendiente y la no consolidación de los materiales es el factor condicionante para dicha saturación que se encuentra afectando viviendas familiares, áreas de pastoreo y animales de corral para el sustento de familia.

1.6.1.1. PROCESOS IDENTIFICADOS**- Inventario preliminar de procesos morfodinámicos**

De acuerdo con la revisión que se realizó de las imágenes satelitales regionales y con las inspecciones de campo, se elaboró un inventario preliminar de procesos morfodinámicos, el cual se corroborará y se realizará los ajustes pertinentes de acuerdo con la información topográfica detallada, la cual se está adquiriendo en el marco de la elaboración de los diseños que corresponden a los modelos de elevación digital y ortofotos.

De igual manera, este inventario preliminar se correlacionará con el análisis multitemporal que se presentará en los estudios finales.

De manera preliminar se identificó un movimiento en masa de tipo rotacional, que afectó suelos altamente meteorizados asociados al Grupo Guadalupe, presenta un escarpe de 2m y cuerpo de deslizamiento de 12m aproximadamente; se tienen cicatrices de movimientos anteriores con fragmentos angulosos de arenisca consolidada, procesos erosivos como: reptación, erosión laminar, surcos. (Para mayor detalle ver anexo - fase I – cartografía)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 1-10. Inventario de Procesos.

NOMENCLATURA	TIPO DE PROCESO	ESTE	NORTE
PM35-01	Reptación	1016278,835	1037600,97
PM35-02	Reptación	1016280,668	1037620,233
PM35-03	Reptación	1016291,74	1037620,291
PM35-04	Reptación	1016291,87	1037600,979
PM35-05	Escarpe	1016306,993	1037569,064
PM35-06	Deslizamiento rotacional	1016249,995	1037590,218

Fuente: Propia.

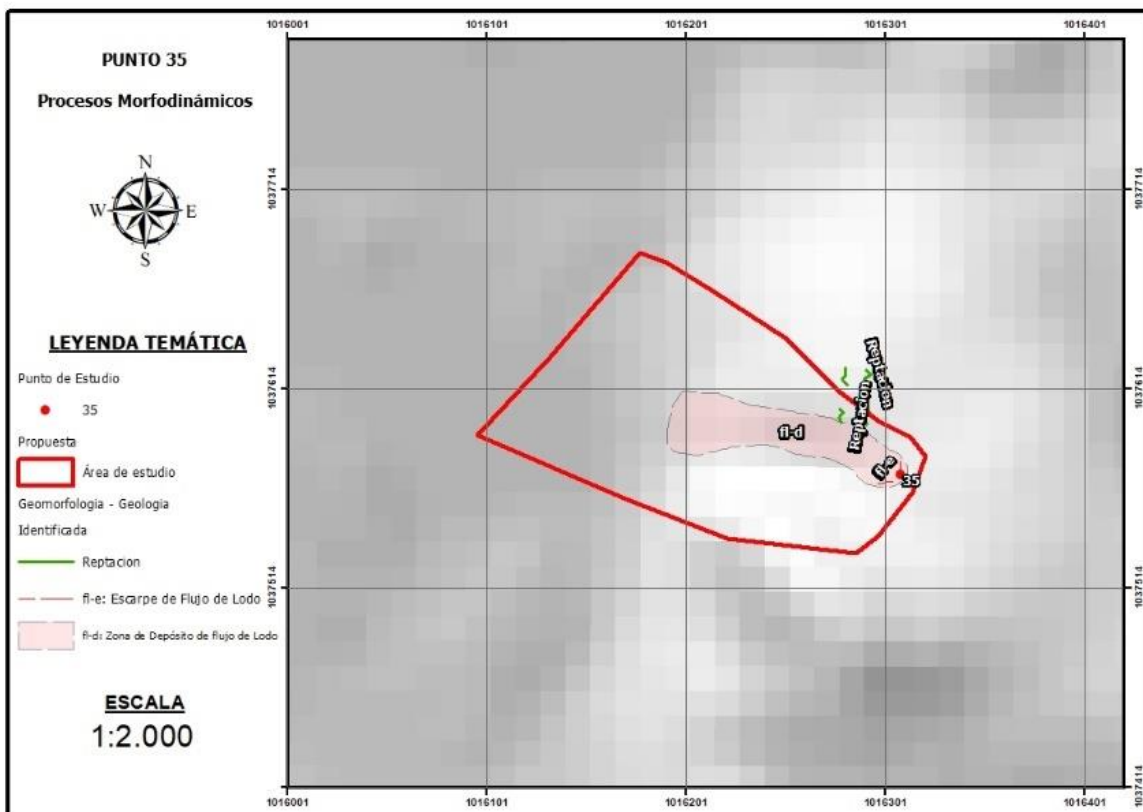


Figura 1-42. Procesos identificados.

Fuente: Propia.

1.6.1.2. UNIDAD GEOLÓGICA PARA INGENIERÍA (UGI)

Suelo transportado coluvial antiguo (STCA).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.6.2. GEOTÉCNICO

1.6.2.1. PROCESOS IDENTIFICADOS

En la parte superior de la ladera se logró identificar una serie de escarpes retrogresivos ubicados en la corona de una zona de recarga de flujo de lodos, que se genera en la concavidad entre dos laderas. Posiblemente este movimiento en masa fue detonado por la construcción artesanal de diferentes estructuras de contención que finalmente fallaron en épocas anteriores.



Figura 1-43. Proceso identificado.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 1-44. Vistas laterales del proceso ocurrido.
Fuente: Propia.

El movimiento en masa que se infiere se presenta en el sitio crítico, está asociado a concentraciones de agua e identificado como un flujo de lodos de manera inicial por consiguiente se debe implementar un exhaustivo manejo y control de aguas de infiltración, servidas y superficiales con la inclusión de drenes horizontales, cunetas, disipadores de energía laterales y drenajes en espina de pescado.

Como alternativa rígida se contempla la implementación de una serie de elementos activos tipo anclajes en la parte superior de la ladera.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.7. PROPUESTA DE EJECUCIÓN DE CANTIDADES

Se presentan las cantidades propuestas por los especialistas para ejecutar las labores de campo.



Figura 1-45. Área de estudio propuesta.
Fuente: Propia.

Tabla 1-11. Cantidades de ejecución propuestas.

TOPOGRAFÍA		TOPOBATIMETRÍA		PROSPECCIÓN			
Puntos de control GCP	Levantamiento con Lidar aéreo	Batimetría	Restitución de fotografías aéreas	Líneas sísmicas (100 m)	Tomografía	Perforaciones mecánicas	Apiques
UN	HA	KM	HA	UN	UN	ML	UN
3	1.85	0	0	2	1	100	0

Fuente. Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.7.1. TOPOGRAFÍA Y TOPOBATIMETRÍA

1.7.1.1. PUNTOS DE CONTROL GCP (3 GCP)

A continuación, se presenta la ubicación de los puntos de Fotocontrol escogidos para la ejecución del levantamiento topográfico. (Para mayor detalle ver anexo Fase I - 04)

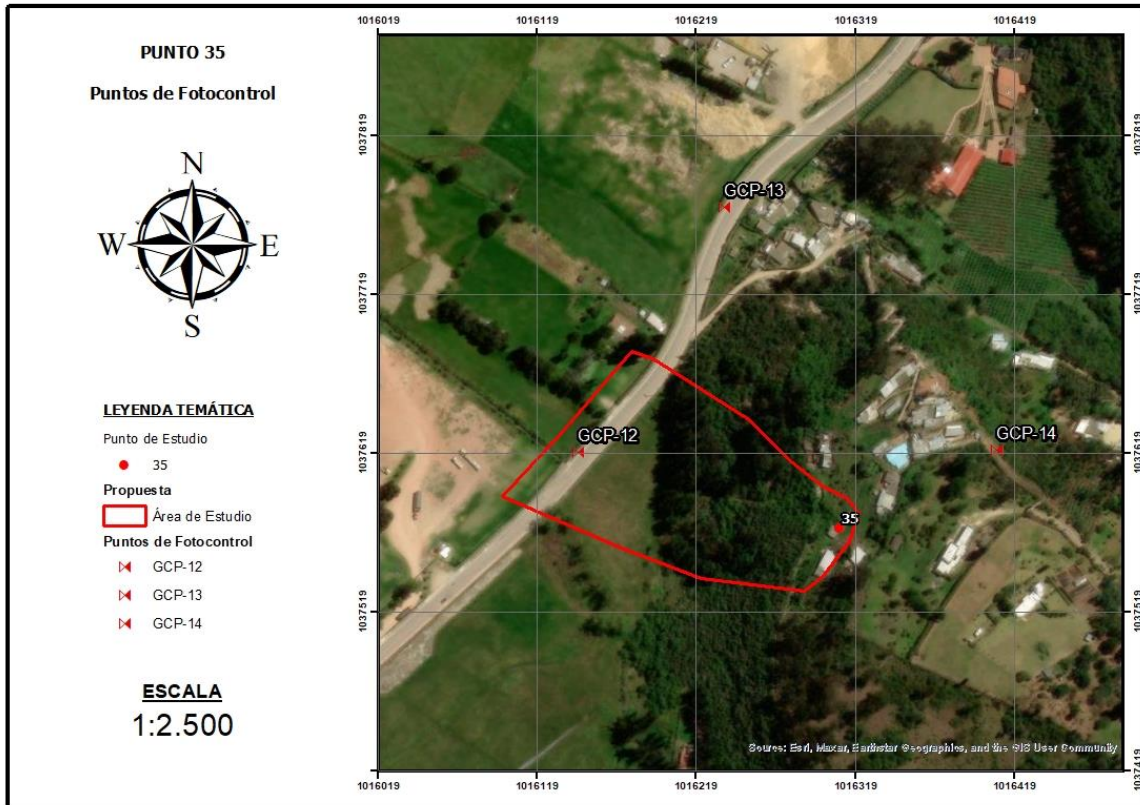


Figura 1-46. Puntos de fotocontrol.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

1.7.1.2. LEVANTAMIENTO DE LIDAR AÉREO (1.85 HA)

Esta área obedece a la ejecución de fotos aéreas con vehículo no tripulado para obtención de topografía. (Para mayor detalle ver Anexo Fase I - 04)

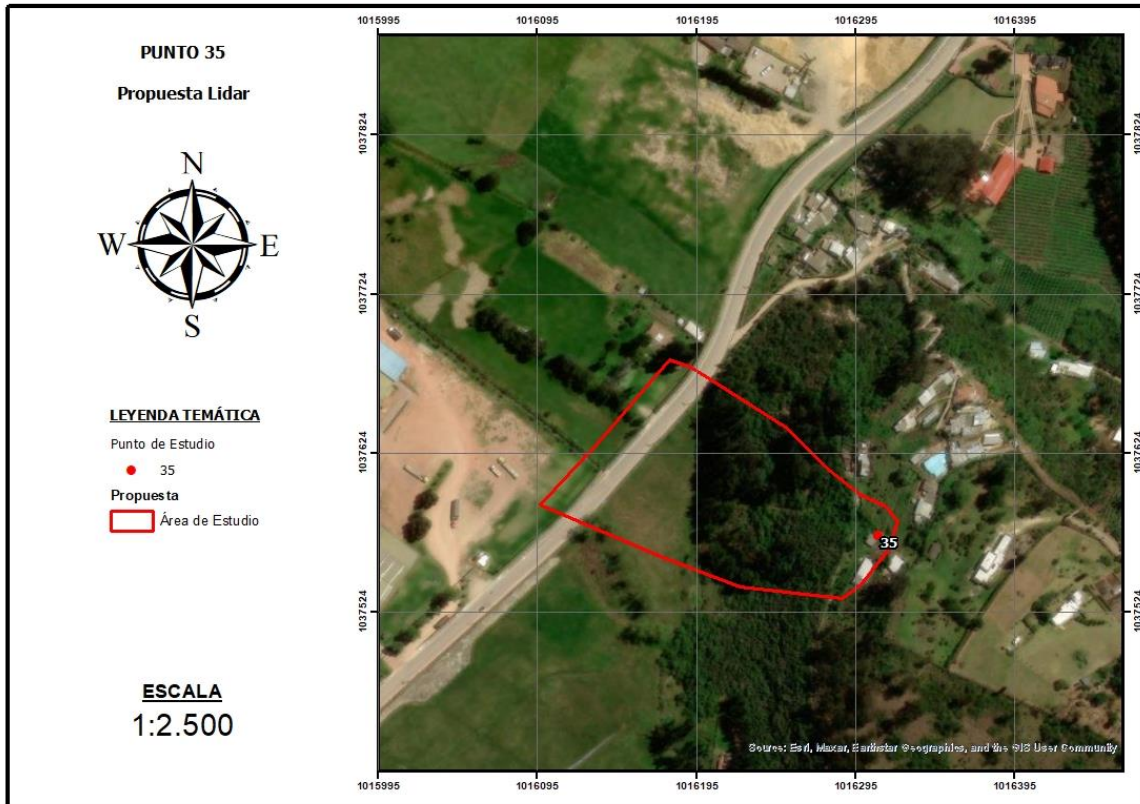


Figura 1-47. Polígono para topografía.
Fuente: Propia.

1.7.1.3. BATIMETRÍA (0 KM)

No hay análisis de corrientes y/o drenajes para este punto, por tanto, no requiere de una cantidad para levantamiento topobatimétricos.

1.7.1.4. RESTITUCIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS (0 HA)

Debido a que el levantamiento topobatimétrico contempla la construcción del Ortofoto mosaico, no se hace necesario el levantamiento de la información de este ítem y, por tanto,

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

se contempla un área de 0 Ha, debido a que el análisis que se lleva a cabo a este fenómeno desde el análisis de coberturas no requiere mayor precisión en este insumo.

1.7.2. PROSPECCIÓN

1.7.2.1. EXPLORACIÓN INDIRECTA (GEOFÍSICA)

Líneas sísmicas (100 m c/u) – (2 unidades)

Se debe conocer la profundidad del sustrato rocoso, con el fin de estimar el espesor de los materiales movilizados del flujo de lodos una manera especializada en la ladera. Y por otra parte con en este ensayo se permite determinar las velocidades de onda de corte, V_s (m/s) con las cuales se estima el perfil de suelo empleado para los análisis pseudoestáticos de estabilidad de taludes.

Tomografía (1 unidad)

Se infiere la presencia de un nivel freático en razón que se evidencia agua empozada en la zona frontal del sitio crítico, se requiere conocer la profundidad a la cual se encuentra la tabla de agua a lo largo y ancho de la ladera.

1.7.2.2. EXPLORACIÓN DIRECTA

Perforaciones mecánicas (Sondeos) – (100 ml) (5 sondeos)

Debido a los afloramientos del sustrato rocoso se infiere que la profundidad de este es relativamente superficial, pero con una compacidad al que no es posible la recuperación de muestras por medio de perforaciones manuales tipo barreno, por lo que se hace necesario la ejecución de cinco (5) perforaciones por rotación que permitan extracción de núcleos de roca y de esta manera se lleve a cabo la parametrización geotécnica del macizo rocoso, cada sondeo será de una profundidad máxima de 20 m.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

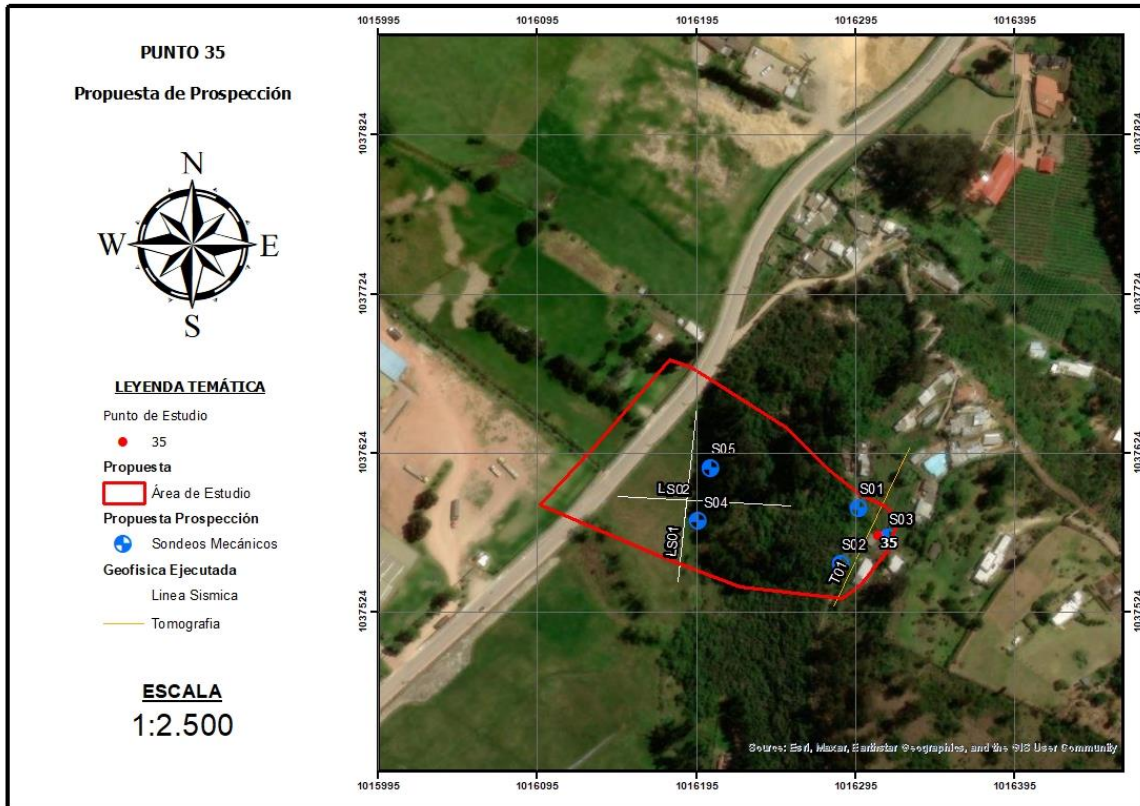


Figura 1-48. Perforaciones líneas sísmicas y tomografías propuestas.
Fuente: Propia.

FASE II – TRABAJO DE CAMPO



CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2. FASE II – TRABAJO DE CAMPO

2.1. TOPOGRAFÍA

2.1.1. PUNTOS DE AMOJONAMIENTO

Este sitio fue amarrado topográficamente a la red geodésica nacional de referencia MAGNA SIRGAS.

La georreferenciación para este trabajo partió del punto de fotocontrol No 15 como base, posteriormente se realizó la instalación de los 3 mojones 12, 13 y 14 con las coordenadas que se muestran en la tabla 2-2, en forma simultánea durante el levantamiento con Lidar aéreo, para garantizar una precisión Centimétrica en coordenadas y cota y así realizar un procesamiento y ajuste ideal. A continuación, se muestra el registro fotográfico. (Para mayor detalle ver anexo Fase II - Amojonamiento)



Figura 2-1. Punto de control GCP - Mojón N° 15 (Base).
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 2-2. Punto de fotocontrol GCP - Mojón N° 12.
Fuente: Propia.



Figura 2-3. Punto de fotocontrol GCP - Mojón N° 13.
Fuente: propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 2-4. Punto de control GCP - Mojón N° 14.
Fuente: Propia.

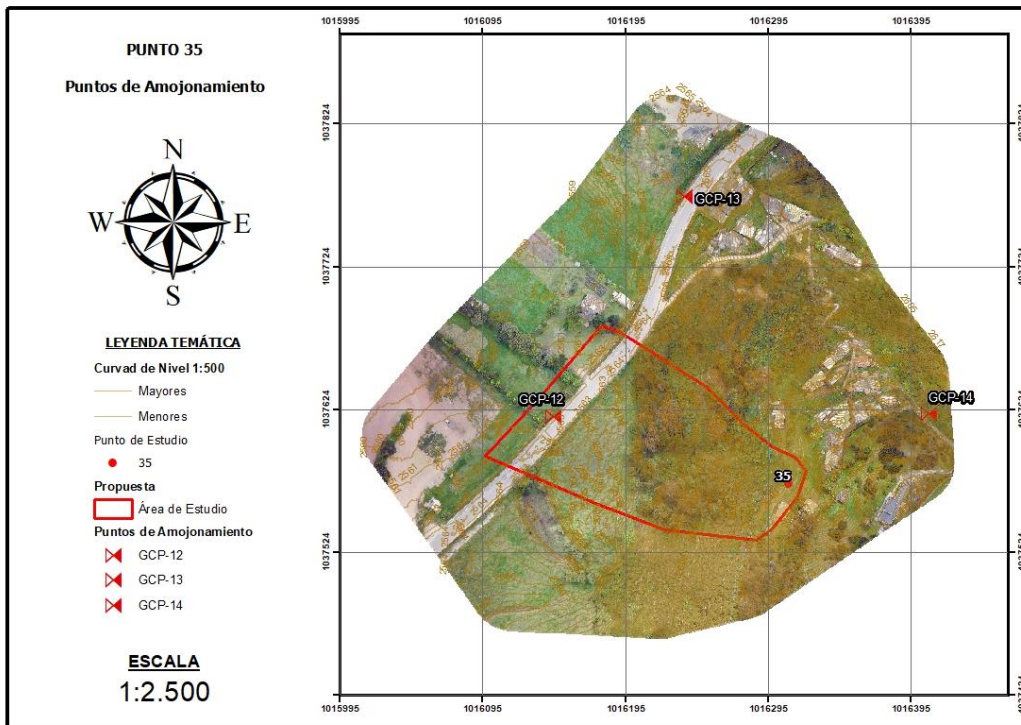


Figura 2-5. Punto de control GCP - Mojón N° 14.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO**2.1.2. LEVANTAMIENTO CON LIDAR AÉREO****2.1.2.1. PLANIFICACIÓN DE VUELO**

Los planes de vuelo ejecutados para la adquisición de fotografía RGB fueron elaborados de acuerdo con el área de trabajo aprobada. La captura de las fotografías se realizó mediante vehículos aéreos no tripulados (drone).

A continuación, se presenta la trayectoria del vuelo para la zona requerida:

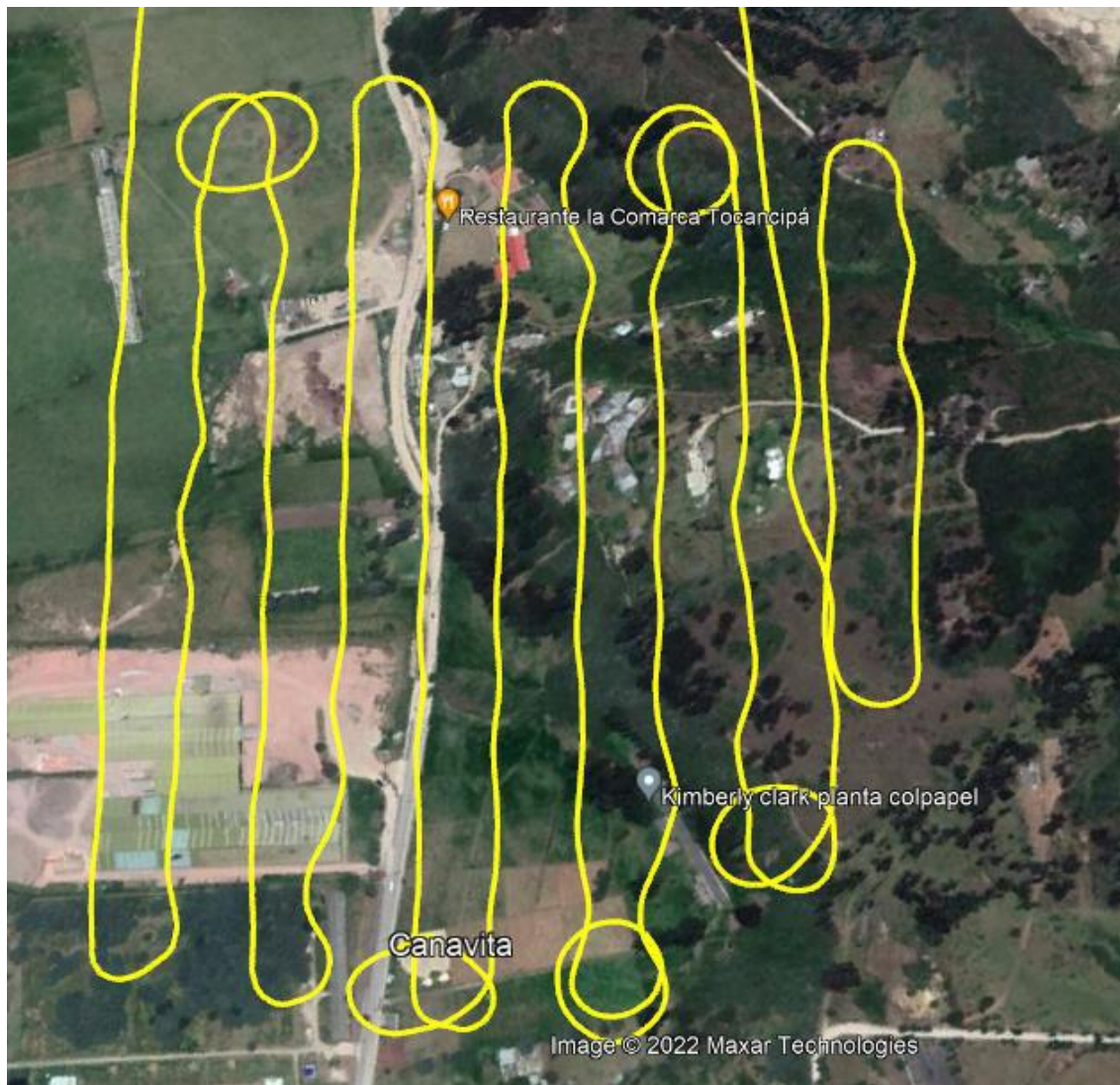


Figura 2-6. Trayectoria de vuelo.
Fuente: GEOSPATIAL SAS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.1.2.2. MISIÓN DE VUELO

Con base al área de estudio de este punto, se construyó el polígono de vuelo de manera que cubriera la zona completa, (es importante aclarar que esta área solo corresponde a la misión de vuelo y no afecta las áreas de los productos generados con respecto al levantamiento topográfico, además de esto se debe tener en cuenta que las gráficas de planos de vuelo se generan con un área mayor para evitar defectos en los bordes del polígono).

Posteriormente gracias al uso del Software se genera la respectiva misión para toma de imágenes. Una vez ejecutada esta etapa, se estableció la altura de vuelo, que para el área de estudio fue de 170 m con respecto al punto de despegue, se procedió a trazar la grilla de vuelo. El Software permite ajustar el traslapo deseado, tanto longitudinal como transversalmente. Para el área de Patiño, se programó un traslapo entre líneas de vuelo del 70% lateral y un 80% longitudinal como se puede observar en la siguiente Figura.

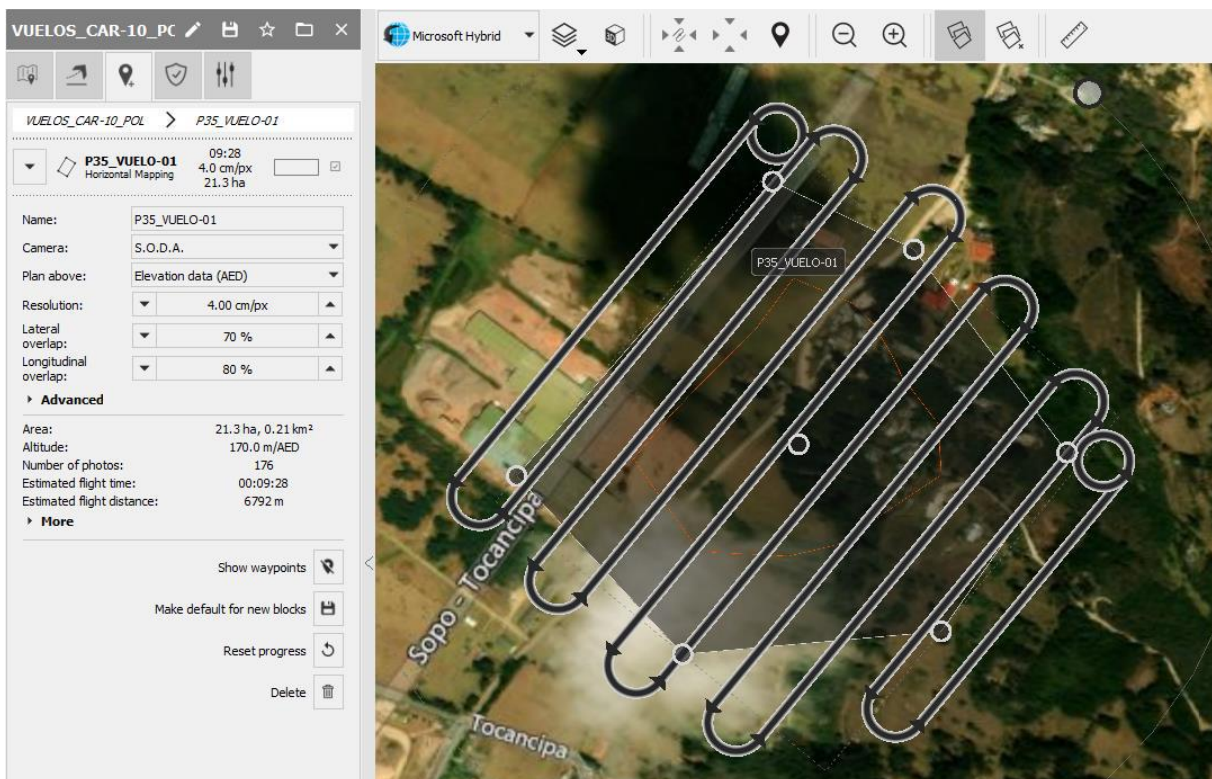


Figura 2-7. Misión de vuelo.
Fuente: GEOSPATIAL SAS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.1.2.3. ESTACIÓN GPS

Para la puesta en estación del sistema GPS, primero se instaló el trípode sobre el punto seleccionado y materializado previamente, luego se procedió a montar la base nivelante, posteriormente la antena receptora se instaló sobre la base y se realizaron las conexiones de antena y de energía del equipo, por último, se tomó la altura instrumental inclinada.

2.1.2.4. REGISTRO FOTOGRÁFICO

Durante toda la ejecución de vuelos, alistamiento de equipos en las zonas y desplazamientos en las áreas, se hizo un respaldo fotográfico, el cual es una fuente importante para documentar y realizar seguimiento al paso a paso de las actividades de campo:



Figura 2-8. Registro fotográfico de vuelo.
Fuente: GEOSPATIAL SAS.

2.1.2.5. PROCESAMIENTO DE FOTOGRAFÍAS

Una vez finalizado cada vuelo se realizó la respectiva inspección de las fotografías capturadas, con el fin de descartar las imágenes que no cumplen con los estándares establecidos y de precisión solicitadas.

Junto con la metodología PPK y el proceso de orientación interna, en el cual se establecen las coordenadas de las fotografías y la dimensión física real del pixel en terreno a partir de las características de la cámara, se realiza el proceso de Aerotriangulación el cual permite determinar y extender las coordenadas calculadas terrestres en cada uno de los bloques o

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

fajas de fotografías, aprovechando la generación automática del modelo de correlación geométrico entre fotografías que a su vez generarán los modelos numéricos del terreno.



Figura 2-9. Registro fotográfico punto de fotocontrol 12.
Fuente: GEOSPATIAL SAS.



Figura 2-10. Registro fotográfico punto de fotocontrol 13.
Fuente: GEOSPATIAL SAS.



Figura 2-11. Registro fotográfico punto de fotocontrol 14.
Fuente: GEOSPATIAL SAS.

2.1.2.6. PUNTOS DE CONTROL GCP

El punto de fotocontrol GPC-15 fue utilizado como base para hacer los traslados de coordenadas, posicionado con tres estaciones de amarre provenientes del IGAC (IGAC_25175011, BOGT Y ABCC) se utilizó un receptor base Geomax- Leica. Javad. por otro lado, el receptor utilizado fue de tipo TRIMBLE. El traslado del punto se realiza debido a que se encuentra a una distancia mayor a 20 km, este punto fue materializado con tornillo sujeto al suelo como se observa en el registro fotográfico. (Ver Anexos – Fase II – 02)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 2-12. Estación base del IGAC
Fuente: Propia.

Dentro del área de estudio se ubicaron 3 puntos de control para los cuales se tomaron las siguientes coordenadas mostradas en las siguientes tablas.

Tabla 2-1. Coordenadas geográficas WG S84

PUNTO FOTOCONTROL	COORDENADAS		ALTURA ELIPSOIDAL (METROS)
GCP- 15 (BASE)	4° 58' 12,44223724" N	73° 53' 47,95099647" W	2582,9603
GCP-12	4°56'10,95739843" N	73°55'54,99167028 " W	2589,3559.
GCP- 13	4°56'15,97858516" N	73°55'52,02118234" W	2590,8865
GCP- 14	4°56'11,00561972"N	73°55'46,45495400"W	2671,5183

Fuente: GEOSPATIAL SAS

Tabla 2-2. Coordenadas planas (Magna sirgas Origen Bogotá).

PUNTO FOTOCONTROL	COORDENADAS ESTE (METROS)	COORDENADAS NORTE (METROS)	ALTURA ORTOMÉTRICA (METROS)
GCP- 15 (BASE)	1020057,5095	1041351,8325	2557,2487
GCP-12	1016144,6226	1037619,1592	2563,6537
GCP- 13	1016236,1042	1037773,4174	2565,1857
GCP- 14	1016407,6235	1037620,6984	2645,8028

Fuente: GEOSPATIAL SAS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

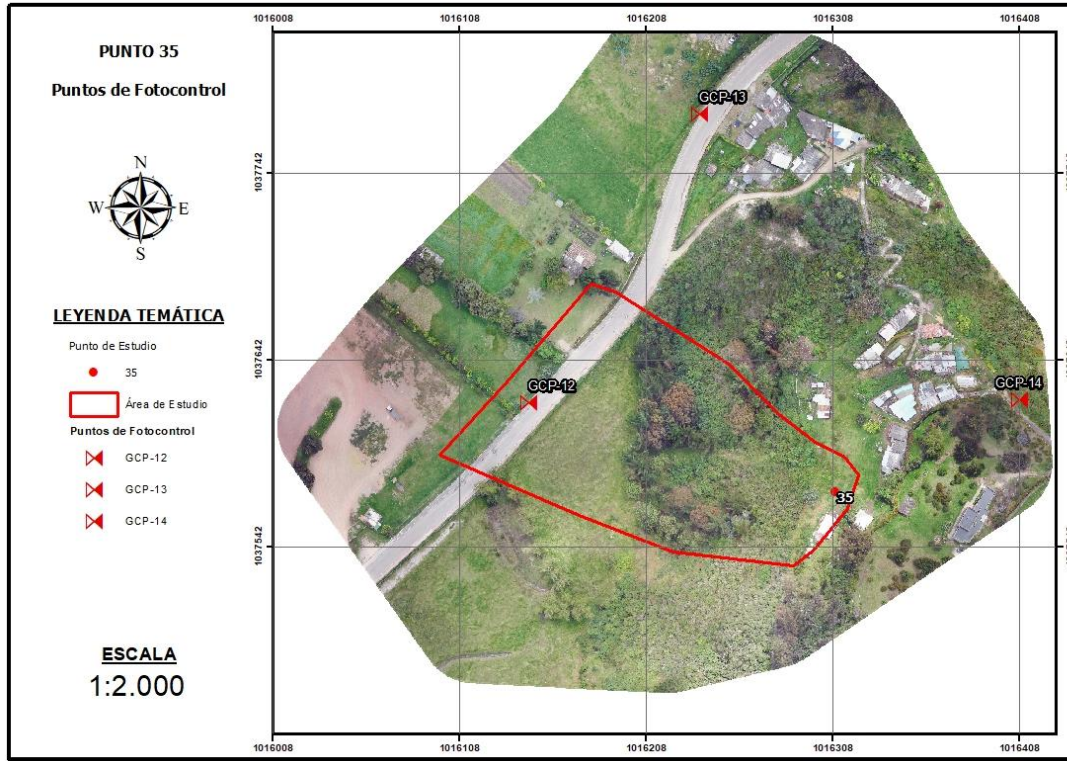


Figura 2-13. Puntos de fotocontrol.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

FORMATO UTILIZADO CARTERA DE CAMPO



HOJA DE CAMPO PARA OBSERVACIONES CON GPS						GeoSpatial	
PROYECTO: <u>consorcio mitigación del riesgo - CAL</u>						DEPARTAMENTO	
FECHA: <u>08-08-2022</u>			PUNTO: <u>GCP-15-BASE</u>			Cundinamarca	
OPERADOR: <u>Yovani Uribe B.</u>						CIUDAD/MCPIO/VEREDA	
TIPO DE LEVANTAMIENTO							
ESTATICO <input checked="" type="checkbox"/>		CINEMATICO <input type="checkbox"/>		DINAMICO <input type="checkbox"/>		Tocancipá	
RECEPTOR		Marca		Serial		BASE <input checked="" type="checkbox"/> ROVER <input type="checkbox"/>	
ANTENA		Geomax		GMZ203960043			
		GMXZENITH20					
REGISTRO DE FUNCIONAMIENTO EN CAMPO				MEDICIÓN DE LA ALTURA			
HORA INICIO	HORA FIN	N° SATELITES		Tripode Inicio: <u>2.126</u> m Final: <u>2.126</u> m 			
<u>10:56</u>	<u>15:17</u>	Inicio / Fin					
		<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>					
		Inicio / Fin					
		<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>					
		Inicio / Fin					
		<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>		Bastón Inicio: _____ m Final: _____ m 			
		Inicio / Fin					
		<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>					
		Inicio / Fin					
		<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>					
		Inicio / Fin					
		<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>					
POSICIÓN NAVEGADA							
LATITUD			LONGITUD			ALTURA	
G	M	S	G	M	S		
		" <input checked="" type="checkbox"/> N			" <input checked="" type="checkbox"/> W		
OBSERVACIONES:							

Figura 2-14. Cartera de campo.
Fuente: GEOSPATIAL SAS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.1.2.7. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ARCHIVOS CRUDOS

Archivos Crudos O Nativos: Corresponde a los archivos nativos o crudos provenientes del receptor GPS. Los mismos presentan extensión .DAT. (Ver Anexos – Fase II – 02)

2.1.2.8. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE COORDENADAS

El sistema de coordenadas empleado para el proyecto es Magna-Sirgas origen Bogotá. Desde el año 2004 se utiliza en Colombia el nuevo Datum MAGNA (Marco Geocéntrico Nacional) que es una densificación del SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) basado en el elipsoide WGS84 (World Geodetic System 1984) equivalente al elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System 1980) totalmente compatible con la tecnología GPS a diferencia del anterior Datum BOGOTÁ basado en el elipsoide Internacional de Hay Ford 1924.

En Colombia se utilizan dos tipos de proyecciones de coordenadas geográficas o elipsoidales a planas: Planas de Gauss-Krüger: o Transversa de Mercator, es una proyección del elipsoide sobre un cilindro que genera una franja en sentido Sur-Norte, para abarcar todo el país se han definido 5 franjas verticales cada una con un origen E=1.000.000 m y N=1.000.000 m.

Planas Cartesianas: Es una proyección del elipsoide sobre un plano ubicado sobre la altura promedio del sitio que se quiere representar, se trata de un sistema de coordenadas mucho más preciso que el anterior y se utiliza para elaborar cartografía con escalas grandes (1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500). Es el sistema indicado para realizar trabajos topográficos

Tabla 2-3. Orígenes de coordenadas para Colombia.

ORIGEN	COORDENADAS ELIPSOIDALES		COORDENADAS GAUSS-KRUGER	
	Latitud (N)	Longitud (W)	Norte (m)	Este (m)
Bogotá-MAGNA	4°35'46.3215''	74°04'39.0285''	1000000,00	1000000,00
Este Central-MAGNA	4°35'46.3215''	71°04'39.0285''	1000000,00	1000000,00
Este Este - MAGNA	4°35'46.3215''	68°04'39.0285''	1000000,00	1000000,00
Oeste-MAGNA	4°35'46.3215''	77°04'39.0285''	1000000,00	1000000,00
Oeste Oeste-MAGNA	4°35'46.3215''	80°04'39.0285''	1000000,00	1000000,00

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2022)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.1.2.9. RECURSOS.

2.1.2.9.1. *PERSONAL.*

A continuación, se presenta el personal a cargo del levantamiento topográfico.

Tabla 2-4. Relación personal de levantamiento

CARGO	NOMBRE DEL PROFESIONAL	IDENTIFICACIÓN
Empresa	GEOSPATIAL	
Gerente general	Carlos Niño	7.220.117
Operador	Moisés Uribe	1.065.895.633
Auxiliar	Miguel Niño	7.224.996
Auxiliar	José Niño	7.222.540
Auxiliar	Willian Alcides	1.034.315.719
Auxiliar	Karen Johanna	1.016.107.484
Auxiliar	Bryan Gilberto	1.013.677.598

Fuente: GEOSPATIAL SAS.

2.1.2.9.2. EQUIPOS UTILIZADOS

Tabla 2-5. Equipos utilizados

EQUIPO UTILIZADO	
Cantidad	Descripción
1	Avión no tripulado (Drone)
1	Sensor S.O.D.A.
1	Software PIX4D MAPPER versión 4.7.5

Fuente: GEOSPATIAL SAS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

FICHA TÉCNICA DE LOS RESULTADOS

Avión no tripulado (drone)

EBEE PLUS		
USO	PROYECTOS	MAPEO (DE PEQUEÑA Y GRAN ESCALA).
	APLICACIONES	TOPOGRAFÍA (RURAL), MINERÍA, CONSTRUCCIÓN, PROTECCIÓN DE MEDIO AMBIENTE, HUMANITARIAS.
HARDWARE	ENVERGADURA	110 CM
	PESO (CÁMARA Y BATERÍA INCLUIDA)	APROX. 1.1 KG
	MOTOR ELÉCTRICO	SI
	ALAS DESMONTABLES	SI
	CÁMARA (INCLUIDA)	SENSEFLY S.O.D.A.
	CÁMARAS (OPCIONALES)	PARROT SEQUOIA, THERMOMAP
	ENLACE DE COMUNICACIÓN	RTK & PPK
OPERATIVIDAD	VIDEO FEEDBACK	NO
	ENTORNO COMPLETO DE VISUALIZACIÓN 3D	SI
	VELOCIDAD CRUCERO	40 - 110 KM/H
	RESISTENCIA AL VIENTO	HASTA 45 KM/H
	AUTONOMÍA DE VUELO	59 MINUTOS
	COBERTURA MÁXIMA (EN UN SÓLO VUELO)	59 MINUTOS
	COBERTURA NOMINAL A 120 M	220 HA
	COBERTURA NOMINAL A 120 M	220 HA
	ESTACIÓN BASE VIRTUAL/CINEMÁTICO EN TIEMPO REAL	SI / NO
	PUNTOS DE CONTROL DE TIERRA (GCP) REQUERIDOS	NO / OPCIONAL
ACERCAMIENTO AL OBJETO	NO	
RESULTADOS	MUESTREO DE LA DISTANCIA DEL SUELO (GSD)	HASTA 1 CM/PIXEL
	PRECISIÓN HORIZONTAL/ VERTICAL ABSOLUTA (W/GCPS)	NO SE REQUIERE GPS/ HASTA 3 A 5CM
	PRECISIÓN HORIZONTAL/ VERTICAL ABSOLUTA	HASTA 3 CM / 1-5 CM

Figura 2-15. Ficha técnica drone eBee plus.

Fuente: GEOSPATIAL SAS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 2-16. Drone eBee plus.
Fuente: GEOSPATIAL SAS.

Sensor SenseFly S.O.D.A.



Figura 2-17. Especificaciones técnicas sensor.
Fuente: GEOSPATIAL SAS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Software PIX4D MAPPER

El Software utilizado para el post procesamiento de las fotografías capturadas en la zona de interés es “**PIX4D MAPPER**” en su última versión 4.7.5. Pix4Dmapper es el software para cartografía profesional basada en imágenes puramente tomadas por drones. Pix4Dmapper convierte imágenes en mapas 2D georreferenciados, altamente precisos y en modelos 3D.

	Características	Ventajas
ENTRADAS	Imágenes aéreas -nadir y oblicuas- y terrestres	Procesa imágenes tomadas desde cualquier ángulo, desde cualquier plataforma aérea o terrestre, tripulada o no tripulada
	Video (formato mp4 o avi)	Extrae automáticamente fotogramas de los videos para crear un proyecto
	Imágenes de cualquier cámara (compacta, DSLR, térmica, multiespectral, ojo de pez, 360°, de gran tamaño, etc.) en .jpg o .tif	Utiliza imágenes adquiridas con cualquier cámara, desde fotogramas pequeños a grandes, desde cámaras de consumo a cámaras altamente especializadas (se requiere un complemento de fotogramas grandes para imágenes de más de 55 MP)
	Compatibilidad con múltiples cámaras en el mismo proyecto	Crea un proyecto con imágenes de diferentes cámaras y las procesa juntas
	Soporte de datos RTK/PPK + IMU	Permite una calibración más rápida y sólida cuando se utiliza el canal de geolocalización preciso
	Compatibilidad con los equipos de cámara	Procesa imágenes utilizando conocidos rigs de múltiples cámaras sincronizadas
	Edición e importación de puntos de control del terreno	Importa y edita puntos de control del terreno para mejorar la precisión absoluta del proyecto
	Soporte de sistemas de coordenadas de referencia conocidos o personalizados en unidades imperiales o métricas	Selecciona el código EPSG de sistemas de coordenadas conocidos o define su propio sistema local
	Soporte de la orientación exterior de la cámara	Optimiza los parámetros de orientación exterior de la cámara a partir de los parámetros de entrada del GPS y la IMU
	Importación de nubes de puntos externas	Importa nubes de puntos de diferentes fuentes, como LIDAR, para generar MDS y ortomosaicos
PROCESAMIENTO	Plantillas de procesamiento	Automatiza el procesamiento y la generación de resultados utilizando plantillas estándar o personalizadas
	Comprobación rápida con informe de calidad	Plantilla de procesamiento rápido para una rápida comprobación del conjunto de datos mientras está en el lugar del proyecto
	Autocalibración de la cámara	Optimización de los parámetros internos de la cámara, como la distancia focal, el punto principal de autocalibración y las distorsiones del objetivo
	Corrección del efecto rolling shutter	Corrige la deformación de las imágenes tomadas con cámaras rolling shutter (como GoPro, DJI Phantoms, etc.) para mantener la precisión incluso cuando se vuela rápido y bajo
	Triangulación aérea automática (AAT) y ajuste de bloques (BBA)	Procesa automáticamente con o sin orientaciones exteriores conocidas de la cámara: (x, y, z, w, f, k)
	Densificación automática de nubes de puntos	Produce una nube de puntos 3D densa y detallada, que puede utilizarse como base para el MDS y la malla 3D
	Filtrado y suavizado automático de nubes de puntos	Utiliza preajustes para las opciones de filtrado y suavizado de la nube de puntos
	Clasificación de nubes de puntos mediante aprendizaje automático	Clasifica automáticamente la nube de puntos densa RGB en cinco grupos: superficies de carreteras de tierra, vegetación alta, edificios y objetos hechos por el hombre
	Extracción automática de MDT/DEM	Elimina los objetos sobre el suelo del MDS y crea un modelo de tierra desnuda
	Corrección automática del brillo y del color	Compensa automáticamente el cambio de brillo, la luminosidad y el equilibrio de color de las imágenes
	Informe de calidad	Evalúa la precisión y la calidad de los proyectos
	Fusión y división de proyectos	Combina varios proyectos en uno o divide los proyectos grandes en varios para un procesamiento más eficiente
	Definición del área del proyecto	Importa (.shp) o dibuja áreas específicas para generar más rápidamente resultados dentro de límites específicos
	Número personalizado de puntos clave	Establece el número de puntos clave para filtrar el ruido o acelerar el procesamiento
	Compatibilidad con CPU y GPU multiprocesador	Aumenta la velocidad de procesamiento aprovechando la potencia de los núcleos e hilos de la CPU, así como de las GPU
Procesamiento radiométrico y calibración	Calibra y corrige la reflectancia de la imagen, teniendo en cuenta la iluminación y la influencia del sensor	

Figura 2-18. Ficha técnica software

Fuente: GEOSPATIAL SAS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO**2.1.2.10. GENERACIÓN DE MOSAICO Y MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (DSM)**

La generación del Ortofotomosaico y Modelo Digital de Superficie (DSM), se realizó como un proceso conjunto entre las fotografías capturadas y los parámetros de calibración. Dicho proceso fue realizado en oficina e involucró estaciones de trabajo y técnicos expertos, dedicados exclusivamente al procesamiento de la información.

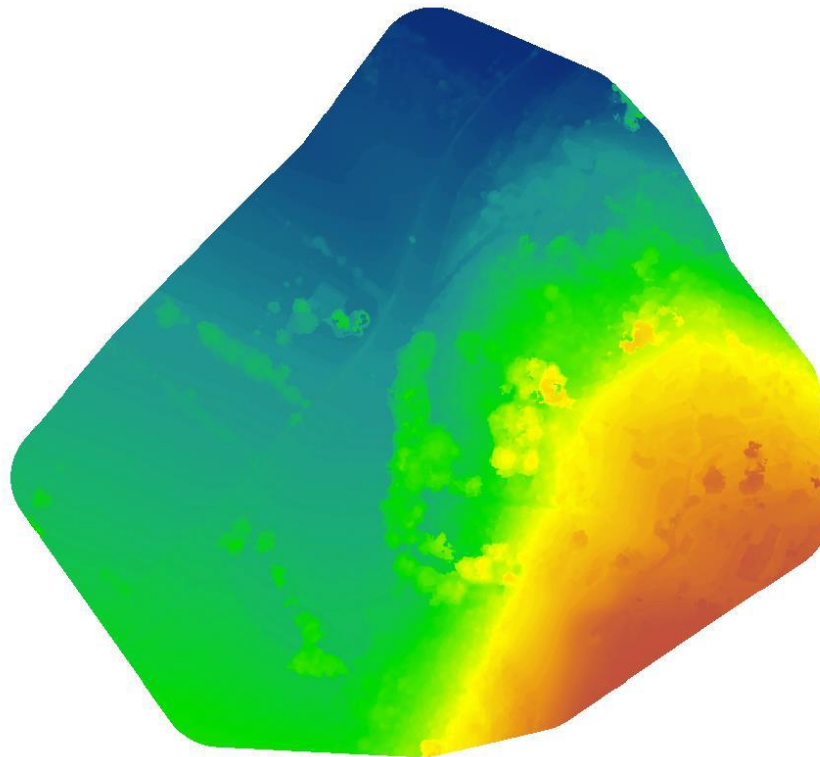


Figura 2-19. DSM
Fuente: GEOSPATIAL SAS.

2.1.2.10.1. TOMA DE ORTOFOTOMOSAICOS

La actividad de toma de imágenes se realizó mediante el empleo de vehículos aéreos no tripulados o “Drones”. El procesamiento de los datos para la generación de la Ortofoto y el Modelo Digital de Superficie se realizó mediante Software especializado “**PIX4D MAPPER**”. La edición y post procesamiento del Modelo Digital de Superficie para la generación de las curvas de nivel se hizo mediante una edición manual con base en la depuración de elementos como viviendas y árboles, a partir de la nube de puntos. La animación se realizó con el programa ARCGIS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.1.2.11. PROCESAMIENTO DE DATOS

2.1.2.11.1. PRE-PROCESAMIENTO

Una vez obtenidas las imágenes en campo, se procedió a ejecutar el procesamiento de las imágenes por medio de el alineamiento de las fotos de acuerdo con lo realizado en campo, verificación de la calidad de las imágenes y así poder generar la triangulación, la textura, las curvas de nivel y la ortofoto preliminar.

2.1.2.11.2. PROCESAMIENTO

Por medio del software se amarraron los modelos preliminares a las coordenadas conocidas con el fin de garantizar la precisión de este y así poder generar la ortofoto y el DTM.

2.1.3. ENTREGAS

Los productos entregados corresponden a los que se muestran a continuación: (Para mayor detalle ver anexo Fase II topografía 1).

Tabla 2-6. Entregables

ITEM	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN
1	ORTOMOSAICO	Formatos TIFF (GSD 3.6cm)
2	DSM	Formatos TIFF (GSD 50cm)
3	DTM	Formatos TIFF (GSD 50cm)
4	DATOS GNSS	Archivos Rinex y Crudos
5	REGISTRO FOTOGRAFICO	Fotocontrol y vuelos
6	FICHAS DE FOTOCONTROL	Localización y coordenadas
7	ANEXOS	Cartera de campo, Informe

Fuente: GEOSPATIAL SAS.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

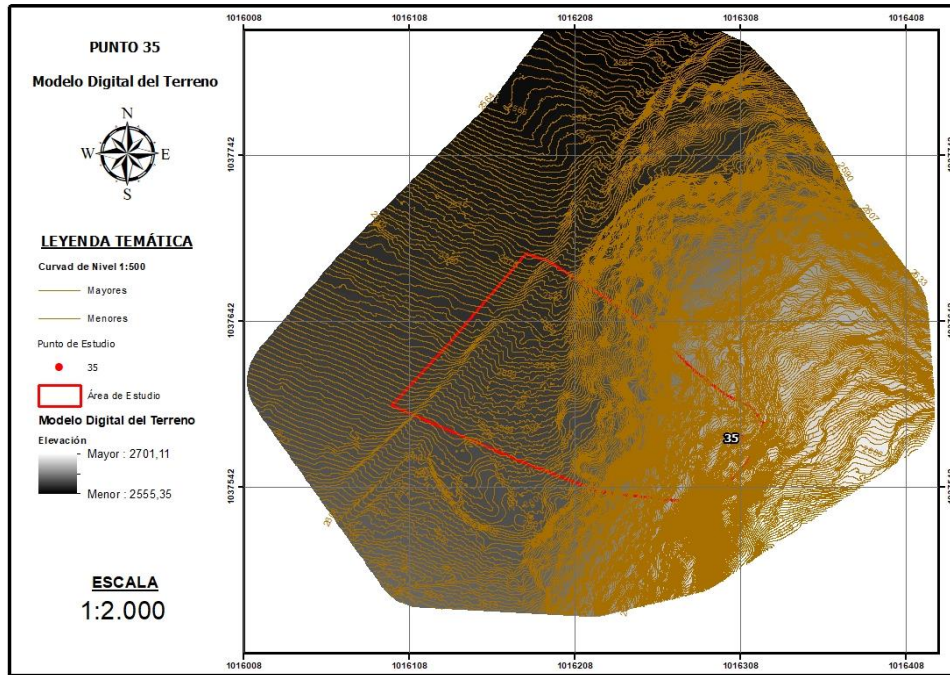


Figura 2-20. DTM.
Fuente: Propia.

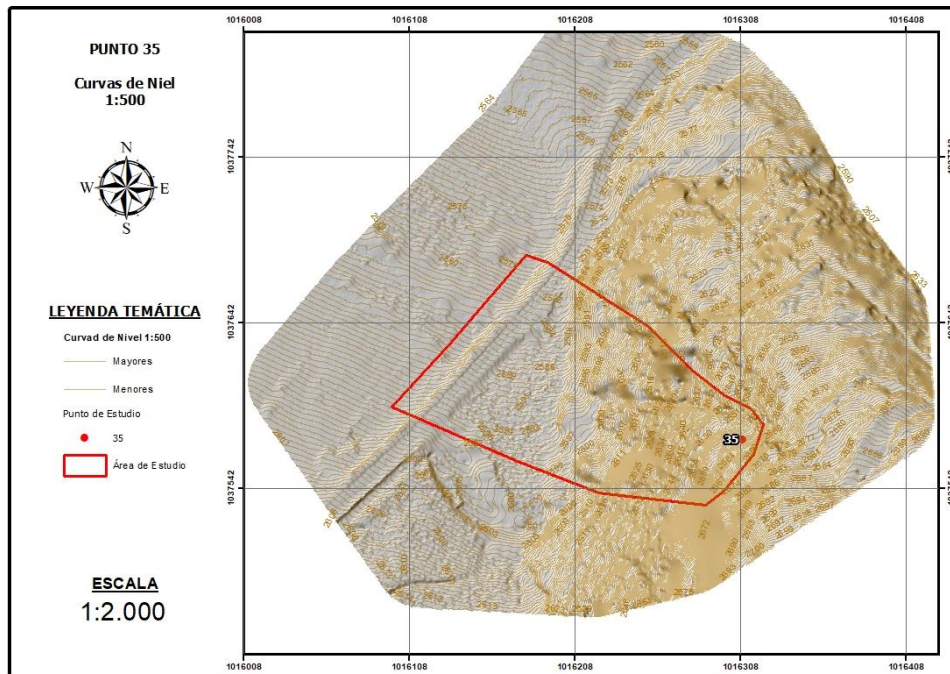


Figura 2-21. Curvas de nivel.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.2. PROSPECCIÓN

2.2.1. EXPLORACIÓN INDIRECTA (GEOFÍSICA)

2.2.1.1. LOCALIZACIÓN

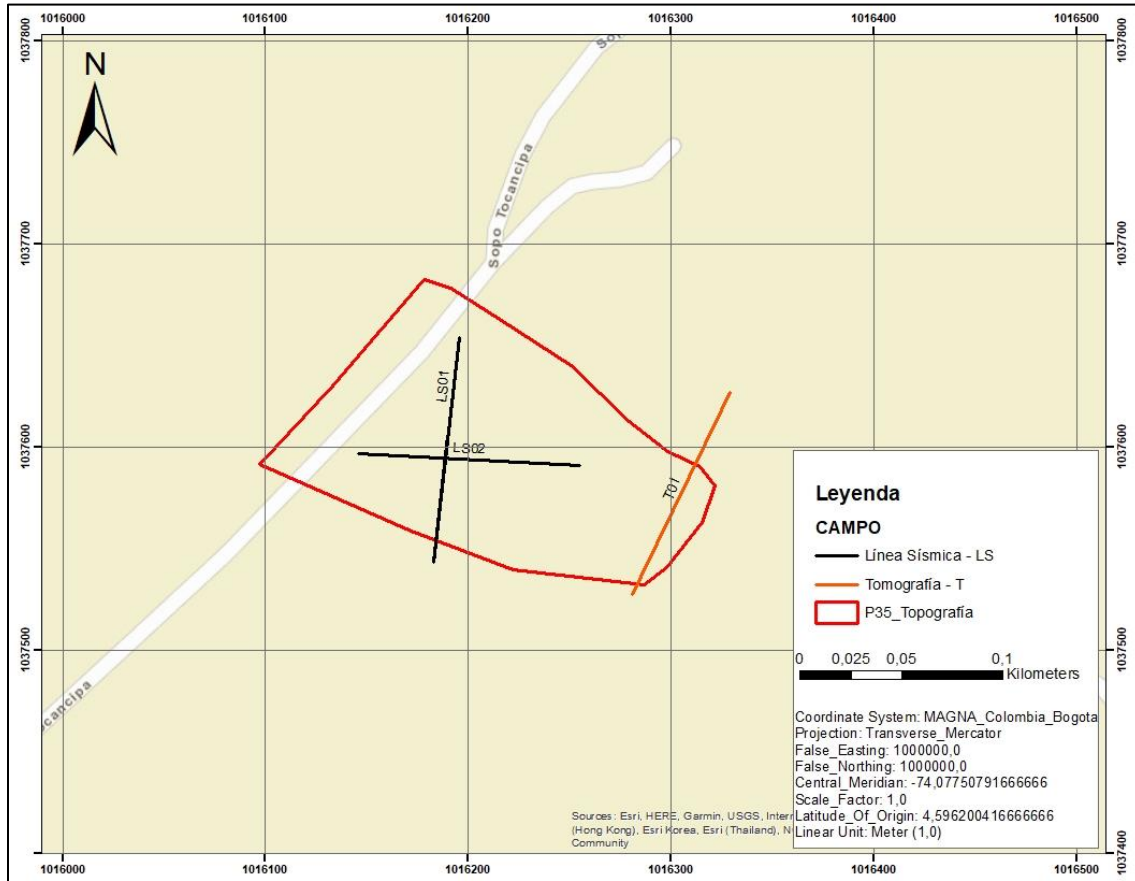


Figura 2-22. Ubicación de la geofísica ejecutada.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

Tabla 2-7. Coordenadas líneas sísmicas y tomografía

ID	INICIO		FIN		LONGITUD (m)
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	
LS01	1016182	1037544	1016195	1037653	110
LS02	1016146	1037597	1016254	1037590	110
T01	1016280	1037526	1016329	10371026	110

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.2.1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL MEDICIONES GEOFÍSICAS EN CAMPO

A manera de introducción de la instrumentación mediante inclinómetros y piezómetros a continuación se realiza una breve descripción de los aspectos teóricos y tecnológicos utilizados en el desarrollo del proyecto.

2.2.1.3. ENSAYOS DE REFRACCIÓN

Este método se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas, tanto de compresión (ondas P) como de corte (ondas S), desde un punto conocido (fuente sísmica) hasta una serie de receptores (geófonos) situados a lo largo de una línea de adquisición.

Conociendo el tiempo de recorrido que las ondas emplean en recorrer la distancia que separa la fuente y los receptores, se puede determinar la velocidad de propagación del medio. A partir de los valores de velocidad se puede obtener un modelo del subsuelo compuesto por capas de velocidad constante y espesor variable. Este método es muy útil para determinar, de manera indirecta, la estratigrafía del subsuelo. La conformación del subsuelo por este método se validó con las perforaciones realizadas en el sector, con el fin de obtener un modelo geológico-geotécnico ajustado a las condiciones de campo. Las líneas sísmicas permiten cubrir mayor área que por medio de perforaciones, por lo tanto, su empleo resulta óptimo para poder interpolar lo identificado en sitios específicos.

En total, se realizaron dos (2) líneas sísmicas del orden de 110 m de longitud, ubicada de acuerdo con las indicaciones del cliente, con el fin de obtener alcances entre 25 a 30 m de profundidad, permitiendo así identificar características de los suelos aflorantes en el sector de estudio y aportar datos para la determinación de las propiedades geomecánicas de los materiales, relevantes para los análisis y modelos de estabilidad que se emprendan en fases posteriores a este estudio.

En la Figura 2-22 se presenta la ubicación de las líneas realizadas, donde se observa la cobertura de este tipo de ensayo en el área de estudio. Se relacionan las coordenadas de los puntos de inicio y final de la línea, las cuales fueron obtenidas mediante un navegador de mano (GPS marca Garmin) en Sistema Nacional.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

El proceso de toma de datos en campo se realizó con el sismógrafo de 12 canales SuperOne con arreglos de 12 canales, los cuales se encuentran separados cada 9.20 metros, por tanto, la longitud de exploración fue de 110 metros. El método de adquisición de datos depende de un impacto en superficie, realizado con un martillo de 18 lb, el cual es golpeado contra una placa de acero; manda un impulso electromagnético al equipo, el cual activa el registro de señales vibratorias de cada uno de los geófonos a profundidad durante un tiempo de lectura definido al inicio de las mediciones.

Posterior a la adquisición de datos se hace uso del software SeismiDAQ, el cual toma los datos recolectados por el equipo, identifica los “timebreaks”, es decir, el tiempo que toma la onda de impacto para llegar a cada uno de los geófonos del arreglo, y a partir de interpolaciones genera tomografías del suelo, con las que, posterior a un análisis de velocidades, facilitan la determinación los espesores de los diversos estratos del suelo.

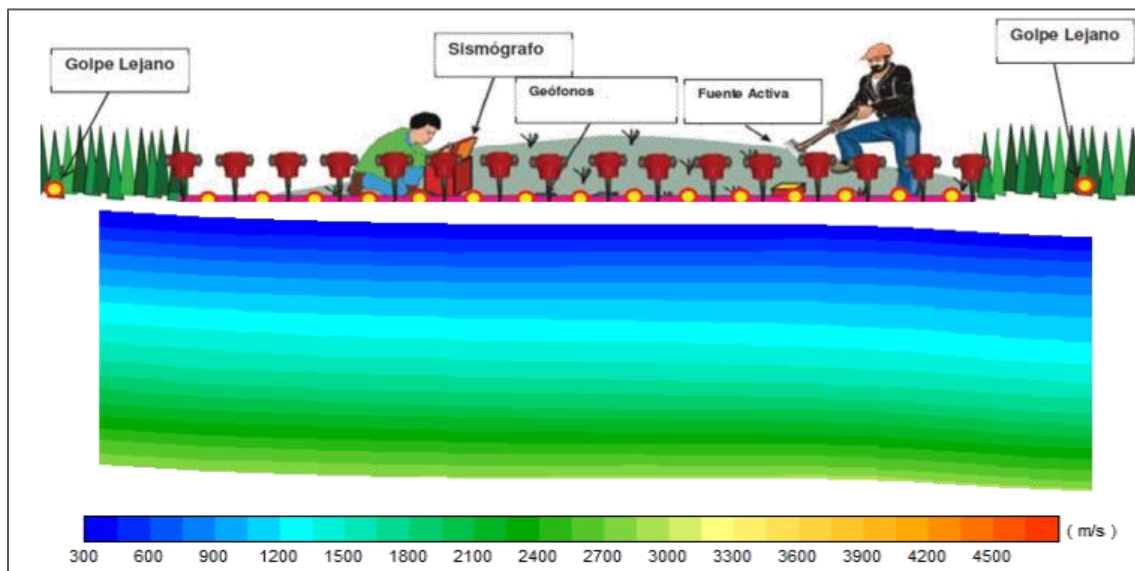


Figura 2-23. Procedimiento para mediciones geofísicas.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

En campo, se usó el programa Seisimager para la revisión y análisis de registros sísmicos de tal manera que sean consistentes y apropiados para su posterior procesamiento. En la Figura siguiente se muestra un registro típico de trazas por canal de medición que registra los tiempos de arribo de las diferentes ondas generadas. Mediante dicho software, se identifican los primeros puntos de llegada de la onda a cada uno de los geófonos para cada

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

golpe, dichos puntos de llegada son utilizados para un análisis matemático de cada una de las líneas.

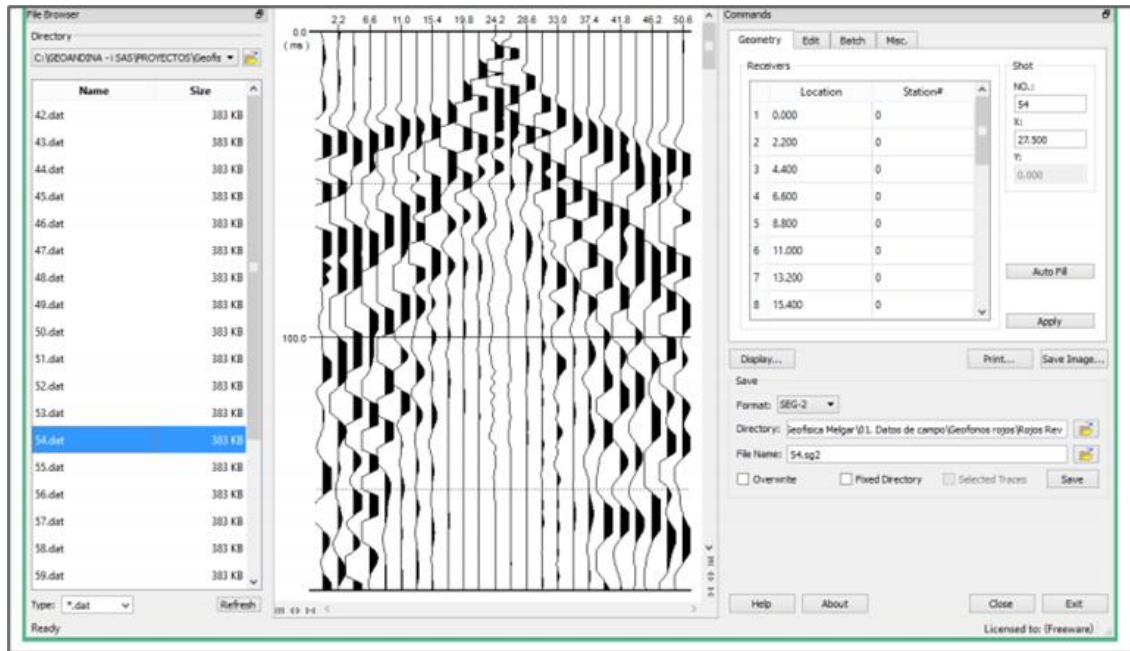


Figura 2-24. Registro de ondas a lo largo de la línea
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

2.2.1.3.1. *ENSAYOS DE TOMOGRÁFIA*

Es una técnica geofísica aplicada a la ingeniería y en exploración de recursos naturales ya que permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran ciertos rangos de valores de resistividad (ρ) que dependen de su composición y su contenido de agua o de sales disueltas y presentes en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo, ellas responderían de manera anómala al paso de la corriente eléctrica. El método de Tomografía Eléctrica es una técnica multielectródica, y su base teórica de su funcionamiento es análoga al de los métodos convencionales de resistividad (tetraelectródica).

Los métodos geoelectrónicos se basan en llevar a cabo sobre el terreno el registro de medidas del potencial eléctrico, ΔV , entre dos electrodos, denominados electrodos de potencial, cuando se inyecta corriente eléctrica, I , entre otros dos electrodos, denominados electrodos de corriente. Estos cuatro electrodos formarán lo que se denomina un cuadrípulo. Una vez

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

registrados los valores del potencial eléctrico (ΔV), anotado el valor de la corriente eléctrica inyectada en el terreno (I) y, conociendo la configuración geométrica del dispositivo de medida (K) se podrá establecer el valor de la resistividad eléctrica aparente, ρ_a , que viene dado según la siguiente expresión matemática (Everett, 2013).

Ecuación 2-1. Resistividad eléctrica

$$\rho_s = \frac{\Delta V}{I} K$$

Este valor de la resistividad eléctrica será atribuido a un determinado punto geométrico del subsuelo cuya posición y profundidad en el perfil dependerá de la posición de dicho cuadrípolo y de la separación entre los electrodos que lo conforman. Estos valores de resistividad eléctrica aparente una vez calculados con la expresión anterior proporcionarían la estructura eléctrica del subsuelo que se relacionará al tipo de geología o fluidos presentes en la zona de estudio.

Para las mediciones de resistividad del suelo en este proyecto en particular se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se tuvo en cuenta si en las zonas de medición no se presenta la influencia de objetos metálicos enterrados que puedan afectar la medida.
- Se verificó que los electrodos que se utilizaron estuvieran bien alineados e igualmente espaciados y que estuvieran enterrados a una misma profundidad. La profundidad de los electrodos estuvo alrededor de los 20 cm, asegurando siempre un buen contacto entre el electrodo y el terreno.
- Se verificó que los electrodos estuvieran bien limpios y exentos de óxido para posibilitar el contacto con el suelo.
- Se registró la fecha de la medición y el estado superficial del terreno.
- Se utilizaron elementos de protección personal para realizar las medidas.

Se realizaron mediciones en $a = 1, 2, 4, 6, 7, 8$ y 16 .

Las mediciones se realizaron con el Medidor de Resistencia AEMC 4500 con número de serie 038577.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 2-25. Medidor de resistencia AMEC 4500
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

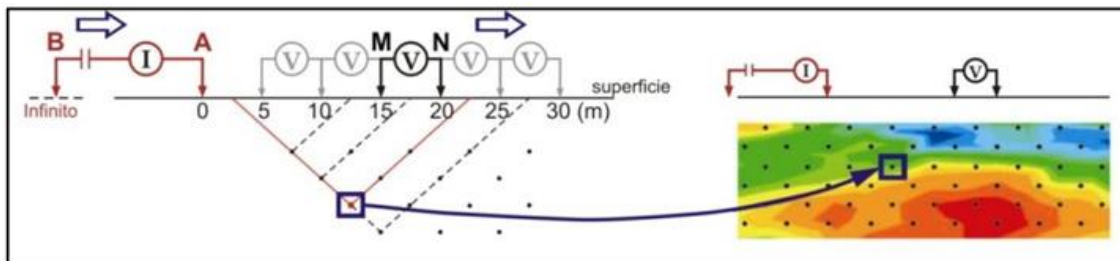


Figura 2-26. representación simplificada de la técnica de tomografía de resistividad eléctrica para un arreglo polodipolo
Fuente: (Chávez et al., 2011)

2.2.1.3.2. GENERALIDADES DEL ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA

Para un análisis de refracción de ondas sísmicas se lleva a cabo la identificación de los tiempos de llegada de las primeras ondas que se observan en sismogramas como se observa en la Figura 2-26.

Cuando un frente de ondas choca en la interfaz de dos capas, las ondas se refractan con un ángulo de incidencia que es proporcional a la relación de las velocidades de los medios en los que viaja. Si el perfil de velocidad aumenta en profundidad, entonces las ondas en la interfaz viajan a mayor velocidad y esto se ve reflejado posteriormente en los sismogramas que se miden en superficie como se observa conceptualmente en la Figura 2-27.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

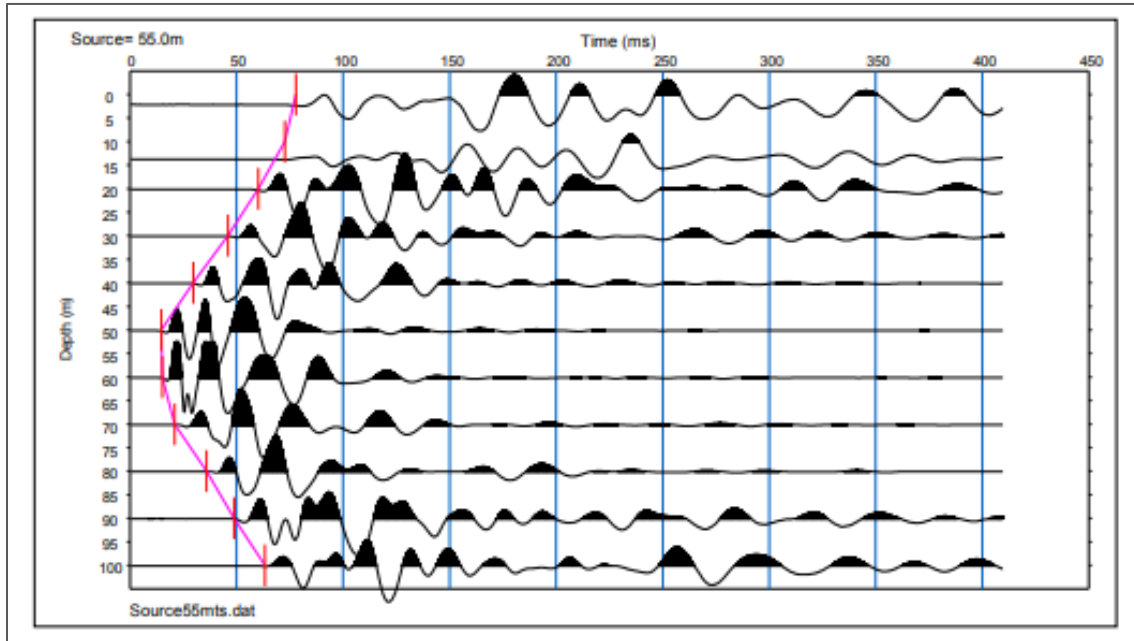


Figura 2-27. Sismograma con identificación de tiempos de arribo de ondas.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

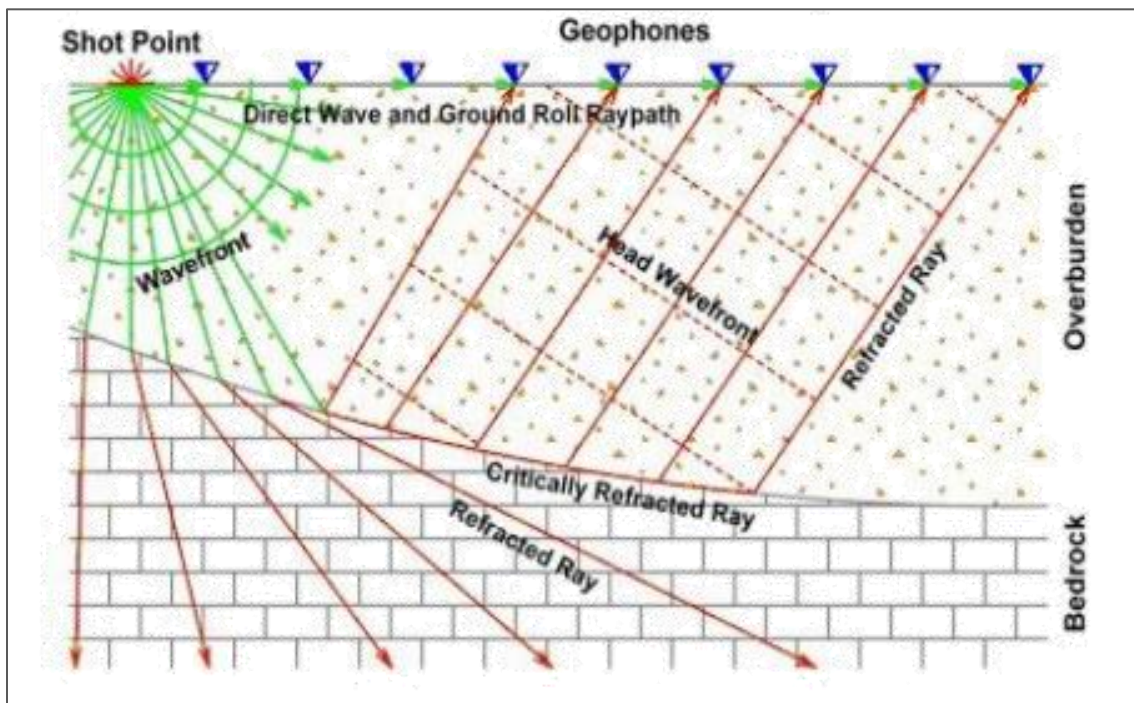


Figura 2-28. Ondas incidentes y ondas refractadas.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Al realizar la medición de sismogramas para un arreglo de geófonos, posteriormente, se lleva a cabo la identificación de la llegada de las ondas conociendo la distancia entre la fuente y la ubicación de los geófonos para calcular velocidades de propagación de onda compresional. Las velocidades se miden directamente como las pendientes de los tiempos de llegada de las ondas y los cambios de pendiente son indicativos de cambios de rigidez de las capas que permiten estimar espesores de estas. En las siguientes Figuras se indica la identificación de tiempos de llegada para el sismograma con ubicación de fuentes a lo largo de las líneas.

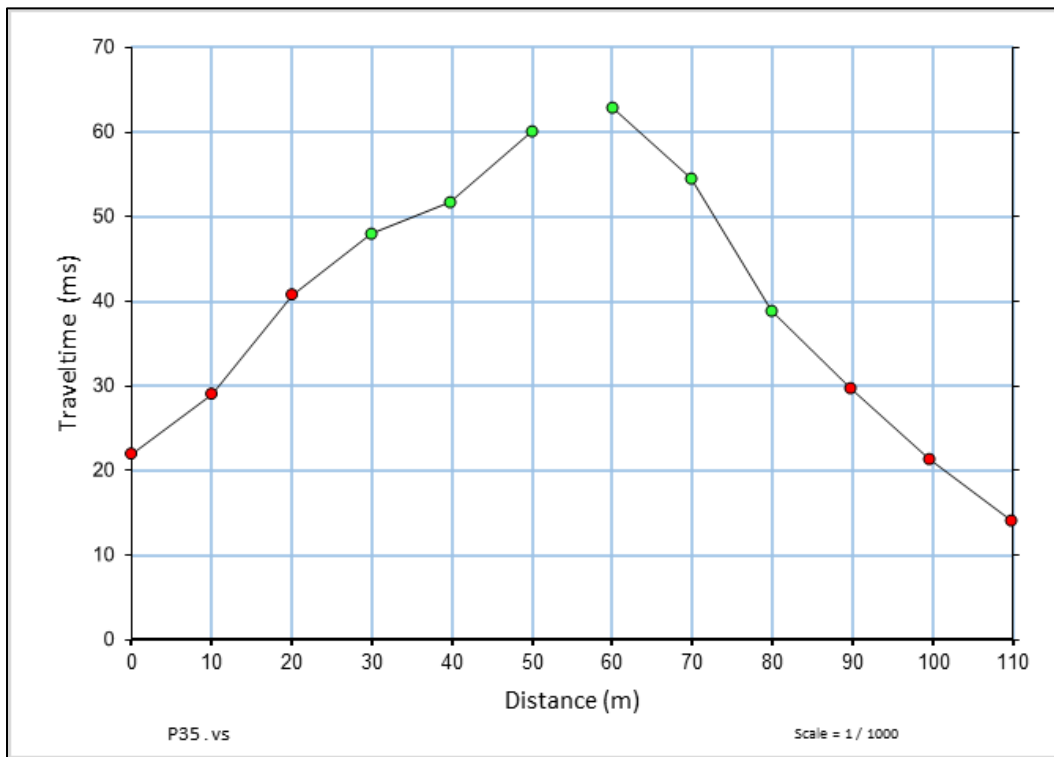


Figura 2-29. Dromocronas para modelo de refracción línea LS01.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

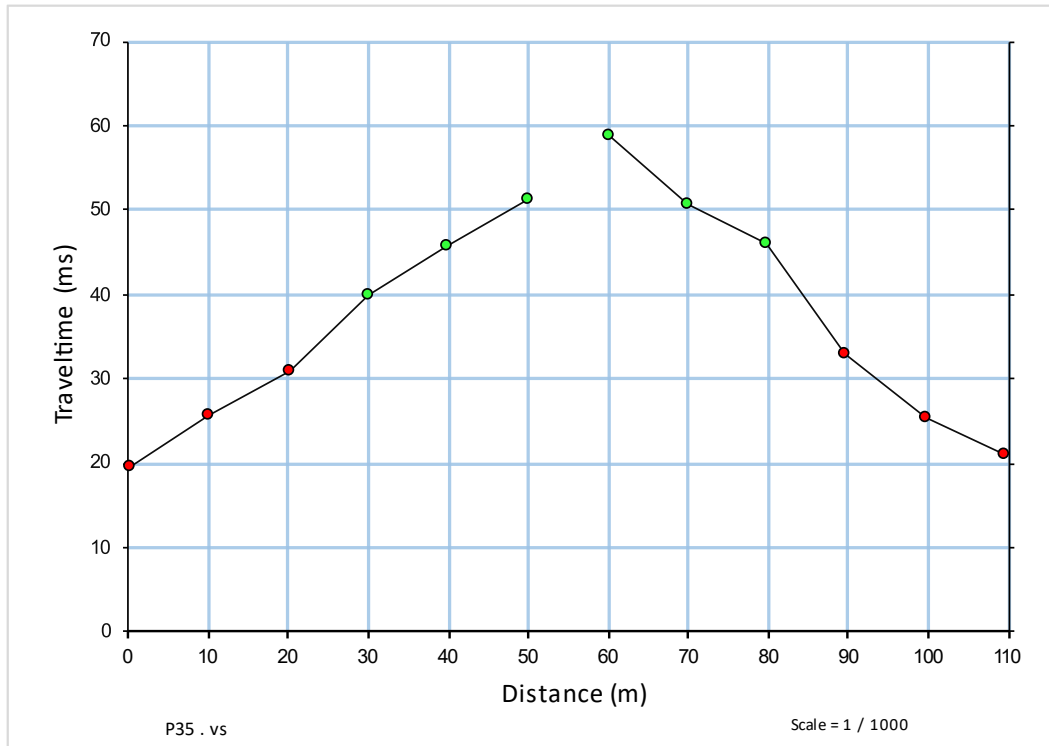


Figura 2-30. Dromocronas para modelo de refracción línea LS02.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

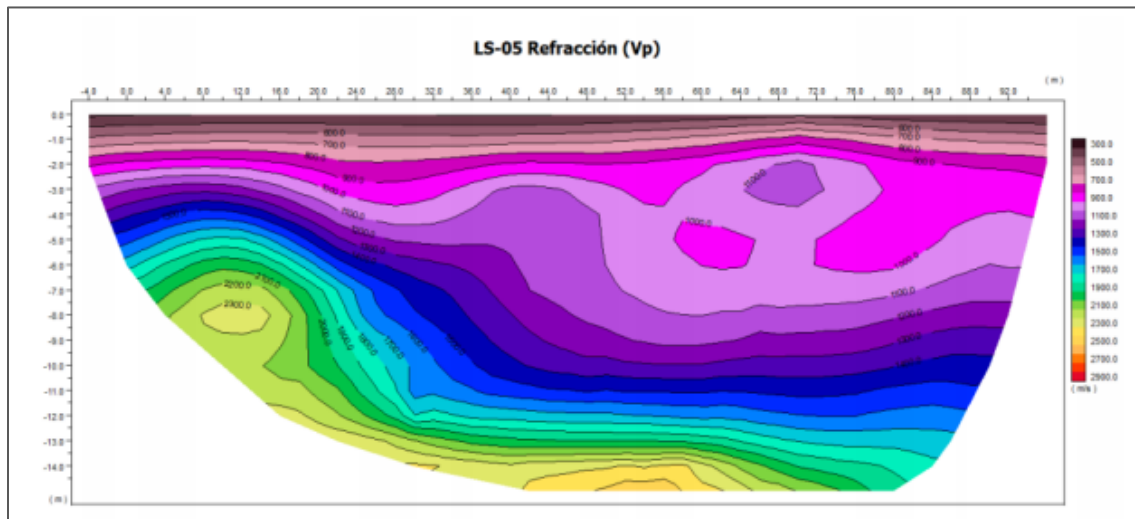


Figura 2-31 Resultado típico tomografía 2D.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

Los valores de velocidad de onda de compresión dan un indicativo del tipo y rigidez de material. En la siguiente tabla se presenta una guía propuesta por la norma ASTM D5777.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 2-8. Rangos de velocidades de onda de compresión para tipologías de suelo y rocas.

MATERIAL	VELOCIDAD (km/s)
Suelo Residual	0.24 - 0.61
Grava o Arena Seca	0.46 - 0.915
Arena (Saturada)	1.22 - 1.83
Arcilla (Saturada)	0.915 - 2.75
Agua	1.43 - 1.66
Agua de Mar	1.46 - 1.52
Arenisca	1.83 - 3.96
Esquisto	2.75 - 4.27
Tiza	1.83 - 3.96
Caliza	2.13 - 6.10
Granito	4.57 - 5.80
Roca Metamórfica	3.05 - 7.00

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

Adicionalmente, de acuerdo con el criterio de excavabilidad de Weaver (1975) es posible establecer un criterio de dureza de la roca para posteriormente sugerir rangos de facilidad/dificultad de llevar a cabo una excavación con diferentes tipos de máquinas. En la siguiente tabla se presentan los rangos de velocidad compresional que sugieren el estado de la roca en cuanto a dureza y meteorización.

Tabla 2-9. Rangos de velocidades de onda de compresión y su relación con la dureza y grado de meteorización.

	Tipo de Roca				
	I	II	III	IV	V
Velocidad de onda Vp (m/s)	> 2150	2150 - 1850	1850 - 1500	1500 - 1200	1200 - 450
Dureza de la Roca	Roca extremadamente dura	Roca muy dura	Roca dura	Roca blanda	Roca muy blanda / Suelo
Meteorización de la Roca	No meteorizada	Ligeramente meteorizada	Meteorizada	Altamente meteorizada	Completamente meteorizada

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

De acuerdo con el International Building Code (IBC) y la NSR-10, es posible clasificar el tipo de suelo existente en un rango de variación de la velocidad de onda de corte Vs como

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

se indica en la siguiente tabla, las velocidades mostradas en la tabla pueden ser utilizadas únicamente como referencia ya que lo usualmente aceptado es corregir el tipo real de material por medio de la comparación con exploración directa.

Tabla 2-10. Rango de velocidades de ondas de corte según NSR 10.

TIPO DE SUELO	DESCRIPCION	VELOCIDAD Vs (m/s)
A	Roca competente	$V_s > 1500$
B	Roca de rigidez media	$760 < V_s \leq 1500$
C	Suelos densos o rocas blandas	$360 < V_s \leq 760$
D	Suelos rígidos	$180 < V_s \leq 360$
E	Suelos blandos	$V_s < 180$

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

ENTORNO GEOLÓGICO

El entorno geológico que corresponde con la línea realizada en el municipio de Tocancipá es de rocas sedimentarias y depósitos recientes dentro de lo que se encuentran:

- Depósitos coluviales compuestos por fragmentos tamaño bloque, envueltos por una matriz limo-arenosa.
- Formación Sabana compuesta por depósitos de capas de arcilla, capas de arenas arcillosas, arcillas arenosas, turba y en ocasiones grava.
- Formación Labor – Tierna compuesta por intercalaciones de areniscas en capas medianas y gruesas con lodolitas en capas delgadas; hacia la parte superior, bancos gruesos de areniscas de grano fino y medio.

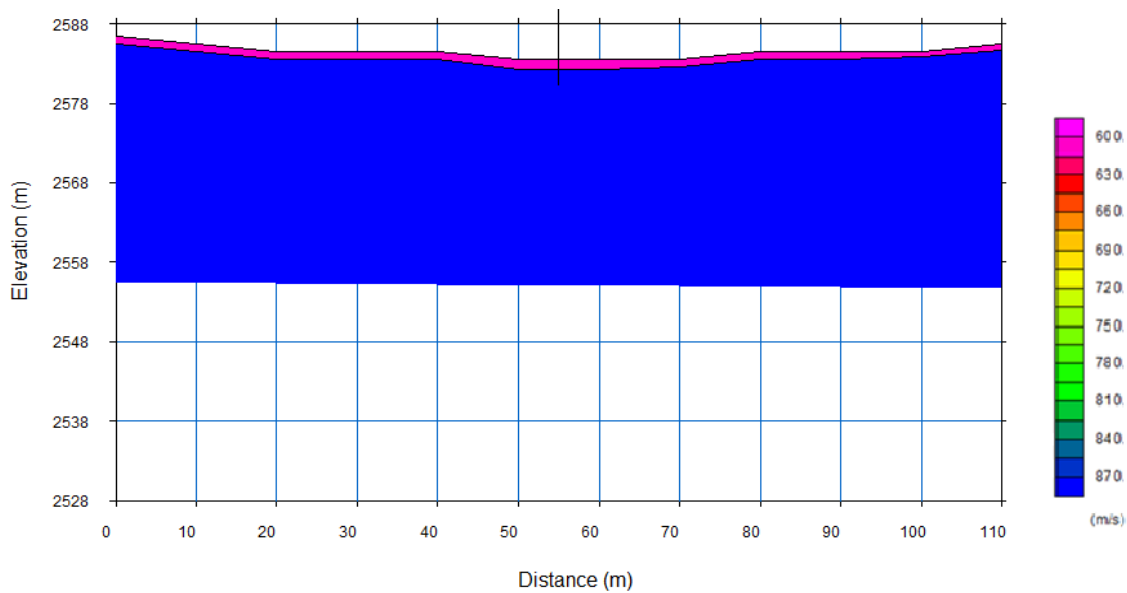
CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.2.1.3.3. RESULTADOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

- **Línea Sísmica LS01**

Para este caso se generó un modelo que permite observar dos zonas principales, donde la zona más superficial con un espesor de un metro aproximadamente que posee una velocidad de 600 m/s y una zona inferior para el espesor restante, que posee una velocidad de 870 m/s.

Geológicamente esta línea se sitúa sobre depósitos coluviales y rocas de la Formación Labor Tierna, por lo cual las capas se relacionan de la siguiente manera: una capa superficial de suelo residual de aproximadamente un metro de espesor y una capa inferior de depósitos coluviales compuestos por grava o arena seca.



Scale = 1 / 707

P35Perf&Cont.vs

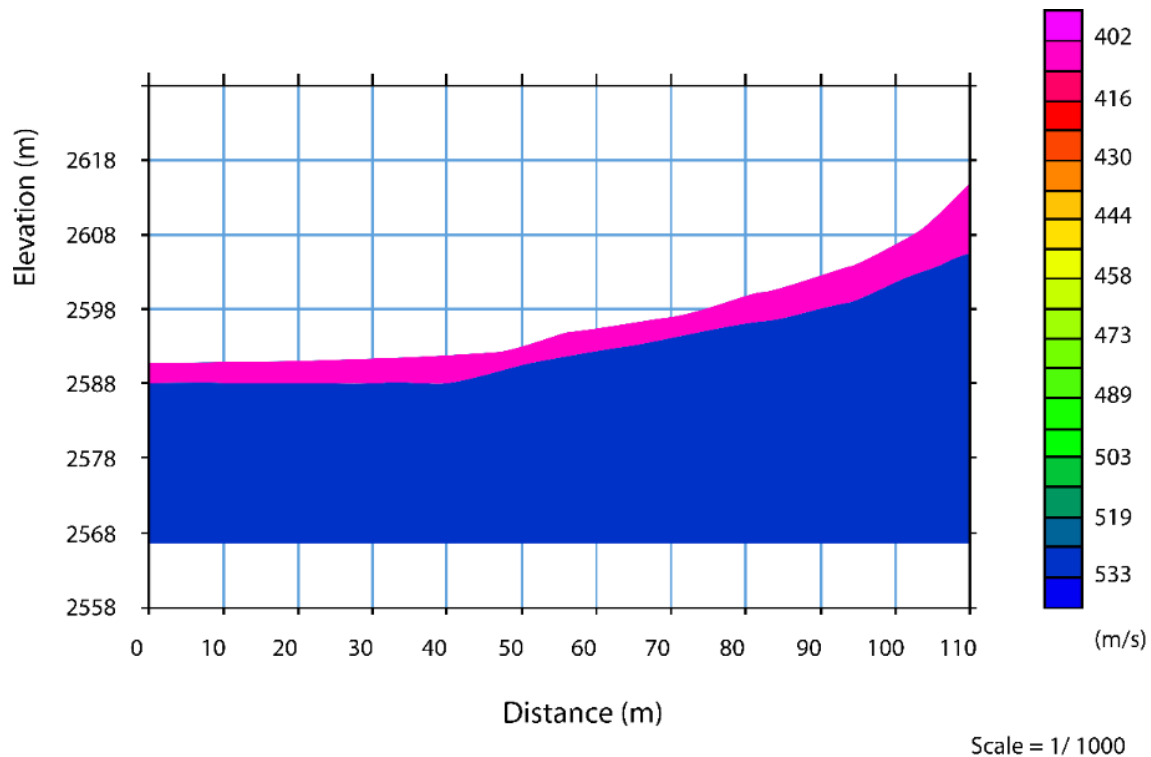
Figura 2-32. Modelo simplificado de velocidades a compresión (Vp) • Línea Sísmica LS01.

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- **Línea Sísmica LS02**

Para este caso se generó un modelo que permite observar dos zonas principales, donde la zona más superficial con un espesor de dos metros aproximadamente que posee una velocidad de 402 m/s y una zona inferior para el espesor restante, que posee una velocidad de 533 m/s.



P35.vs
Figura 2-33. Modelo simplificado de velocidades a compresión (V_p) • Línea Sísmica LS02.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

MODELO SIMPLIFICADO PARA REFRACCIÓN SÍSMICA

Por medio del modelo simplificado se considera un contraste de capas con una velocidad promedio de acuerdo con los tiempos de arribo de los primeros registros de ondas de compresión identificados.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Consta de una representación de dos capas que evidencia una reflexión por contrastes de cambio de rigidez bajo los postulados de la refracción sísmica. El compilado de los resultados obtenidos se encuentra consignado en la Tabla siguiente

En las Figuras presentadas se puede observar la variación en profundidad de cada una de las líneas de refracción para los contrastes de rigidez que brindan así información importante sobre la profundidad probable de roca de acuerdo con los rangos típicos esperados para los materiales presentes en la zona.

Tabla 2-11. Resumen de velocidades Vp por capas – método simplificado

ID	Vp (contacto 1 (m/s))	Vp (contacto 2 (m/s))
LS01	600	870
LS02	402	533

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

PERFIL DEL SUELO – CLASIFICACIÓN NSR-10

Los resultados del perfil promedio de velocidades de onda de corte (Vs) bajo el método MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) se presentan a continuación. Se incluye de igual manera el cálculo de densidades y módulos de elasticidad (Eo y Go) para referencia. De igual manera se hace el cálculo de velocidad media de la onda cortante bajo la fórmula propuesta por la NSR-10 como se describe a continuación:

Ecuación 2-2. Velocidad media de onda cortante.

$$V_s = \frac{\sum_i^n = 1 d_i}{\sum_i^n = 1 \frac{d_i}{V_{si}}}$$

Dónde:

V_{si} = Velocidad media de la onda de cortante del estrato i, medida en campo, en m/s

d_i = Espesor del estrato i, localizado dentro de los 30 m superiores del perfil

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Al obtener el perfil promedio de Vs30 se logra clasificar el tipo de suelo de acuerdo con la Tabla presentada anteriormente y que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 2-12. Tipo de suelo de Línea sísmica según NSR-10.

ID	LONGITUD LS	INTERVALO DE ANÁLISIS	PROMEDIO Vs30 (m/s)	PERFIL SUELO NSR10
LS01	110	0.00-110	496	C
LS02	110	0.00-110	521	C

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS: DENSIDAD, RELACIÓN DE POISSON, MÓDULO DE CORTE, MÓDULO DE ELASTICIDAD, Y DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA

La densidad se obtiene mediante la fórmula de Mayne, la cual determina la densidad relativa del terreno, teniendo como variables la profundidad y la velocidad de corte de cada capa; al dividir esta densidad relativa por la densidad del agua (10kN/m3), se obtiene la densidad total de la capa.

Conocidas las velocidades compresionales, las de corte y las densidades de los diferentes estratos que componen el subsuelo (los cuales se pueden obtener de ensayos de laboratorio o a partir de las velocidades compresionales) y dadas las relaciones matemáticas expresadas a continuación es posible calcular los módulos de Elasticidad (E), de Corte máximo (Go), de deformación Volumétrica (K).

Ecuación 2-3. Densidad

$$\rho_r = 1 + \frac{1}{0,614 + \frac{58,7(\text{LOG } z + 1,095)}{V_s}} \quad , \quad \rho = \frac{\rho_r}{\rho_w}$$

Ecuación 2-4. Módulo de corte.

$$G = \rho * V_2^2$$

Ecuación 2-5. Módulo de elasticidad.

$$E_d = 2G(1 + \nu)$$

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 2-13. Módulos de elasticidad y rigidez Línea LS01.

Capa	Espesor (m)	Vs (m/s)	Peso Unitario (kN/m ³)	Go (Mpa)	Eo (Mpa)
1	1.0	347	22	260	703
2	29.0	503	21	520	1405

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

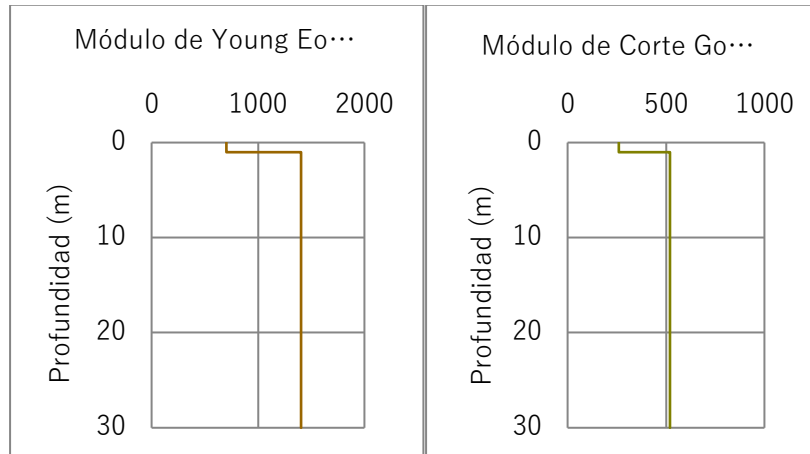


Figura 2-34. Módulos de elasticidad y rigidez Línea LS01.

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

Tabla 2-14. Módulos de elasticidad y rigidez Línea LS02.

Capa	Espesor (m)	Vs (m/s)	Peso Unitario (kN/m ³)	Go (Mpa)	Eo (Mpa)
1	2.0	402	22	350	945
2	27.0	533	21	590	1593

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

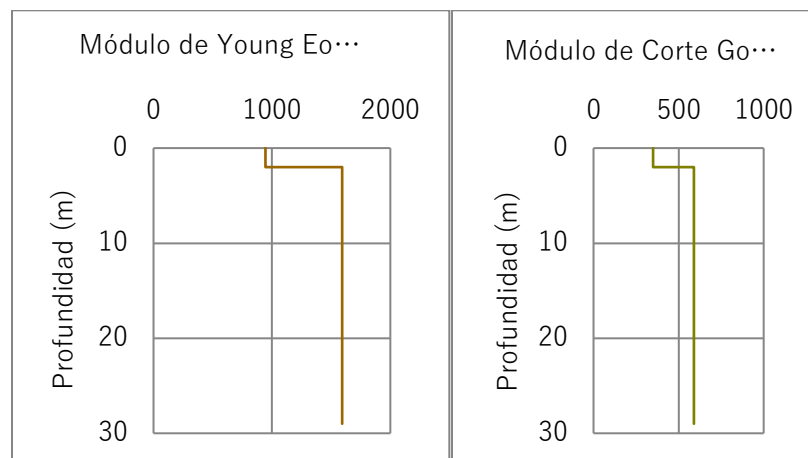


Figura 2-35. Módulos de elasticidad y rigidez Línea LS02.

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.2.1.3.4. RESULTADOS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

Dadas las características de los objetivos planteados, según la planificación de las líneas y los parámetros de los arreglos, se presentan los resultados de los cinco perfiles. El objetivo es obtener un modelo 2D de resistividades reales a partir de la pseudosección de resistividades aparentes obtenida del terreno. Esto se realizó por medio de un software de inversión. Estas técnicas de inversión se basan en realizar todo un proceso iterativo con el que obtener un modelo de resistividades reales, tal que el modelo de resistividades aparentes que generaría sea lo más similar posible a la pseudosección de resistividades aparentes medida en el campo.

Para realizar la interpretación de información obtenida, se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en caracterizar los suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura, procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado en una disminución en los valores de resistividad. En la tabla siguiente se presentan algunos valores de Resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas y ella será utilizada para la interpretación de los resultados obtenidos en este estudio.

Tabla 2-15. Valores de resistividad de algunos tipos de suelos, rocas y materiales presentes en la naturaleza.

MATERIAL	RESISTIVIDAD (ohm.m)
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$
Basalto	$10^3 - 10^6$
Pizarra	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Cuarcita	$10^2 - 2 \times 10^8$
Yeso	$10^4 - 10^6$
Arenisca	$8 - 4 \times 10^3$
Esquistos	$20 - 2 \times 10^3$
Caliza	$50 - 4 \times 10^2$
Arcilla	1 - 100
Aluvión	10 - 800
Agua dulce	10 - 100
Agua de mar	0,2

Fuente: (Loke, 2004).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

A continuación, se describen los resultados obtenidos para el perfil geoelectrico, construido en el área de estudio:

- **Tomografía T01:**

Se observa el predominio de valores altos resistivos asociados a la presencia de afloramientos rocosos a lo largo de la línea. Solamente en tres zonas se presentan, de manera puntual, valores bajo-resistivos (< 300 ohm.m) que pueden deber a la presencia de agua que discurre a través de las rocas fracturadas.

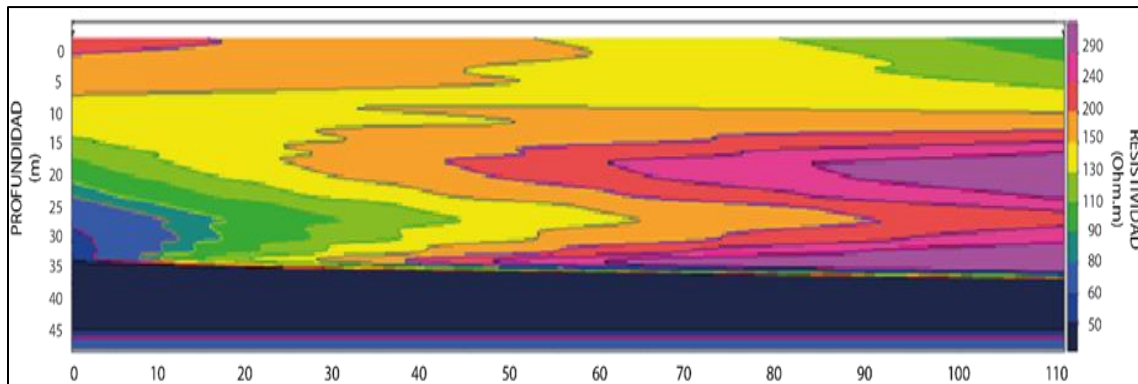


Figura 2-36. Tomografía eléctrica T01.

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.2.2. EXPLORACIÓN DIRECTA

2.2.2.1. LOCALIZACIÓN

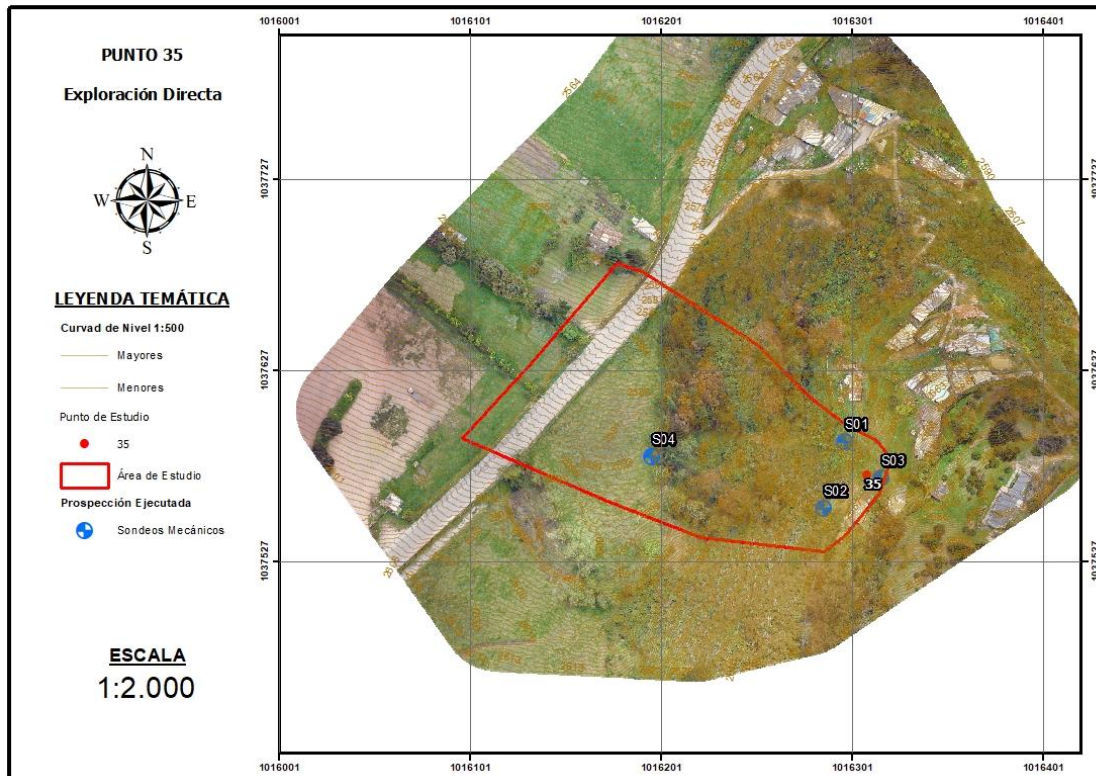


Figura 2-37. Ubicación de la exploración directa ejecutada.
Fuente: Propia.

A continuación, se presentan las coordenadas de localización de la exploración realizada:

Tabla 2-16. Resumen localización de las perforaciones mecánicas ejecutadas.

ID	NORTE	ESTE	PROFUNDIDAD (m)
S01	1037589,477	1016297,489	20
S02	1037554,456	1016286,406	20
S03	1037570,436	1016316,595	20
S04	1037581,468	1016196,44	20
S05	1037614,645	1016204751	20

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.2.2.2. RECURSOS

2.2.2.2.1. PERSONAL

Se dispone de un grupo de trabajo, para mantener un flujo de trabajo continuo, el personal de oficina se encargará de recibir los datos de campo, realizar el post proceso adecuado, para posteriormente generar los ensayos de laboratorio necesarios para el análisis de las muestras tomadas en campo, así como generar salidas gráficas de toda la información capturada. La comisión de campo se encarga de ejecutar los sondeos, generar los perfiles estratigráficos junto con la descripción visual del suelo encontrado. Los profesionales que participaron en la ejecución de las actividades se presentan, a continuación:

Tabla 2-17. Personal de campo.

NOMBRE COMPLETO	CC
JESUS ANTONIO PARRA MORENO	1.077.083.225
CRISTIAN EDUARDO PARRA MORENO	1.077.886.610
ADDISON JAIR LOPEZ CARDENAS	79.857.209
CAMILO SANCHEZ GONZALES	1.049.603.371
JOSE DEL CARMEN TORRES MORALES	1.050.170.097

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

2.2.2.2.2. EQUIPOS UTILIZADOS

Para la elaboración del proyecto se utilizaron los equipos que a continuación se presentan:



Figura 2-38. Perforación con equipo de rotopercusión tipo Petty.

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

2.2.2.3. DESARROLLO

2.2.2.3.1. PERFORACIONES MECÁNICAS (SONDEOS)

En esta área de estudio se ejecutaron cien metros lineales (100ml) en cinco (5) perforaciones mecánicas por rotación diámetro NQ con ensayo SPT. En la ejecución de esta actividad se prestó especial atención en registrar y reconocer las características y diferencias de espesor y distribución de los suelos superficiales, depósitos transportados, suelos residuales, roca altamente meteorizada y roca parcialmente meteorizada; ubicación de niveles freáticos o piezométricos, y cualquier otro cambio en la resistencia, deformabilidad y permeabilidad de los materiales de la zona de estudio.

En cada perforación se llevó el registro de la información correspondiente a las observaciones generales del área, así como las descripciones de los materiales muestreados a medida que se avanzaba en la exploración. Se elaboró un registro estratigráfico de campo, en el cual se consignó la información concerniente al tipo y profundidad de cada muestra, descripción visual de los materiales que conforman cada estrato y profundidad a la cual se producen cambios en la estratigrafía. (Para mayor detalle ver anexo Fase II – Prospección – Sondeos)

En resumen, se puede decir que, en el Sondeo S01 se tomaron 16 muestras encontrando en ellas: limo oscuro orgánico, consistencia blanda, contenido de agua medio, suelo compuesto por arena color café clara algo arcillosa, compacidad suelta, suelo compuesto por bloques de roca arenosa color café clara de grano grueso en matriz de arena color café clara de grano medio a grueso, compacidad densa, contenido de agua medio.

Por otro lado, en el sondeo S02 se realizaron 15 muestras encontrando: contenido de agua medio, estrato de limo orgánico, suelo compuesto por una arena color café clara algo arcillosa, compacidad densa, arena color café clara algo arcillosa, compacidad densa, suelo compuesto por bloques de roca arenosa color café clara de grano grueso en matriz de arena color café clara de grano medio a grueso, compacidad densa.

Este mismo proceso se realizó para las 15 muestras tomadas en el sondeo S03, encontrándose bloques de roca arenisca de grano fino en matriz arenosa color café de grano grueso, compacidad densa, contenido de agua medio, relleno de limo oscuro con

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

escombros y ladrillo, consistencia media, contenido de agua bajo, suelo compuesto por una arena color café de grano medio, compacidad media.

En el sondeo S04 se pudo reconocer suelo compuesto por un limo oscuro algo arenoso con raíces, consistencia media, contenido de agua bajo, suelo compuesto por una arena de color café claro de grano grueso en matriz arcillo - arenosa de color café claro, compacidad media, contenido de agua medio, bloques de roca arenosa de grano grueso de color café clara con matriz de arena café clara, compacidad densa, contenido de agua medio, entre otras descripciones visuales del suelo encontrado durante las 15 muestras tomadas en este sondeo.

En las 15 muestras tomadas durante el sondeo S05 se pudo encontrar limo oscuro orgánico, consistencia blanda, contenido de agua medio, suelo compuesto por arena color café clara algo arcillosa, compacidad suelta, suelo compuesto por bloques de roca arenosa color café clara de grano grueso en contenido de agua medio. matriz de arena color café clara de grano medio a grueso, compacidad densa.

A continuación, se presentan algunas de las fotos de las muestras tomadas durante las perforaciones realizadas, para uno de los sondeos realizados, las cuales contienen información como la profundidad de la que se sacó cada muestra, el golpe utilizado, el recobro, el número de muestra y su localización junto con la muestra recolectada. (Figuras del 2-39 al 2-45) (El resto de las imágenes pueden ser consultadas en anexo Fase II – Prospección – Sondeos)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

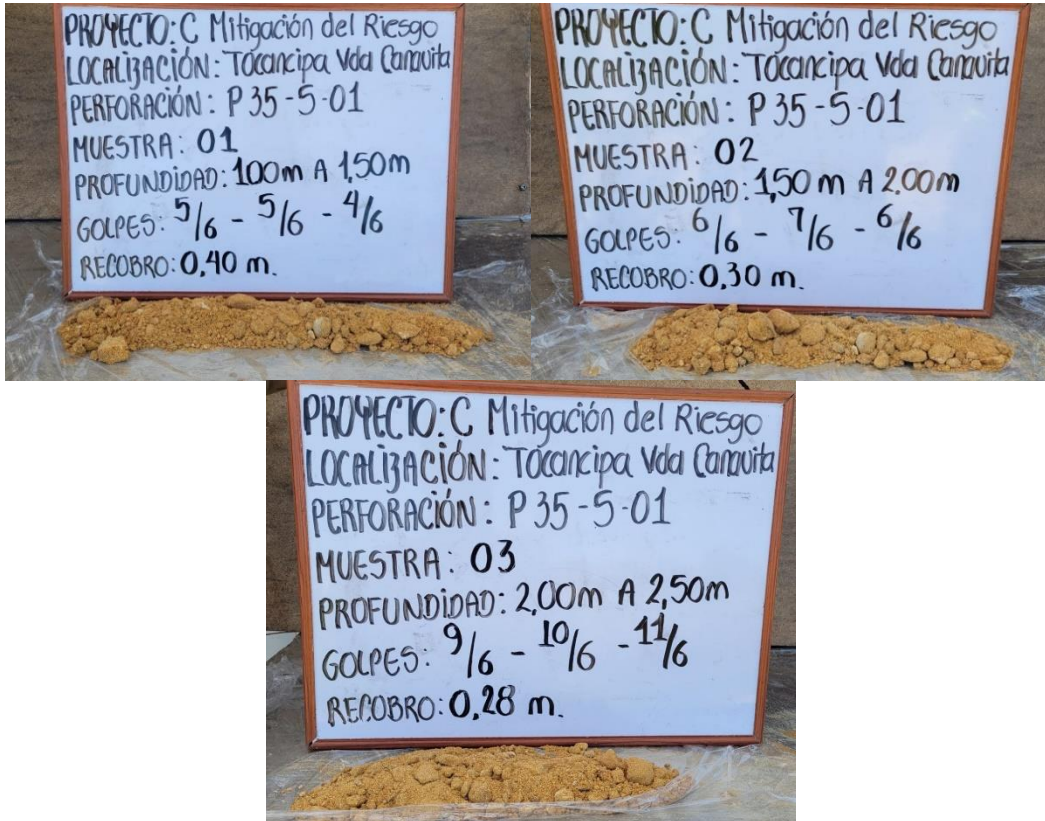


Figura 2-39. Muestra 1,2 y 3 del sondeo 1.
Fuente: Propia.



Figura 2-40. Muestra 4 y 5 sondeo 2 y sondeo 3 respectivamente.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 2-41. Muestra 6 y 7 sondeo 3 y 4 respectivamente.
Fuente: Propia.

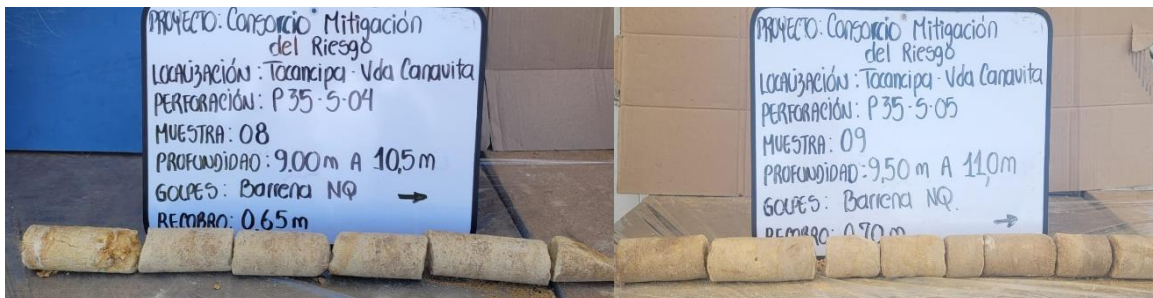


Figura 2-42. Muestra 8 y 9 sondeo 4 y sondeo 5.
Fuente: Propia.



Figura 2-43. Muestra 10 y 11 sondeo 5.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO



Figura 2-44. Muestra 12 y 13 sondeo 1.
Fuente: Propia.



Figura 2-45. Muestra 14 y 15 sondeo 2.
Fuente: Propia.

2.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

El programa de ensayos de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas del subsuelo, fundamentales para el cálculo y diseño de las obras de control y mitigación, comprendió: límites de atterberg, granulometría por lavado sobre malla no. 200 y/o tamizado, humedad natural, peso unitario, corte directo, carga puntual y resistencia a la compresión simple. A continuación, se presenta un resumen de los ensayos ejecutados y la norma que rige las condiciones y procedimiento para la ejecución de estos.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 2-18. Ensayos de Laboratorios ejecutados - Sondeos.

ENSAYOS DE LABORATORIO	NORMA	CANTIDAD
Límites de Atterberg	I.N.V.E. 122 – 2013 I.N.V.E. 125 – 2013 I.N.V.E. 126 – 2013	14
Granulometría por tamizado con lavado	I.N.V.E. 123 - 2013	14
Humedad	I.N.V.E. 122 - 2013	14
Permeabilidad	MÉTODO DE CABEZA VARIABLE (No estandarizado)	0
Compresión Inconfinada	I.N.V.E. 152 - 2013	0
Consolidación Unidimensional	I.N.V.E. 151 - 2013	0
Peso Unitario	ASTM D7263 - 09(2018)	16
Corte directo	I.N.V.E. 154 - 2013	0
Carga Puntual	ASTM D 5731-95 T NLT-252/91"	17
Resistencia a la Compresión Simple	ASTM D 7012 METODO C"	18

Fuente: Propia.

2.3.1. RECURSOS

2.3.1.1. EQUIPOS UTILIZADOS



Figura 2-46. Ensayos y laboratorios.

Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

FICHA TÉCNICA DE LOS EQUIPOS

Certificado de calibración INSTRUMENTO DE PESAJE DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO.

INSTRUMENTO: <i>Instrument</i>	INSTRUMENTO DE PESAJE DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO		
FABRICANTE: <i>Manufacturer</i>	TRUMAX		
MODELO: <i>Model</i>	MIX-A		
NÚMERO DE SERIE: <i>Serial Number</i>	YS163810	CÓDIGO INTERNO: <i>Internal code</i>	NO PORTA
RANGO DE MEDICIÓN: <i>Nominal value</i>	0 g a 300 g		
SOLICITANTE: <i>Customer</i>	TERRA LABORATORIOS E INGENIERÍA S.A.S.		
DIRECCIÓN: <i>Address</i>	Vereda la Esmeralda Sector Planta de Tratamiento Casa Siglo XI.		
CIUDAD: <i>City</i>	Tocancipá - Cundinamarca		
SITIO DE CALIBRACIÓN: <i>Calibration site</i>	Instalaciones del Cliente		
UBICACIÓN DEL INSTRUMENTO: <i>Date of calibration</i>	Laboratorio		
FECHA DE CALIBRACIÓN: <i>Date of calibration</i>	2021-10-01		

Número de páginas del certificado incluyendo anexos: Cuatro (4)
Number of pages of the certificate and documents Attached

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren solamente a los ítems calibrados, al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.
The results of the certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made. The issuing Laboratory assumes responsibility for damages arising of mis use of the calibrated instruments. This certificate may not be reproduced partially without the written approval of COLMETRO SAS.

El presente Certificado no puede ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita por parte de COLMETRO S.A.S.
The results of the certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made. The issuing Laboratory assumes responsibility for damages arising of mis use of the calibrated instruments. This certificate may not be reproduced partially without the written approval of COLMETRO SAS.

FIRMAS AUTORIZADAS:
Authorized signature



Firmado digitalmente por
EDUARD YESID
BARON MURILLO
Fecha: 2021.10.13
15:50:52 -05'00'

Autorizado por - authorized by
Fecha de emisión - date issue

Colmetro S.A.S Carrera 88 A # 64 D - 90 Bg 25 Centro Industrial El Dorado / Bogotá. PBX: 3298886
www.colmetro.com / email: comercial@colmetro.com

Figura 2-47. Ficha técnica instrumento laboratorio.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Balanza digital 30 kg

		Certificado de calibración Certificate of calibration Magnitud de masa Codigo F-040 - Version 08	Número: B210378 Number: Página: 1 de 4 Page:
INSTRUMENTO: Balanza digital. <small>Instrument</small>			
FABRICANTE: TRUMAX <small>Manufacturer</small>			
MODELO: Pentix <small>Model</small>			
NÚMERO DE SERIE: YS151395 <small>Serial Number</small>		CÓDIGO INTERNO: NO PORTA <small>Internal code</small>	
RANGO DE MEDICIÓN: 0 g a 30 000 g <small>Nominal value</small>			
SOLICITANTE: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA SAS <small>Customer</small>			
DIRECCIÓN: Vereda la Esmeralda Sector Planta de Tratamiento Casa Siglo XI <small>Address</small>			
CIUDAD: Tocancipá - Cundinamarca <small>City</small>			
SITIO DE CALIBRACIÓN: Instalaciones del Cliente <small>Calibration site</small>			
UBICACIÓN DEL INSTRUMENTO: Laboratorio <small>Date of calibration</small>			
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2021-09-29 <small>Date of calibration</small>			
Número de páginas del certificado incluyendo anexos: Cuatro (4) <small>Number of pages of this certificate and documents Attached</small>			
<p><i>Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren solamente a los items calibrados, al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.</i></p> <p><i>El presente Certificado no puede ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita por parte de COLMETRO S.A.S.</i></p> <p><i>The result of this certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made. The using Laboratory assume responsibility for damaged arising of mis use of the calibrated instrument. This certificate may not be reproduced partially without the written approval of COLMETRO SAS.</i></p>			
FIRMAS AUTORIZADAS: <small>Authorized signatures</small>			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: flex; align-items: center;"> <div> <p>Firmado digitalmente por JAIRO ANDRES RAMOS MACANA Fecha: 2021.04.22 09:49:27 -05'00'</p> </div> </div>			
<p>Autorizado por - authorized by Fecha de emisión - date issue</p>			
<small>Colmetro S.A.S Carrera 88 A # 04 D - 80 Bg 25 Centro Industrial El Dorado / Bogotá. PBX: 3298688 www.colmetro.com / email: comercial@colmetro.com</small>			

Figura 2-48. Ficha técnica balanza digital.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Horno




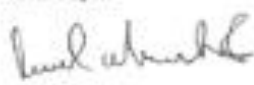
Ingeniería de Control de Calidad División Laboratorio ISGLAB LTDA		 	
INICIO CERTIFICADO F-LAT-01-25	ISO/IEC 17025:2017 CTA-21-15900	Pag. 1 de 4	
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CALIBRATION REPORT			
Certificado No. CERTIFICATE NUMBER	CTA-21-15900	Laboratorio de LABORATORY	TEMPERATURA
FABRICANTE MANUFACTURER SERIAL SERIAL NUMBER	SIM No Porta	Horno Digital MODELO MODEL CODIGO INTERNO INTERNAL CODE	PB 102 TH-HORNO-1
SOLO PARA EQUIPOS DE ENSAYO CON INCLUIDOR DIGITAL AUXILIAR			
FABRICANTE MANUFACTURER SERIAL SERIAL NUMBER	- -	MODELO MODEL CODIGO INTERNO INTERNAL CODE	- -
INTERVALO CALIBRADO CALIBRATED INTERVAL	101 °C a 123 °C /		
CLIENTE CUSTOMER	TERRA LABORATORIOS E INGENIERIA S.A.S.		
DIRECCIÓN ADDRESS	CALLE 17 SUR No. 4 - 64 VEREDA EL VERGANZO Tocancipá		
LUGAR DE CALIBRACIÓN CALIBRATION LOCATION	CALLE 17 SUR No. 4 - 64 VEREDA EL VERGANZO Bogotá D.C - Cundinamarca		
FECHA DE CALIBRACIÓN CALIBRATION DATE	2021-10-11 aaaa-mm-dd	FECHA DE EMISIÓN ISSUE DATE	2021-10-14 aaaa-mm-dd
NÚMERO DE PÁGINAS PAGE NUMBER	4	ORDEN DE SERVICIO SERVICE ORDER	CSI-2021-1355
Firmas Autorizadas Autorizado Por:	Authorized Signature Elaborado por:  Carlos Martínez Técnico Especialista	Revisado por:  Rafael Martínez Técnico Senior	
<p style="font-size: small;">Este documento es válido si el equipo está correctamente que los resultados por los datos aquí contenidos, los resultados se informan solamente al instrumento relacionado y el momento y condiciones en que se efectuaron los mediciones y pueden incurrir a pérdidas literales cuando se entregaron de evidencia de metrología a empresas receptoras. No se permite la reproducción parcial de este certificado. This document does not attribute other characteristics to the equipment than those shown by the data contained herein. Its results refer to the time and conditions in which the measurements are made and those in which the measurements were made and those in which the measurements were made. Partial reproduction of this certificate is not allowed. El calibrador que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados. The laboratory that issues it is not responsible for any damages that may arise from the inappropriate use of calibrated instruments.</p>			

Figura 2-49. Ficha técnica horno.
Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Máquina de ensayo a compresión




SERVINTEGRAL LTDA. **ACREDITADO ONAC**
ORGANISMO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD
 ISO/IEC 17025:2007
 11-LAC-011

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN **NUMERO : 6378**

LABORATORIO EMISOR	SERVINTEGRAL LTDA.	
DIRECCIÓN	CARRERA 20 No 39-33 Of: 301 BOGOTÁ D.C. TELÉFONOS: 3382470 - 3382505 - 3382515	

OBJETO DE PRUEBA	MÁQUINA DE ENSAYO A COMPRESIÓN	
FABRICANTE	PINZUAR LTDA	
MODELO	NO PORTA	
SERIE	NO PORTA	
INDICADOR	PINZUAR LTDA	
SERIE INDICADOR	NO PORTA	
ESCALA	1000,0 kN	(1000,0 div)
DIVISIÓN DE ESCALA	0,1 kN	(0,1 div)
RESOLUCIÓN	0,1 kN	(0,1 div)
TRABAJO REALIZADO	CALIBRACION	
NORMA UTILIZADA	NTC ISO 7800-1:2007	
NUMERALES	5.6.7, ANEXO A, ANEXO B y ANEXO D.	
MÉTODO UTILIZADO	COMPARACIÓN DIRECTA	
DIRECCIÓN DE LA CARGA	COMPRESIÓN	
INTERVALO CALIBRADO	10 % AL 88 %	
TEMPERATURA DE PRUEBA	ENTRE 21,0 °C y 21,5 °C	
FECHA DE CALIBRACIÓN	10 de septiembre de 2021	
UNIDAD DE MEDIDA	SISTEMA INTERNACIONAL	
TOTAL PÁGINAS INCLUIDO ANEXOS	SIETE (7)	

PATRONES DE REFERENCIA	Indicador Digital	Transductores de Fuerza
MARCA	HBM	HBM
MODELO	QUANTUM M6540	C16/1MN
CAPACIDAD	4.00000 mV/V	1000 kN
No SELLO DE CALIBRACIÓN		4230
No IDENTIFICACIÓN INTERNA	ID-005	TFC-005
FECHA DE CALIBRACIÓN	2019/10/01	2019/10/01

TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.
 VEREDA LA ESMERALDA SECTOR PLANTA DE TRATAMIENTO CASA
 TOCANCIPÁ - CUNDINAMARCA
 LABORATORIO

Figura 2-50. Ficha técnica ensayo a compresión.
 Fuente: TERRA LABORATORIO E INGENIERIA S.A.S.

FASE III – MODELACIÓN Y DISEÑO DE OBRAS DE INGENIERÍA



CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3. FASE III – MODELACIÓN Y DISEÑO DE OBRAS DE INGENIERÍA

3.1. HIDROLOGIA

El presente apartado contiene el análisis hidráulico sobre el talud adyacente al Punto 35 el cual fue priorizado por la CAR como un punto de mitigación de riesgo bajo el contrato 1633 de 2022 que tiene por objeto la elaboración de estudios y diseños de obras de ingeniería necesarios para el conocimiento y la reducción del riesgo en sitios críticos por procesos de remoción en masa, inundación y avenida torrencial en la cuenca del río Bogotá y otras cuencas priorizadas.

En este punto se presenta un proceso de movimiento en masa en el talud adyacente a la comunidad ubicada en el costado derecho de la Ruta nacional 55, en el kilómetro 35 de la vía Bogotá-Tunja. Este fenómeno se especula es producido por la condición intrínseca del suelo y su humedad, por lo cual en este documento se realizará el diseño del drenaje de escorrentía superficiales que discurren por esta ladera, mediante el diseño de 1 zanja de coronación en el talud superior próximo a la ubicación de las viviendas, el objetivo principal de esta zanja de coronación corresponde a recibir las aguas lluvias provenientes del talud superior y medio, evitando de esta manera que se infiltren en el área donde se presenta el movimiento en masa, y posteriormente disponer de ellas en el alcantarillado y los drenajes naturales existentes en la zona.

El dimensionamiento de la zanja de coronación se llevará a cabo para el caudal asociado al período de retorno de los 10 años (ver tabla 3-1). La dimensión de la cuneta se define con el software $H_{canales}$ y posteriormente se llevará a cabo una comprobación de diseño mediante una modelación hidráulica unidimensional empleando para tal fin el software HEC-RAS 6.1.

Tabla 3-1. Períodos de retorno para diseño de drenajes.

TIPO DE OBRA	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructuras de Caída	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: (Instituto Nacional de Vías, 2009).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.1.1. ALCANCE

De acuerdo con las especificaciones técnicas disponibles para el presente estudio, a continuación, se muestran los alcances esperados de este documento.

1. Recopilación de registros hidrometeorológicos de precipitación, temperatura, evaporación y/o brillo solar, con base en la cual se debe adelantar la respectiva evaluación de los aspectos climatológicos de la zona de estudio.
2. Tratamiento de los datos recopilados, analizando la consistencia de las series de tiempo.
3. Generación de curvas IDF a partir de las estaciones hidro climatológicas seleccionadas más cercanas.
4. Análisis morfométrico y morfodinámico de las cuencas de los cauces priorizados.

3.1.2. GENERALIDADES

En este numeral se presentará la localización de la zona de estudio con una breve descripción de ésta, así como la recopilación y análisis de la información, especialmente la relacionada con las series históricas de los parámetros hidrológicos analizados.

3.1.2.1. LOCALIZACIÓN

Las características climáticas de Colombia están determinadas fundamentalmente por la situación geográfica del país y por sus cadenas montañosas, las cuales modifican en cierto grado las condiciones atmosféricas cerca de la superficie y originan situaciones meteorológicas de carácter local.

Para el estudio hidrológico, el análisis de la localización del área es importante para comprender los principales factores que a nivel regional determinan la hidrología. El Punto 35 se localiza en la zona hidrológica de 2120 del Río Bogotá en la zona hidrográfica del Alto Magdalena.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.1.2.2. MARCO GENERAL DEL CLIMA

Colombia está situada en el trópico americano, donde recibe la influencia de la humedad de los océanos Pacífico y Atlántico y de la cuenca hidrográfica Amazónica. En esta zona los vientos alisios juegan un papel importante en el transporte de humedad, y la presencia de los tres ramales de la cordillera de los Andes induce la formación de climas locales y regionales complejos que son difíciles de predecir a distintas escalas temporales (Poveda, 2004). Igualmente, diferentes fenómenos y/o condiciones hacen variable el clima y la hidrología al interior del país en diferentes escalas temporales.

A una escala inter-decadal, el cambio climático y el cambio ambiental global de largo plazo condicionan la hidroclimatología global y de Colombia. En trabajos realizados por diferentes autores a finales del siglo pasado, mediante análisis estadísticos se estudiaron registros de diversas variables climáticas de Colombia para los anteriores 30-40 años (Poveda, 2004). En estos estudios se identificaron tendencias crecientes en las temperaturas mínimas y medias, así como la humedad relativa del aire. De manera similar, las series de precipitaciones indicaron tendencias positivas y negativas, y de forma menos clara, los caudales de las principales cuencas hidrográficas del país tendencias decrecientes. Asimismo, se han identificado cambios en la fase y amplitud de los ciclos climáticos anuales. Cabe resaltar que otros fenómenos naturales como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) hacen parte de la variabilidad natural del clima en la Tierra y, por consiguiente, de Colombia.

La escala interanual del clima y la hidrología en Colombia (y a nivel global) está dominada por el fenómeno El Niño/La Niña – Oscilación del Sur (ENOS). Se manifiesta con variaciones anómalas de la presión atmosférica y de la temperatura en la superficie del océano Pacífico tropical (El Niño describe la fase cálida, La Niña la fase fría), con una recurrencia entre 2 y 2.5 años y una frecuencia entre 4 y 5 años (Poveda, 2004). Se ha podido identificar que cuando se presenta el fenómeno El Niño hay una clara tendencia hacia la disminución generalizada de los volúmenes de precipitación, particularmente en las regiones Andina y Caribe, y las lluvias son más abundantes de lo normal en el sur de la región Pacífica, el suroccidente de la Amazonia colombiana y en algunas áreas del piedemonte llanero (Montealegre Bocanegra, 2014). El análisis de la fase fría (La Niña) permite establecer que el efecto climático se traduce en los excedentes de agua lluvia que

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

se registran durante gran parte del periodo de permanencia del evento, en las regiones Andina, Caribe y Pacífica.

El ciclo hidro climatológico anual de Colombia está dominado principalmente por la migración latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (región donde convergen los vientos alisios de los hemisferios norte y sur), la actividad del Chorro del Chocó y los sistemas convectivos de mesoescala (Poveda, 2004). Sin embargo, otros procesos como la interacción suelo-atmósfera regulan la hidrología anual del país.

En términos específicos, Cundinamarca presenta un patrón muy variado en cuanto a volúmenes de lluvia se refiere. El núcleo de menores lluvias ocupa la franja central (Sabana de Bogotá), con cantidades anuales menores a los 1000 mm. Hacia el oriente y occidente en dirección a las vertientes de la cordillera oriental las lluvias se incrementan con valores cercanos a los 4000 mm, y hacia la vertiente occidental se registran alrededor de 3000 mm de lluvia al año. El régimen de lluvias en la franja central es de tipo bimodal con dos temporadas secas en diciembre-marzo y junio-agosto, mientras que al oriente el régimen es de tipo monomodal con una temporada seca en diciembre-marzo y máximos de lluvia en los meses de junio y julio (IDEAM, 2022).

Por otro lado, la clasificación climatológica de Cundinamarca es variable en menor medida. La mayor parte de la zona central es de clima frío semiárido, los sitios localizados a mayor altura pertenecen a climas muy fríos húmedos y semihúmedos, el clima es de tipo cálido árido al suroccidente y de tipo cálido húmedo al noroccidente, y al extremo oriental el clima es cálido húmedo (IDEAM, 2022).

3.1.2.3. INVENTARIO DE INFORMACIÓN

La metodología general consistió en la implementación de los pasos seguidos frecuentemente por la mayoría de los estudios climáticos e hidrológicos. Con éstos, el análisis de un elemento meteorológico o hídrico se basa en los resultados de un proceso que incluye el inventario, la depuración, la selección del período de estudio y la estimación de datos que falten en la serie estudiada (Eslava et al., 1985). Se realizó una revisión de las estaciones disponibles en un radio de 2 km de microcuenca del Punto 35, donde se seleccionaron 3 estaciones. Esto debido a que en otros puntos de información cercanos no

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

hay datos para las variables necesarias para el análisis, o la frecuencia temporal de éstos no es la adecuada. En el **Anexo 1. Inventario de información hidro climatológica** se presenta el listado de las estaciones que cumplen con el anterior criterio, de las cuales la totalidad son operadas por el IDEAM y son de tipo climatológica ordinaria, pluviométrica y meteorológica. De acuerdo con lo anterior, se solicitó al IDEAM la información hidroclimática disponible en las estaciones identificadas. En la siguiente Figura se presenta la localización de las estaciones consideradas.

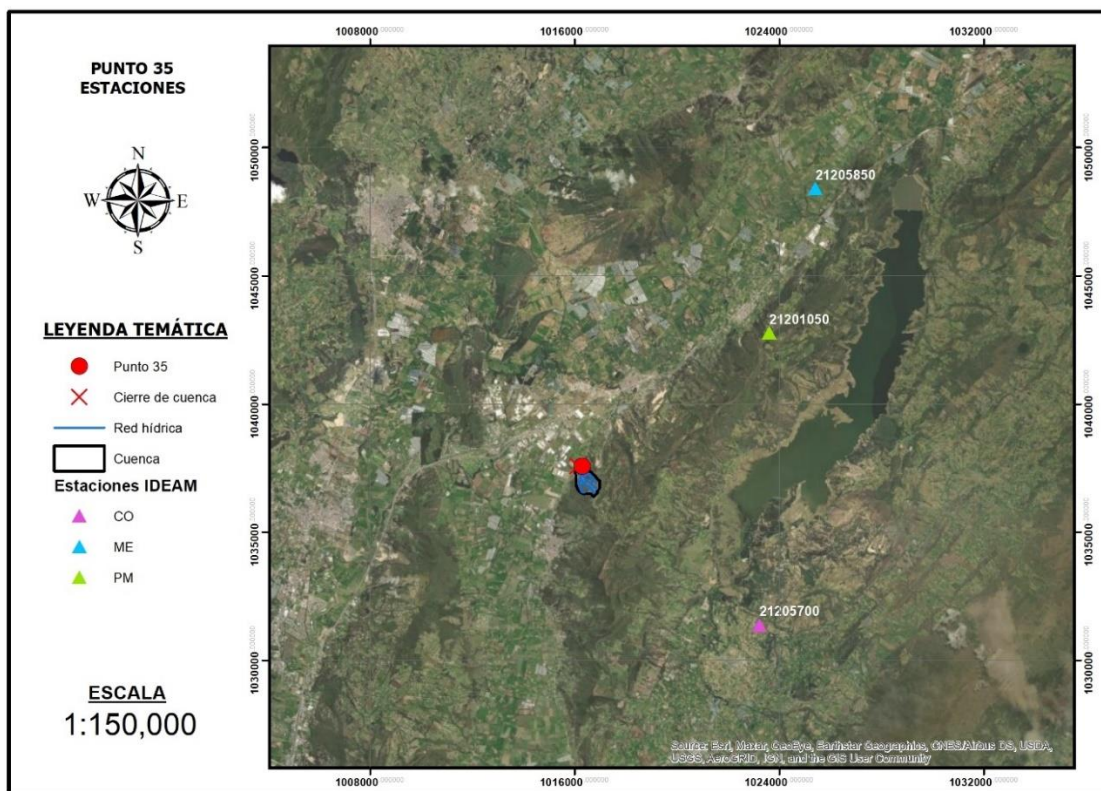


Figura 3-1. Localización de estaciones cercanas al área aferente.
Fuente. Propia. CO: Climática ordinaria; ME: Meteorológica; PM: Pluviométrica.

A continuación, se señalan las características de las estaciones de las cuales se obtuvo información, una vez realizada la solicitud respectiva al IDEAM.

Tabla 3-2. Estaciones con información disponible

Código	Categoría	Nombre	Departamento	Fecha ins.	Entidad
21205700	CO	GUASCA	Cundinamarca	15/07/1974	IDEAM
21201050	PM	LOURDES	Cundinamarca	15/03/1985	IDEAM
21205850	ME	COLOMBIANO EL	Cundinamarca	15/09/1976	IDEAM

Fuente: Propia. CO: Climática ordinaria; ME: Meteorológica; PM: Pluviométrica.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-3. Características geográficas de estaciones disponibles

Código	Nombre	Altitud	Latitud	Longitud
21205700	GUASCA	2750	4.879861	-73.8681
21201050	LOURDES	2750	4.982889	-73.8647
21205850	COLOMBIANO EL	2567	5.033889	-73.8482

Fuente: Propia.

Después de la consulta y respuesta del IDEAM, con la información entregada por esta entidad se generó un inventario de los registros por variable climática disponibles para el estudio en cada una de las estaciones identificadas, presentado en la siguiente tabla.

Tabla 3-4. Inventario por variable climática

Código	Tipo de dato	Frecuencia temporal	Variable						
			EV	HR	NB	PT	TR	TS	TV
21201050	Medios	Diario							
	Totales	Diario				X			
21205700	Máximos	Diario						X	
	Medios	Diario					X		X
	Mínimos	Diario						X	
	Totales	Diario	X		X	X			
21205850	Máximos	Diario							
	Medios	Diario		X					
	Totales	Diario				X			

Fuente: propia. La “X” representa existencia de información. EV: Evaporación; HR: Humedad relativa; NB: Nubosidad; PT: Precipitación; TR: Temperatura del punto de rocío; TS: Temperatura seca; TV: Tensión del vapor.

En el **Anexo 1. Inventario de información hidro climatológica** se presenta la información original entregada por el IDEAM. La nomenclatura usada para cada serie de tiempo está relacionada a la que tiene el IDEAM para la identificación de la serie de datos, por lo cual, para este estudio se adecuó de la siguiente forma: los dos primeros caracteres corresponden a la variable (por ejemplo, HR, PT y EV), el siguiente dígito corresponde al tipo de dato (1 promedio, 2 máximo, 4 total y 8 mínimo), los siguientes 8 dígitos corresponden al código de la estación asignado por el IDEAM y el último dígito corresponde a la frecuencia temporal de la serie (5 diaria y 8 mensual).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.1.2.4. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

El control de calidad supone un paso necesario e imprescindible para el correcto análisis de las series hidro climatológicas (López Lineros et al., 2014). Debe realizarse como actividad previa a los procesos de homogenización y permite eliminar errores no sistemáticos, entendiendo como tales aquellos que comprometen la validez de valores puntuales por causas diversas, aunque frecuentemente relacionadas con errores de digitalización o manipulación de las bases de datos. El control de calidad, que consiste en someter a las series a inspección visual mediante gráficas específicas y a pruebas estadísticas simples, permite anticipar problemas de continuidad u homogeneidad que las mismas puedan presentar.

3.1.2.4.1. ANÁLISIS DE DATOS FALTANTES

A las series de registro climático disponibles se le realizó un análisis de datos faltantes para identificar la longitud y de ésta seleccionar las series más largas. En la siguiente tabla se presentan las series hidroclimáticas disponibles indicando la fecha de inicio, la fecha finalización, el número de datos faltantes en la serie y en una ventana de tiempo arbitraria para el período entre 1990 y 2021. Asimismo, en la siguiente Figura se muestra en forma gráfica la longitud de las series seleccionadas de esta variable.

Tabla 3-5. Resultados de análisis de datos faltantes

Serie	Inicio	Fin	Años	Longitud	Registro	Faltantes [%]
EV4212057005	1/1/11	12/31/19	9	3287	1509	54.1
HR1212058505	1/1/98	12/31/13	16	5844	3555	39.2
NB4212057005	1/1/95	12/31/19	25	9131	7803	14.5
PT4212010505	1/1/85	12/31/20	36	13149	12550	4.6
PT4212057005	1/1/74	12/31/21	48	17532	16025	8.6
PT4212058505	1/1/87	12/31/13	27	9862	8535	13.5
TR1212057005	1/1/83	12/31/19	37	13514	13422	0.7
TS2212057005	1/1/83	12/31/21	39	14245	9615	32.5
TS8212057005	1/1/83	12/31/21	39	14245	9615	32.5
TV1212057005	1/1/83	12/31/19	37	13514	13422	0.7

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

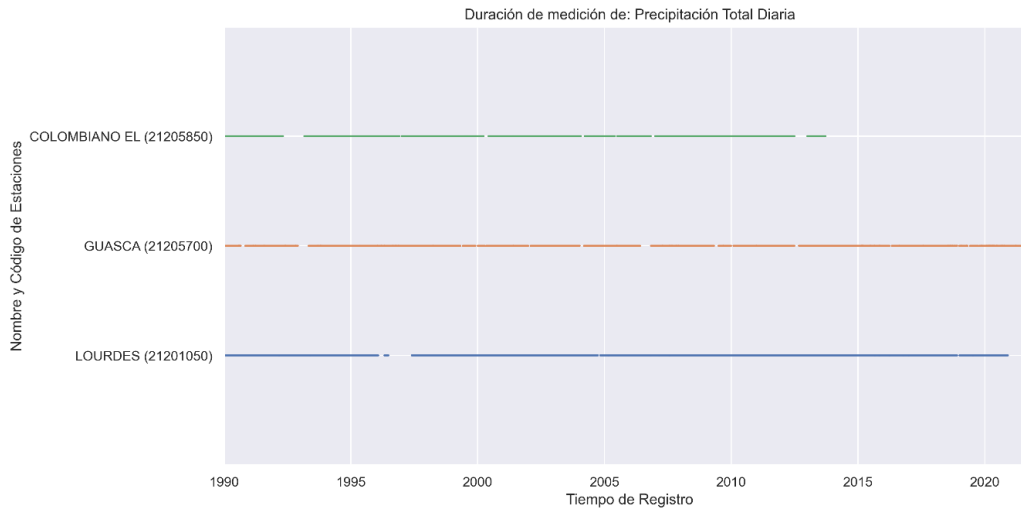


Figura 3-2. Análisis gráfico de la longitud de las series hidroclimáticas disponibles
Fuente: Propia.

3.1.2.4.2. INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual de las series de tiempo de los datos representados gráficamente permite rápidamente la detección de datos sospechosos, además, la comparación de series de estaciones adyacentes puede brindar información acerca de la coherencia entre estaciones. Para la inspección visual, además de la gráfica de los datos ordenados cronológicamente, se grafica la serie de tiempo desestacionalizada, la cual es obtenida al centralizar la serie de tiempo con respecto a las medias de largo plazo de esta. **En el Anexo 2. Series de tiempo** contiene las gráficas de las series de tiempo de todas las estaciones analizadas en el presente estudio. A modo de ejemplo, en la siguiente Figura se presenta el caso de la serie PT4212010505.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

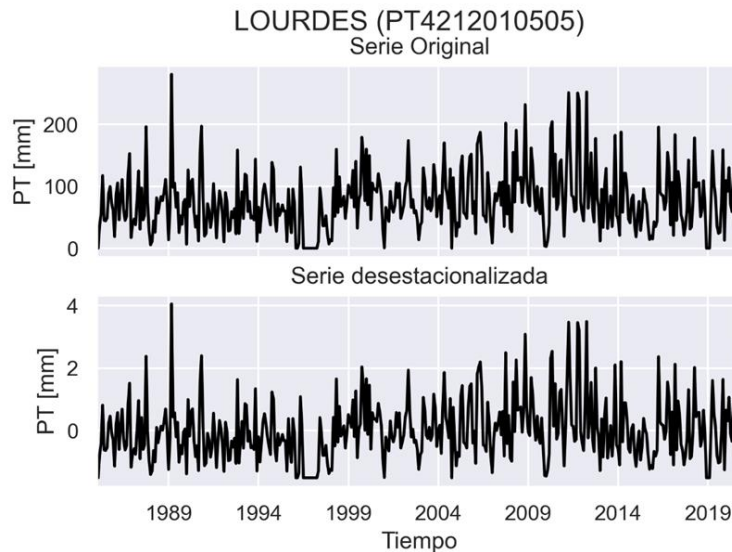


Figura 3-3. Ejemplo de series de tiempo original y series desestacionalizadas.
Fuente: Propia.

De acuerdo con la inspección visual preliminar de la serie, se puede observar que la serie de precipitación es relativamente consistente en el tiempo.

3.1.2.4.3. CURVA DE MASA SIMPLE

En este procedimiento, además de la gráfica de los datos ordenados cronológicamente, se grafica la curva de masa para las variables estudiadas, la cual es una gráfica de la variable acumulada en el tiempo, considerando cualquier cambio prolongado en la pendiente como sospechoso o como una fuente de error (Castro & Carvajal Escobar, 2010).

Para la serie de precipitación disponible, en general se aprecia una curva de masa estable y sin cambios significativos en su estructura. En la siguiente Figura se presenta la curva de masa realizada para la serie PT4212010505, dejando ver una relativa homogeneidad con bajo número de valores faltantes. En el **Anexo 2. Series de tiempo** se presentan las curvas de masa para las series disponibles, observándose para algunas series curvas incompletas, con cambios bruscos en la pendiente que no permiten, un adecuado ajuste o identificación de las causas, su utilización en el presente informe.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

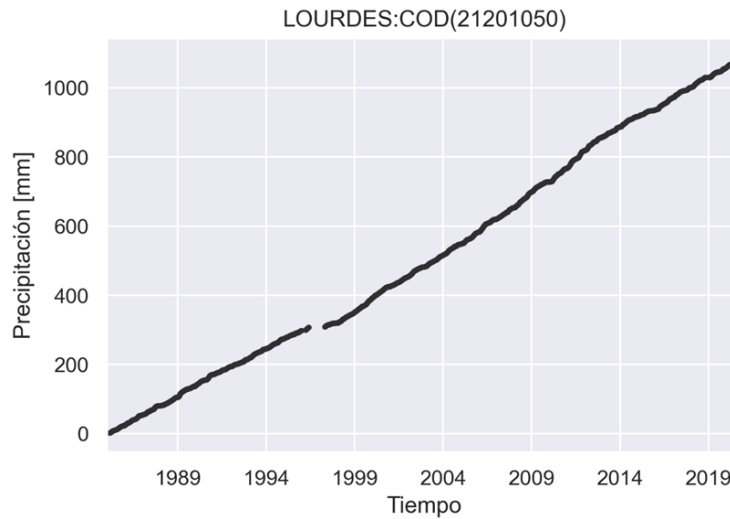


Figura 3-4. Curvas de masa simple.
Fuente: Propia.

3.1.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS

De acuerdo con la información disponible para el análisis de hidrológico, se presentan los resultados del análisis de variables climatológicas.

3.1.3.1. EVAPORACIÓN TOTAL

Para el análisis de la evaporación total se contó con 1 estación con registros para el período 1990-2021. Para la estación GUASCA (21205700), el promedio anual es de 586.7 mm, siendo el promedio mensual más bajo de 28.9mm que se presenta en el mes de julio, mientras que el promedio mensual más alto es de 72.1 mm que se presenta en el mes de marzo. En la siguiente Tabla se presenta la evaporación total mensual promedio multianual y en la siguiente Figura la variación temporal la variable.

Tabla 3-6. Evaporación total mensual [mm/mes] promedio multianual [1990-2021]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
GUASCA (21205700)	70.8	70.4	72.1	35.4	62.2	44.5	28.9
Estación	Ago	Sep.	Oct	Nov	Dic	Anual	
GUASCA (21205700)	33.1	35.3	35.6	49.6	49.0	586.7	

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

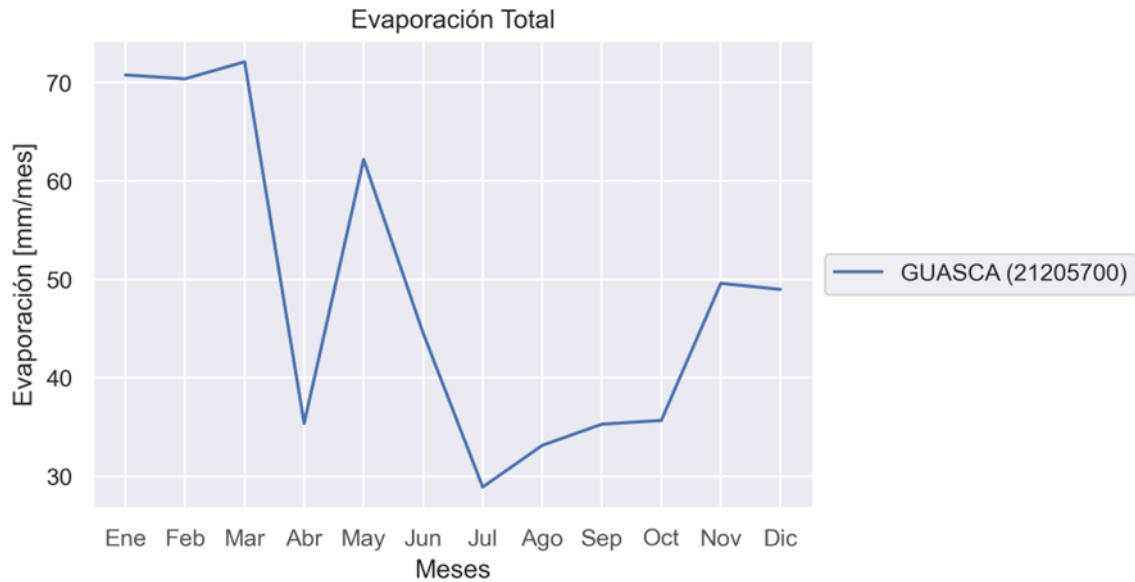


Figura 3-5. Variación temporal de la evaporación total mensual promedio multianual [1990-2021]
Fuente: Propia.

La estación climatológica ordinaria GUASCA se ubica afuera de la cuenca, en la vereda FLORES del municipio de GUASCA a una altura sobre el nivel del mar de 2750 msnm.

3.1.3.2. HUMEDAD RELATIVA MEDIA

Para el análisis de la humedad relativa media se contó con 1 estación con registros para el período 1990-2021. Para la estación COLOMBIANO EL (21205850), el promedio anual es de 92.5%, siendo el promedio mensual más bajo de 91.2% que se presenta en el mes de mayo, mientras que el promedio mensual más alto es de 94.5% que se presenta en el mes de septiembre. En la siguiente Tabla se presenta la humedad relativa media mensual promedio multianual y en la siguiente Figura la variación temporal de la variable.

Tabla 3-7. Humedad relativa media mensual [%/mes] promedio multianual [1990-2021]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
COLOMBIANO EL (21205850)	92.0	92.5	91.7	91.5	91.2	91.6	92.9
Estación	Ago	Sep.	Oct	Nov	Dic	Anual	
COLOMBIANO EL (21205850)	91.9	94.5	92.7	93.8	93.3	92.5	

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

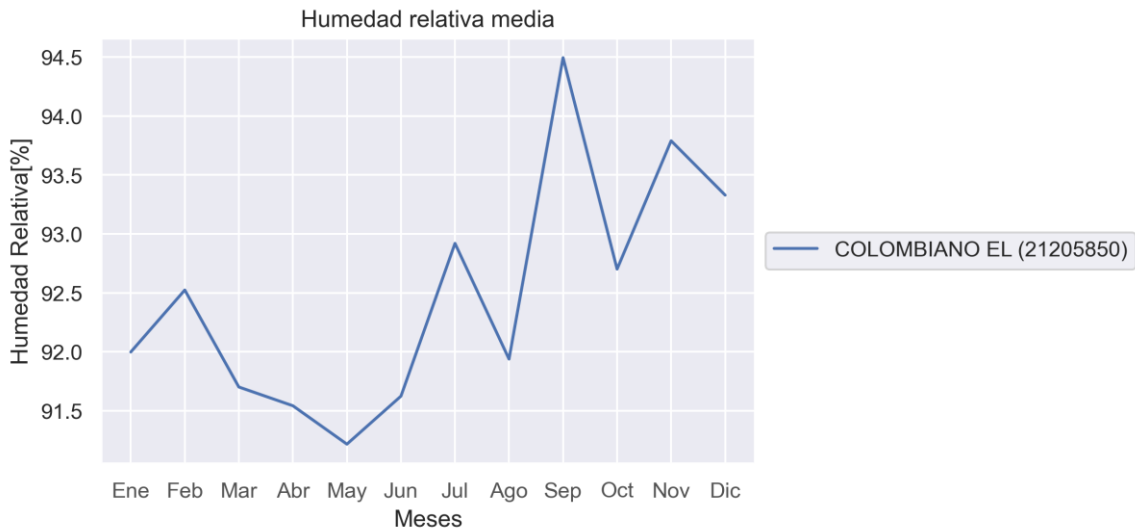


Figura 3-6. Variación temporal de la Humedad relativa media mensual promedio multianual [1990-2021]
Fuente: Propia.

3.1.3.3. NUBOSIDAD TOTAL

Para el análisis de la nubosidad total se contó con 1 estación con registros para el período 1990-2021. Para la estación GUASCA (21205700), el promedio anual es de 2.4 Octas, siendo el promedio mensual más bajo de 2.1 Octas que se presenta en el mes de enero, mientras que el promedio mensual más alto es de 2.6 Octas que se presenta en el mes de junio. En la siguiente Tabla se presenta la nubosidad total mensual promedio multianual y en la siguiente Figura la variación temporal de la variable.

Tabla 3-8. Nubosidad total mensual [Octas/mes] promedio multianual [1990-2021]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
GUASCA (21205700)	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6
Estación	Ago	Sep.	Oct	Nov	Dic	Anual	
GUASCA (21205700)	2.5	2.5	2.4	2.4	2.2	2.4	

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

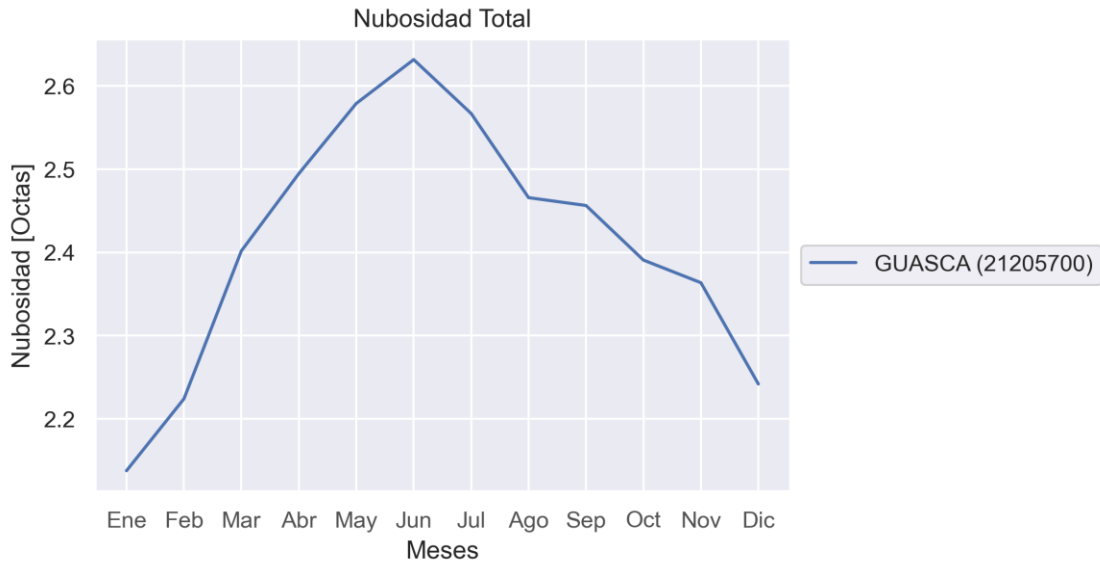


Figura 3-7. Variación temporal de la Nubosidad Total mensual promedio multianual [1990-2021].
Fuente: Propia.

3.1.3.4. PRECIPITACIÓN TOTAL

Para el análisis de la precipitación total se contó con 3 estaciones con registros para el período 1990-2021. A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de 818.5 mm/año, con un valor máximo de 930.9 mm/año reportado en la estación de LOURDES (21201050) y un valor mínimo de 758.0 mm/año reportado en la estación de GUASCA (21205700). El promedio mensual más bajo es de 24.4mm/mes y se presenta en el mes de diciembre para la estación de COLOMBIANO EL (21205850), mientras que el promedio mensual más alto es de 110.9mm/mes que se presenta en el mes de noviembre en la estación de LOURDES (21201050). En la siguiente Tabla se presenta la precipitación total mensual promedio multianual y en la siguiente Figura la variación temporal de la variable.

Tabla 3-9. Precipitación total mensual [mm/mes] promedio multianual [1990-2021]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
LOURDES (21201050)	45.3	48.4	89.4	104.8	108.1	85.1	75.9
GUASCA (21205700)	29.9	42.3	71.4	81.4	93.3	74.5	71.2
COLOMBIANO EL (21205850)	35.5	37.7	72.3	107.1	93.0	61.6	61.9
Estación	Ago	Sep.	Oct	Nov	Dic	Anual	
LOURDES (21201050)	58.3	59.1	96.3	110.9	49.3	930.9	
GUASCA (21205700)	54.1	42.1	71.0	86.7	40.1	758.0	
COLOMBIANO EL (21205850)	56.2	52.3	92.3	72.2	24.4	766.6	

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

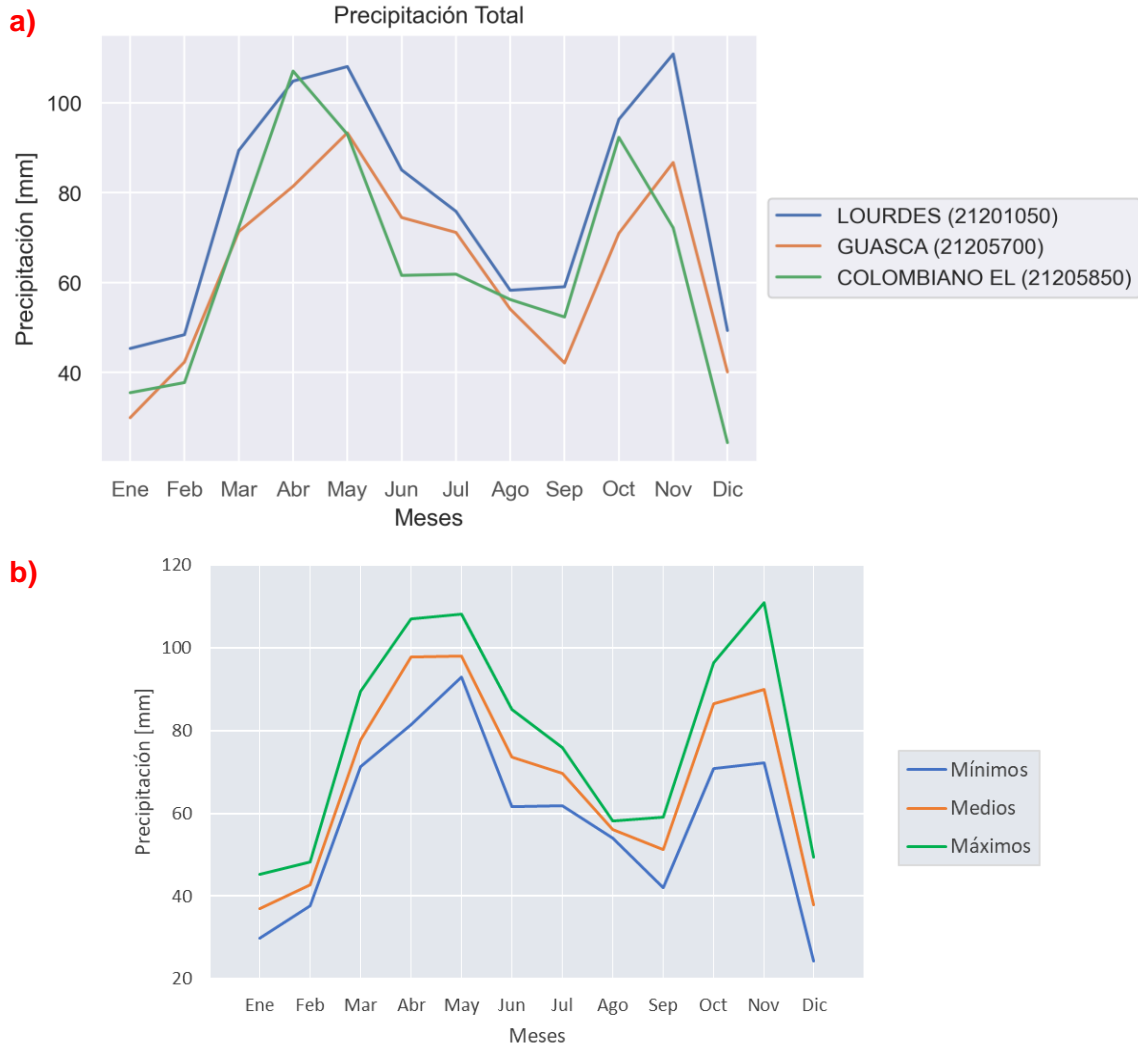


Figura 3-8. a) Variación temporal de la Precipitación Total mensual promedio multianual [1990-2021] y b) valores mínimos, medios y máximos de la variable.

Fuente: Propia.

La estación pluviométrica LOURDES se ubica afuera de la cuenca, en la vereda SAN BARTOLOME del municipio de GACHANCIPÁ a una altura sobre el nivel del mar de 2750 msnm, en la subzona hidrográfica Río Bogotá. La precipitación total anual en la estación LOURDES (21201050) es de 930.9 mm/año, siendo el valor mensual mínimo de 45.3 mm/mes que presenta en el mes de enero, y el valor mensual más alto de 110.9 mm/mes que se presenta en el mes de noviembre, la variación intraanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 65.5 mm, presentando un régimen bimodal con 6 meses (MAR,

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

ABR, MAY, JUN, OCT, NOV) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 6 meses (ENE, FEB, JUL, AGO, SEP, DIC) con valores menores al promedio mensual.

La estación climatológica Ordinaria GUASCA se ubica afuera de la cuenca, en la vereda FLORES del municipio de GUASCA a una altura sobre el nivel del mar de 2750 msnm, en la subzona hidrográfica Río Bogotá. La precipitación total anual en la estación GUASCA (21205700) es de 758.0 mm/año, siendo el valor mensual mínimo de 29.9 mm/mes que presenta en el mes de enero, y el valor mensual más alto de 93.3 mm/mes que se presenta en el mes de mayo, la variación intraanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 63.4 mm, presentando un régimen bimodal con 7 meses (MAR, ABR, MAY, JUN, JUL, OCT, NOV) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 5 meses (ENE, FEB, AGO, SEP, DIC) con valores menores al promedio mensual.

La estación Meteorológica COLOMBIANO EL se ubica afuera de la cuenca, en la vereda BOITA del municipio de SESQUILÉ a una altura sobre el nivel del mar de 2567 msnm, en la subzona hidrográfica Río Bogotá. La precipitación total anual en la estación COLOMBIANO EL (21205850) es de 766.6 mm/año, siendo el valor mensual mínimo de 24.4 mm/mes que presenta en el mes de diciembre, y el valor mensual más alto de 107.1 mm/mes que se presenta en el mes de abril, la variación intraanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 82.7 mm, presentando un régimen bimodal con 5 meses (MAR, ABR, MAY, OCT, NOV) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 7 meses (ENE, FEB, JUN, JUL, AGO, SEP, DIC) con valores menores al promedio mensual.

3.1.3.5. PRECIPITACIÓN NÚMERO DE DÍAS

Para el análisis de la precipitación número de días se contó con 3 estaciones con registros para el período 1990-2021. A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de 165.4 días/año, con un valor máximo de 169.7 días/año reportado en la estación de GUASCA (21205700) y un valor mínimo de 159.6 días/año reportado en la estación de LOURDES (21201050). El promedio mensual más bajo es de 6.1 días/mes y se presenta en el mes de enero para la estación de COLOMBIANO EL (21205850), mientras que el promedio mensual más alto es de 20.7 días/mes que se presenta en el mes de julio en la estación de GUASCA (21205700). En la siguiente Tabla se presenta la precipitación

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

número de días mensual promedio multianual y en la siguiente Figura la variación temporal de la variable.

Tabla 3-10. Precipitación número de días mensual [días/mes] promedio multianual [1990-2021]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
LOURDES (21201050)	7.3	7.7	11.5	14.3	18.0	18.7	18.4
GUASCA (21205700)	7.3	8.2	12.8	14.9	19.1	19.8	20.7
COLOMBIANO EL (21205850)	6.1	7.7	13.2	16.3	19.7	19.2	19.6
Estación	Ago	Sep.	Oct	Nov	Dic	Anual	
LOURDES (21201050)	16.4	12.5	12.1	14.2	8.7	159.6	
GUASCA (21205700)	18.1	13.2	12.7	14.5	8.5	169.7	
COLOMBIANO EL (21205850)	18.4	13.5	14.3	12.7	6.2	166.9	

Fuente: Propia.

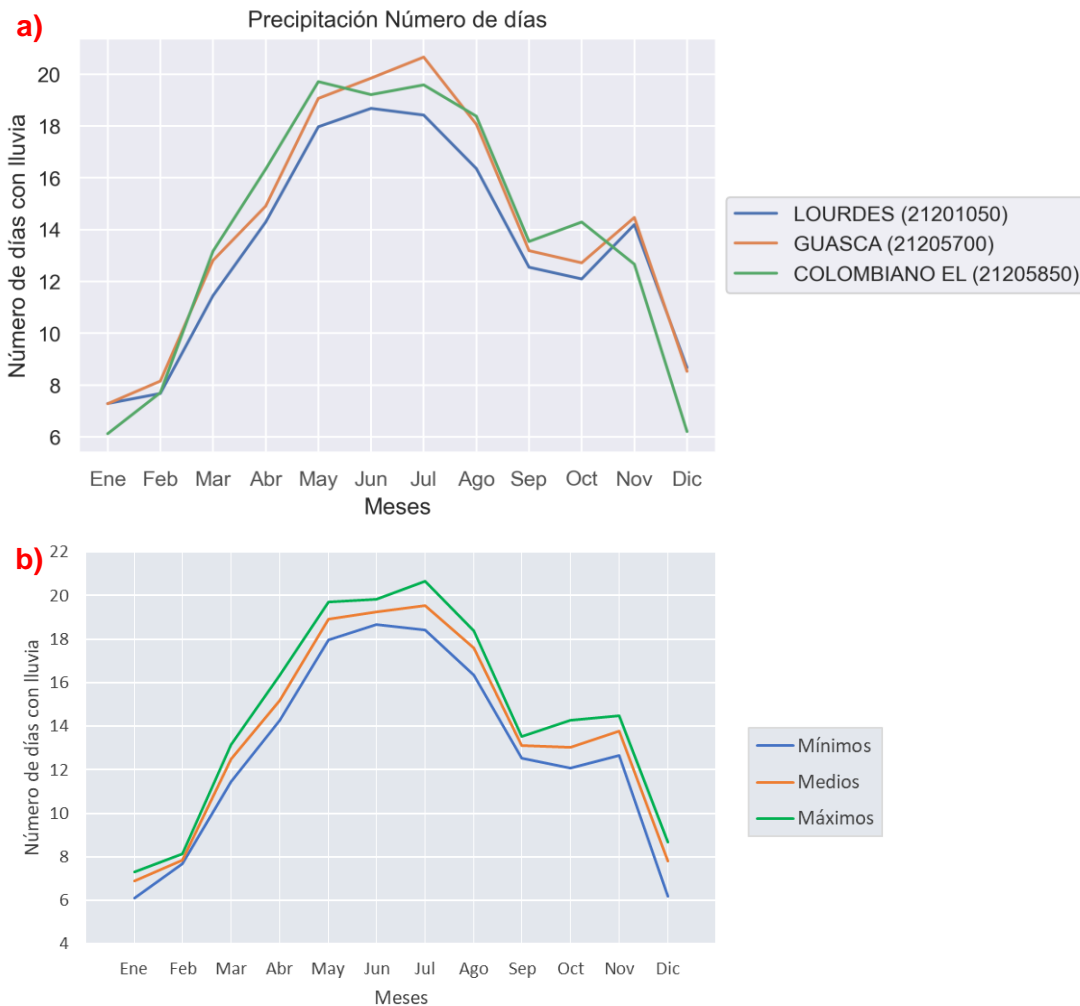


Figura 3-9. Variación temporal de la precipitación número de días mensual promedio multianual [1990-2021] y b) valores mínimos, medios y máximos de la variable.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

La estación pluviométrica LOURDES se ubica afuera de la cuenca, en la vereda SAN BARTOLOME del municipio de GACHANCIPÁ a una altura sobre el nivel del mar de 2750 msnm, en la subzona hidrográfica Río Bogotá. La precipitación promedio anual en la estación LOURDES (21201050) es de 159.6 días/año, siendo el valor mensual mínimo de 7.3 días/mes que presenta en el mes de enero, y el valor mensual más alto de 18.7 días/mes que se presenta en el mes de junio, la variación intraanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 11.4 días, presentando un régimen monomodal con 6 meses (ABR, MAY, JUN, JUL, AGO, NOV) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 6 meses (ENE, FEB, MAR, SEP, OCT, DIC) con valores menores al promedio mensual.

La estación climatológica ordinaria GUASCA se ubica afuera de la cuenca, en la vereda FLORES del municipio de GUASCA a una altura sobre el nivel del mar de 2750 msnm, en la subzona hidrográfica Río Bogotá. La precipitación promedio anual en la estación GUASCA (21205700) es de 169.7 días/año, siendo el valor mensual mínimo de 7.3 días/mes que presenta en el mes de enero, y el valor mensual más alto de 20.7 días/mes que se presenta en el mes de julio, la variación intraanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 13.4 días, presentando un régimen monomodal con 6 meses (ABR, MAY, JUN, JUL, AGO, NOV) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 6 meses (ENE, FEB, MAR, SEP, OCT, DIC) con valores menores al promedio mensual.

La estación meteorológica COLOMBIANO EL se ubica afuera de la cuenca, en la vereda BOITA del municipio de SESQUILÉ a una altura sobre el nivel del mar de 2567 msnm, en la subzona hidrográfica Río Bogotá. La precipitación promedio anual en la estación COLOMBIANO EL (21205850) es de 166.9 días/año, siendo el valor mensual mínimo de 6.1 días/mes que presenta en el mes de enero, y el valor mensual más alto de 19.7 días/mes que se presenta en el mes de mayo, la variación intraanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 13.6 días, presentando un régimen monomodal con 6 meses (ABR, MAY, JUN, JUL, AGO, OCT) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 6 meses (ENE, FEB, MAR, SEP, NOV, DIC) con valores menores al promedio mensual.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.1.3.6. PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

Para el análisis de la precipitación máxima en 24 horas se contó con 3 estaciones con registros para el período 1990-2021. A nivel anual, el promedio de las 3 estaciones disponibles es de 28.5 mm/día/año, con un valor máximo de 30.1 mm/día/año reportado en la estación de COLOMBIANO EL (21205850) y un valor mínimo de 25.3 mm/día/año reportado en la estación de GUASCA (21205700). El promedio mensual más bajo es de 10.9 mm/día/mes y se presenta en el mes de diciembre para la estación de COLOMBIANO EL (21205850), mientras que el promedio mensual más alto es de 30.1 mm/día/mes que se presenta en el mes de abril en la estación de COLOMBIANO EL (21205850). En la siguiente Tabla se presenta la precipitación máxima en 24 horas mensual promedio multianual y en la siguiente Figura la variación temporal de la variable.

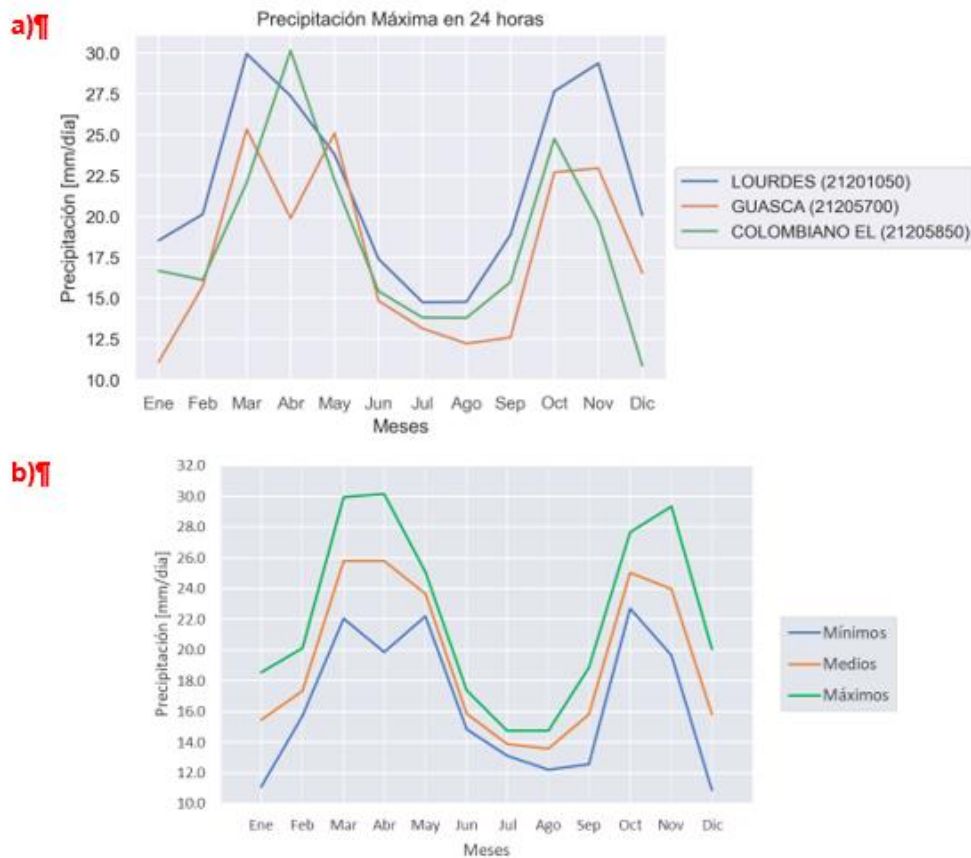


Figura 3-10. Variación temporal de la precipitación máxima en 24 horas mensual promedio multianual [1990-2021] y b) valores mínimos, medios y máximos de la variable.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-11. Precipitación máxima en 24 horas mensual [mm/día/mes] promedio multianual [1990-2021]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
LOURDES (21201050)	18.5	20.1	29.9	27.4	23.8	17.4	14.8
GUASCA (21205700)	11.1	15.7	25.3	19.9	25.1	14.8	13.1
COLOMBIANO EL (21205850)	16.7	16.1	22.1	30.1	22.2	15.4	13.8
Estación	Ago	Sep.	Oct	Nov	Dic	Anual	
LOURDES (21201050)	14.8	18.9	27.7	29.4	20.1	29.9	
GUASCA (21205700)	12.2	12.6	22.7	22.9	16.6	25.3	
COLOMBIANO EL (21205850)	13.8	16.0	24.7	19.7	10.9	30.1	

Fuente: Propia.

La estación pluviométrica LOURDES se ubica afuera de la cuenca, en la vereda SAN BARTOLOME del municipio de GACHANCIPÁ a una altura sobre el nivel del mar de 2750 msnm, en la subzona hidrográfica Río Bogotá. La precipitación promedio anual en la estación LOURDES (21201050) es de 29.9 mm/día/año, siendo el valor mensual mínimo de 14.8 mm/día/mes que presenta en el mes de julio, y el valor mensual más alto de 29.9 mm/día/mes que se presenta en el mes de marzo, la variación intraanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 15.2 mm/día, presentando un régimen bimodal con 5 meses (MAR, ABR, MAY, OCT, NOV) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 7 meses (ENE, FEB, JUN, JUL, AGO, SEP, DIC) con valores menores al promedio mensual.

La estación climatológica ordinaria GUASCA se ubica afuera de la cuenca, en la vereda FLORES del municipio de GUASCA a una altura sobre el nivel del mar de 2750 msnm, en la subzona hidrográfica Río Bogotá. La precipitación promedio anual en la estación GUASCA (21205700) es de 25.3 mm/día/año, siendo el valor mensual mínimo de 11.1 mm/día/mes que presenta en el mes de enero, y el valor mensual más alto de 25.3 mm/día/mes que se presenta en el mes de marzo, la variación intraanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 14.2 mm/día, presentando un régimen bimodal con 5 meses (MAR, ABR, MAY, OCT, NOV) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 7 meses (ENE, FEB, JUN, JUL, AGO, SEP, DIC) con valores menores al promedio mensual.

La estación meteorológica COLOMBIANO EL se ubica afuera de la cuenca, en la vereda BOITA del municipio de SESQUILÉ a una altura sobre el nivel del mar de 2567 msnm, en la subzona hidrográfica Río Bogotá.

La precipitación promedio anual en la estación COLOMBIANO EL (21205850) es de 30.1 mm/día/año, siendo el valor mensual mínimo de 10.9 mm/día/mes que presenta en el mes

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

de diciembre, y el valor mensual más alto de 30.1 mm/día/mes que se presenta en el mes de abril, la variación intraanual (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) es 19.3 mm/día, presentando un régimen bimodal con 5 meses (MAR, ABR, MAY, OCT, NOV) con valores mayores al promedio mensual y los restantes 7 meses (ENE, FEB, JUN, JUL, AGO, SEP, DIC) con valores menores al promedio mensual.

La estación Lourdes (21201050) se encuentra a 3.2 km del centroide de la microcuenca del punto de estudio por lo cual se toma como la estación representativa para la estimación de caudales.

La siguiente Figura presenta la variación anual de la precipitación máxima en 24 horas en la estación LOURDES (21201050). El número de registros disponible fue de 31, para el cual el promedio de precipitación máxima en 24 horas es de 46.18 mm/día, con valor máximo de 68.20 mm/día que se presentó en 2014 y un valor mínimo de 24.00 mm/día que se presenta en el 1997.

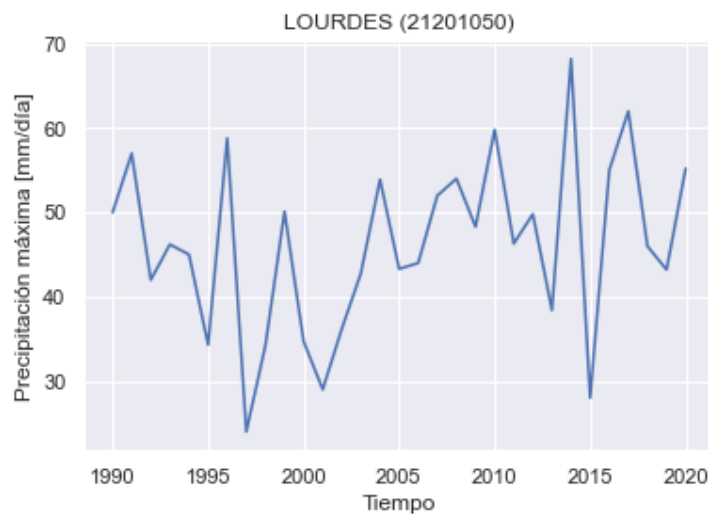


Figura 3-11. Serie de precipitación máxima en 24 horas anual.
Fuente: Propia.

3.1.3.7. TEMPERATURA DE ROCÍO MEDIA

Para el análisis de la temperatura de rocío media se contó con 1 estación con registros para el período 1990-2021. Para la estación GUASCA (21205700), el promedio anual es de 22.8 °C, siendo el promedio mensual más bajo de 18.4 °C que se presenta en el mes de

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

enero, mientras que el promedio mensual más alto es de 26.2 °C que se presenta en el mes de noviembre. En la siguiente Tabla se presenta la temperatura de rocío media mensual promedio multianual y en la siguiente Figura la variación temporal de la variable.

Tabla 3-12. Temperatura de rocío media mensual [°C/mes] promedio multianual [1990-2021]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
GUASCA (21205700)	18.4	20.1	21.9	23.4	23.2	23.6	24.1
Estación	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
GUASCA (21205700)	23.8	22.5	22.7	26.2	23.2	22.8	

Fuente: Propia.

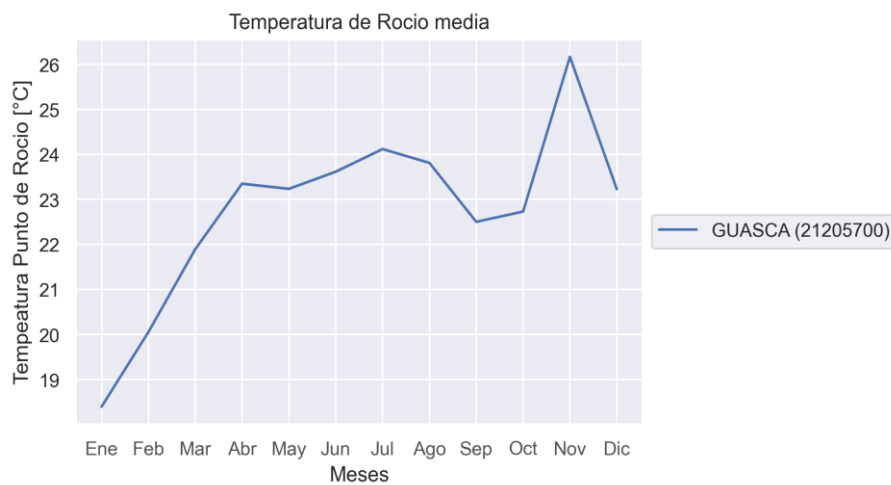


Figura 3-12. Variación temporal de la temperatura de rocío media mensual promedio multianual [1990-2021]

Fuente: Propia.

3.1.3.8. TEMPERATURA MÁXIMA

Para el análisis de la temperatura máxima se contó con 1 estación con registros para el período 1990-2021. Para la estación GUASCA (21205700), el promedio anual es de 21.2 °C, siendo el promedio mensual más bajo de 17.7 °C que se presenta en el mes de julio, mientras que el promedio mensual más alto es de 21.2 °C que se presenta en el mes de febrero. En la siguiente Tabla se presenta la temperatura máxima mensual promedio multianual y en la siguiente Figura la variación temporal de la variable.

Tabla 3-13. Temperatura máxima mensual [°C/mes] promedio multianual [1990-2021]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
GUASCA (21205700)	20.9	21.2	20.6	19.7	19.6	17.9	17.7
Estación	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
GUASCA (21205700)	18.3	19.0	19.8	20.7	20.5	21.2	

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

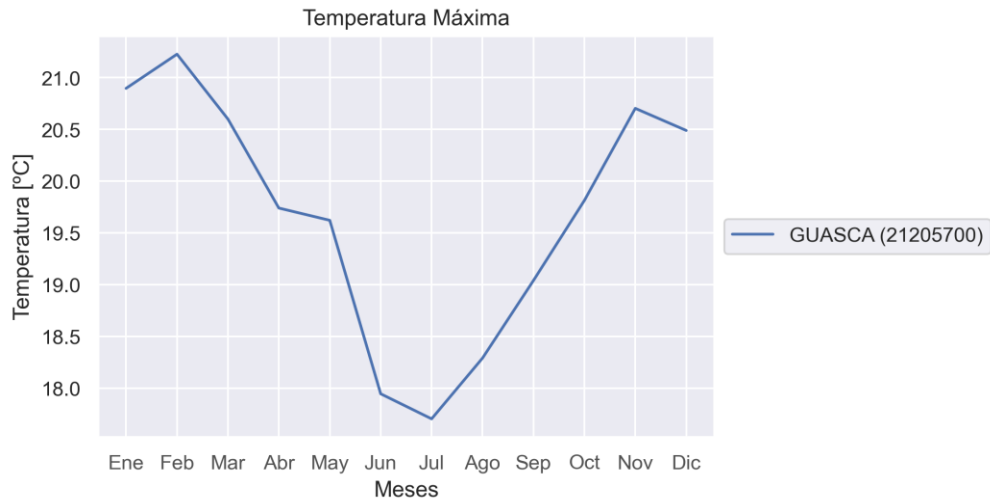


Figura 3-13. Variación temporal de la temperatura máxima mensual promedio multianual [1990-2021]
Fuente: Propia.

3.1.3.9. TEMPERATURA MÍNIMA

Para el análisis de la temperatura mínima se contó con 1 estación con registros para el período 1990-2021. Para la estación GUASCA (21205700), el promedio anual es de 4.4 °C, siendo el promedio mensual más bajo de 4.4 °C que se presenta en el mes de enero, mientras que el promedio mensual más alto es de 8.5 °C que se presenta en el mes de mayo. En la siguiente Tabla se presenta la temperatura mínima mensual promedio multianual y en la siguiente Figura la variación temporal de la variable.

Tabla 3-14. Temperatura mínima mensual [°C/mes] promedio multianual [1990-2021]

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
GUASCA (21205700)	4.4	4.9	6.0	7.5	8.5	8.4	7.9
Estación	Ago	Sep.	Oct	Nov	Dic	Anual	
GUASCA (21205700)	7.5	7.1	7.2	7.2	5.3	4.4	

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

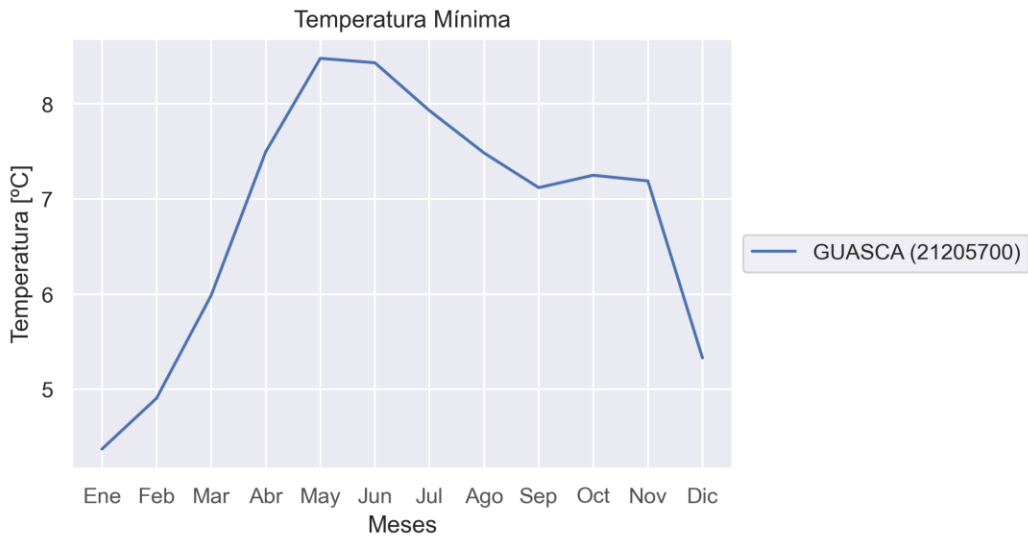


Figura 3-14. Variación temporal de la temperatura mínima mensual promedio multianual [1990-2021]
Fuente: Propia.

3.1.4. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

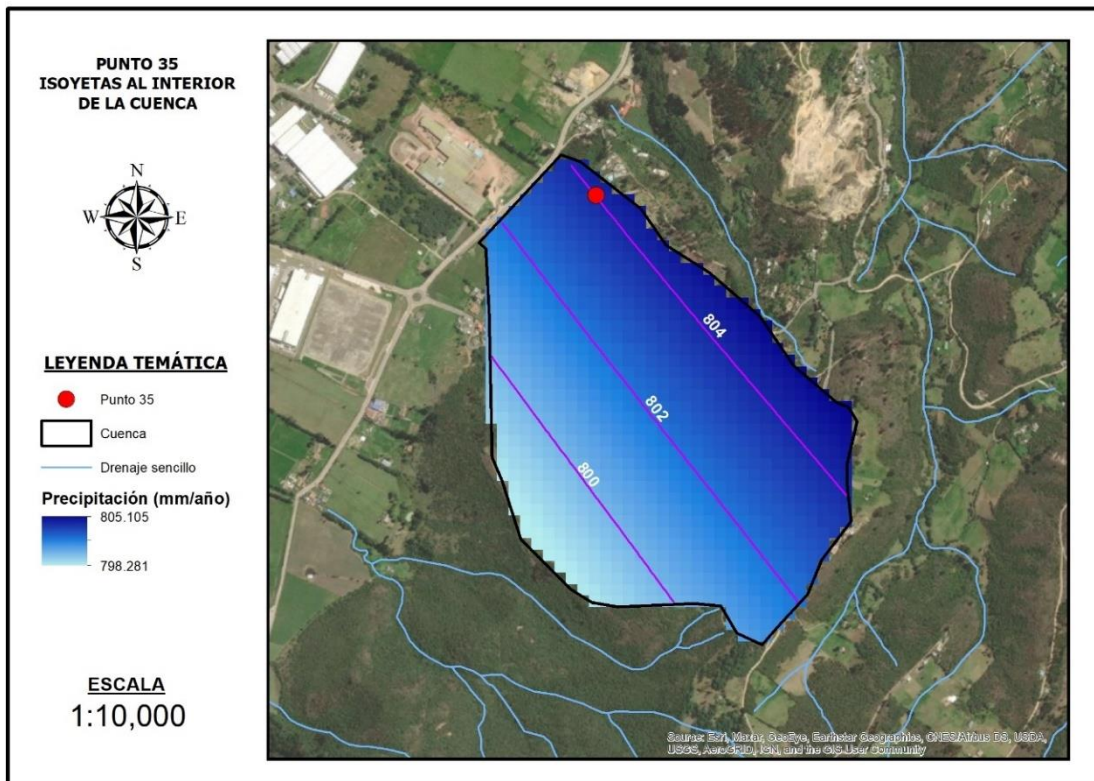


Figura 3-15. Isoyetas al interior de la cuenca de análisis.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Se utilizó el mapa de isoyetas presentado en la anterior Figura, el cual fue generado por la CAR para el departamento de Cundinamarca. Este mapa contiene el promedio de la precipitación total anual generado a partir de 260 estaciones aledañas al departamento. Para la cuenca de estudio, la precipitación total anual varía entre los 798 mm/año a los 805 mm/año, con un valor promedio en su interior de 801.99 mm.

3.1.4.1. CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)

Mediante la construcción de las curvas IDF es posible calcular la intensidad de las tormentas en diferentes duraciones y para varios periodos de retorno. Para la obtención de las curvas IDF se utilizó el método propuesto para Colombia por Vargas & Diaz-Granados (1998). La ecuación utilizada corresponde a la ecuación descrita a continuación.

Ecuación 3-1. Curvas IDF

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d$$

Donde I es la intensidad de lluvia en mm/h, T es el periodo de retorno en años, t es la duración de la tormenta en horas, M es el valor máximo anual de precipitación diaria en mm y a , b , c y d son coeficientes del método. Estos coeficientes son producto de las investigaciones del mismo estudio y están generalizados para las diferentes regiones de Colombia, para el caso de este estudio, se utilizan los coeficientes de la región Andina que se pueden consultar en la siguiente Tabla.

Tabla 3-15. Coeficiente del método de Vargas y Diaz granados (1998)

Coeficientes región Andina	
a	0.94
b	0.18
c	0.66
d	0.83

Fuente: Vargas & Diaz-Granados (1998).

Para su cálculo se utilizó la precipitación máxima en 24 horas anual promedio multianual de la estación Lourdes que se determinó en 46.18 mm/día tomado de la serie precipitación máximas diarias anual. Se presentan los resultados de los valores de intensidades de lluvia

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

para varias duraciones de tormenta y período de retorno determinados para la estación Escuela Vocacional y en la Figura siguiente muestran dichas curvas. En el **Anexo 4. IDF** se presentan los resultados para cada una de las estaciones que registran precipitación.

Tabla 3-16. Curvas de intensidad duración y frecuencia para la estación Lourdes (21201050)

DURACIÓN [MIN]	PERÍODO DE RETORNO [AÑOS]						
	2.33	3	5	10	25	50	100
10	85.97	89.97	98.64	111.75	131.78	149.30	169.14
20	54.41	56.94	62.43	70.72	83.40	94.49	107.04
30	41.64	43.57	47.77	54.12	63.82	72.30	81.91
40	34.43	36.04	39.51	44.76	52.78	59.80	67.74
50	29.72	31.10	34.10	38.63	45.56	51.61	58.47
60	26.35	27.58	30.23	34.25	40.39	45.76	51.84
70	23.80	24.91	27.31	30.94	36.48	41.33	46.82
80	21.79	22.81	25.00	28.33	33.41	37.85	42.87
90	20.16	21.10	23.13	26.21	30.91	35.01	39.67
100	18.81	19.68	21.58	24.45	28.83	32.66	37.00
110	17.66	18.48	20.26	22.96	27.07	30.67	34.75
120	16.68	17.45	19.13	21.68	25.56	28.96	32.81

Fuente: Propia.

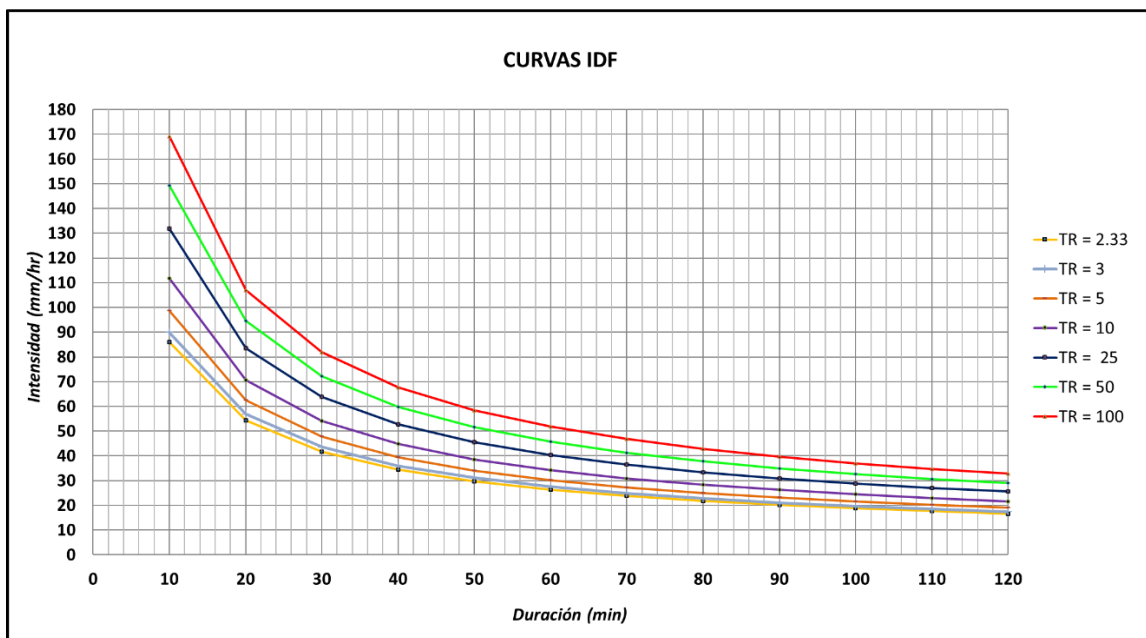


Figura 3-16. Curvas de intensidad y frecuencia para la estación LOURDES (21201050).

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.1.5. DELIMITACIÓN Y MORFOMETRÍA DE LA CUENCA

Tanto la delimitación de la cuenca de análisis del Punto 35 como el cálculo de los parámetros morfométricos se realizó con base en la información de modelos digitales de elevación (MDE) con una resolución de 12.5 m obtenido del satélite ALOS PALSAR¹.

Para el análisis de este caso, se hizo la delimitación de 1 cuenca hidrográfica y 1 subcuenca interior teniendo en cuenta el trabajo batimétrico que se realizó en el cauce y los posteriores cálculos hidráulicos requeridos. En la siguiente Figura se presenta la cuenca hidrográfica. En la siguiente Tabla se presenta los resultados de los parámetros morfométricos para las cuencas en estudio.

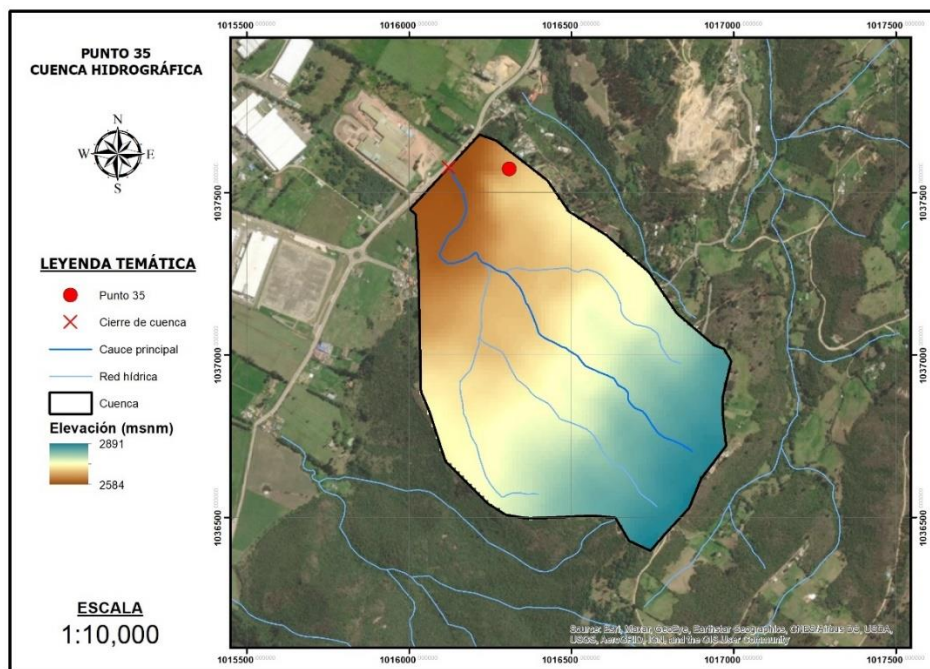


Figura 3-17. Cuenca hidrográfica.
Fuente: Consorcio mitigación del riesgo.

Tabla 3-17. Parámetros morfométricos de la cuenca de análisis

	Ac	Pc	Hmed	Hmax	Hmin	Smed	Lcp	Smedcp	Kc
Cuenca	0.81	3.58	2740.58	2891.00	2584.00	29.62	1.39	27.11	1.12

Fuente: Consorcio mitigación del riesgo. Ac: área de la cuenca (km²); Pc: perímetro cuenca (km); Hmed, Hmax y Hmin: elevación media, máxima y mínima (msnm); Smed: pendiente media de la cuenca (%); Lcp: longitud del cauce principal (km); Smedcp: pendiente media del cauce principal (%); Kc: índice de capacidad de Gravelius.

¹ El producto se puede descargar del siguiente enlace: <https://search.asf.alaska.edu/#/>

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Teniendo en cuenta los valores de la anterior tabla, se estimó el tiempo de concentración t_c por varios métodos previamente utilizados y/o revisados en estudios hidrológicos para Colombia (e.g. Echeverri-Díaz et al., 2022; Vélez Upegui & Botero Gutiérrez, 2011). La siguiente tabla presenta los resultados para estos métodos, para los cuales se pueden consultar sus ecuaciones en Vélez Upegui & Botero Gutiérrez (2011) y Echeverri-Díaz et al. (2022). Sin embargo, la estimación del tiempo de concentración para diferentes métodos varía bastante entre sí debido a que cada autor ha construido su ecuación para cuencas con características particulares (Vélez Upegui & Botero Gutiérrez, 2011). Entonces, en este estudio se decidió tomar como valor de t_c el valor promedio entre los métodos considerados. Adicionalmente, se calcula el tiempo de retardo t_{lag} (ver Tabla 3-19. Tiempo de retardo t_{lag} para las cuencas de análisis) debido a que es un parámetro que se utilizará en procedimientos posteriores.

Este parámetro fue propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS, por sus siglas en inglés) en su método del hidrograma unitario adimensional (conocido también como SCS-HU) (SCS, 1972). Este método establece que el tiempo de retardo de la cuenca es el 60% de su tiempo de concentración. Los cálculos de los parámetros morfométricos y los tiempos de concentración para las cuencas de estudio se encuentran con mayor detalle en el **Anexo 3. Cuenca**.

Tabla 3-18. Tiempo de concentración t_c estimado por varios métodos para las cuencas de análisis

	Tiempo de concentración t_c (min)						
	Bransby-Williams	California Culvert Practice	Ventura-HEC-RAS	Kirpich	Témez	Giandotti	Promedio
Cuenca	26.87	9.16	9.25	8.46	29.60	21.99	17.56

Fuente: Consorcio mitigación del riesgo.

Tabla 3-19. Tiempo de retardo t_{lag} para las cuencas de análisis

Tiempo de retardo t_{lag} (min)	
Cuenca	10.53

Fuente: Consorcio mitigación del riesgo.

De acuerdo con los datos presentados en las tablas anteriores, se puede clasificar a la cuenca hidrográfica como una cuenca muy pequeña, con un terreno fuertemente

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

accidentado, de forma casi redonda a oval y con amenaza ante avenidas torrenciales muy alta, tomando como referencia las clasificaciones descritas por Campos Aranda (1998), Heras (1976), Lux Cardona (2016) y Díaz Garnica (2019), respectivamente.

3.1.6. ÁREAS AFERENTES OBRAS PROPUESTAS

De acuerdo con la identificación del problema, se definió como solución la interceptación de las aguas de escorrentía superficial mediante un canal, para lo cual se definió el área aferente que se resalta en la siguiente Figura. El área del canal presentado (denominado canal 1) es de 1.25 ha, y fue propuesta a partir del uso del MDE descrito para delimitar la cuenca, haciendo una revisión de sus elevaciones y cómo podría intervenir la escorrentía superficial en la zona.

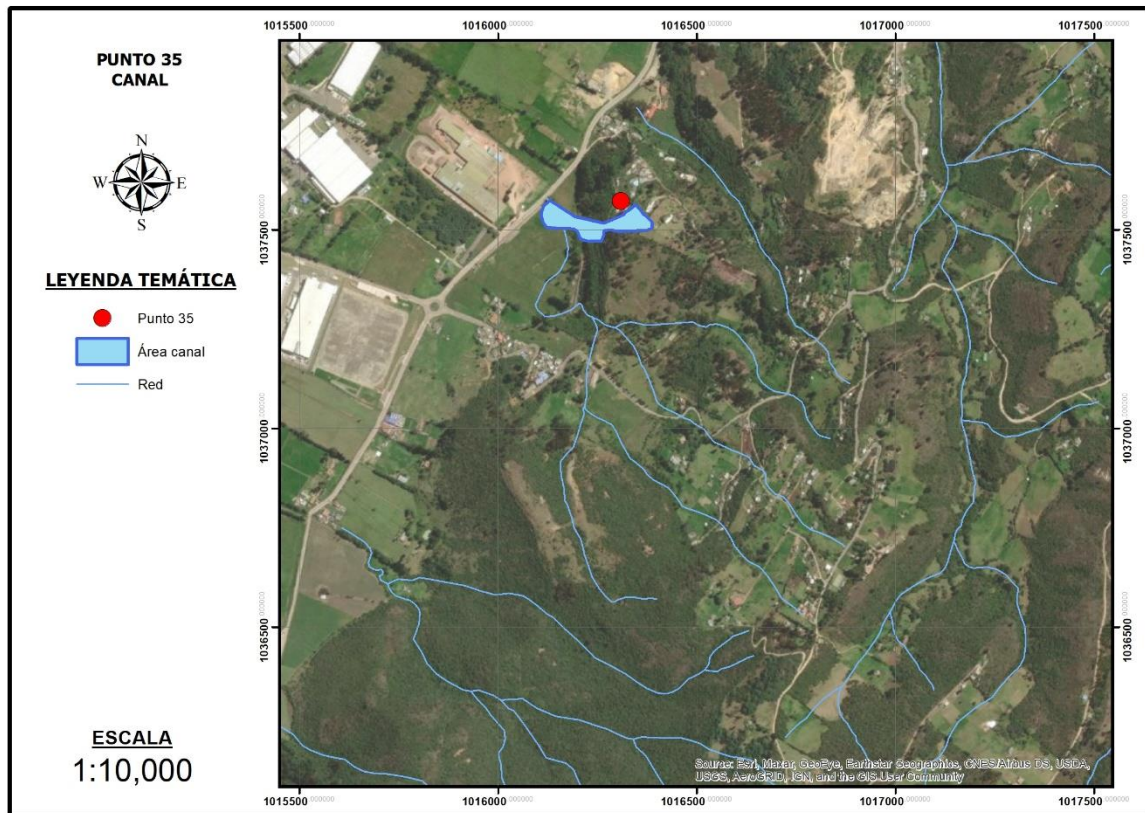


Figura 3-18. Área aferente al canal propuesto.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.1.7. ESTIMACIÓN DE CAUDAL MÁXIMO

Un cálculo del caudal máximo probable de escorrentía es necesario para diseñar canales y/o zanjas de coronación propuestos. Teniendo en cuenta el tamaño de las áreas aferentes a los canales que se requieren para la protección del talud se utiliza el método racional.

Ecuación 3-2. Caudal máximo.

$$Q = 0.0028 * C * I * A$$

Donde: Q es el caudal [m³/s], I: intensidad [mm/h], A es la superficie de la cuenca [ha], C es un coeficiente de escorrentía sin dimensiones.

El coeficiente C es una medida de la proporción de la lluvia que se convierte en escorrentía. En un techo de metal casi toda la lluvia se convertirá en escorrentía, de manera que C será casi 1.0, mientras que un suelo arenoso bien drenado, donde las nueve décimas partes de la lluvia penetran en la tierra, el valor de C sería de 0.1.

En la Tabla siguiente se presenta algunos valores de C. Cuando la cuenca tiene diferentes tipos de topografía y uso de la tierra, se obtiene una media ponderada combinando los diferentes valores en proporción al área de cada uno de ellos.

Tabla 3-20. Valores del coeficiente C de la escorrentía (de Schwab et al. 1981)

Topografía y vegetación	Textura del suelo		
	Tierra franca arenosa	Arcilla y limo	Arcilla compacta
Bosques			
Llano, 0-5% de pendiente	0.10	0.30	0.40
Ondulado, 5-10% de pendiente	0.25	0.35	0.50
Montañoso, 10-30% de pendiente	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Llanos	0.10	0.30	0.40
Ondulados	0.16	0.36	0.55
Montañosos	0.22	0.42	0.60
Tierras cultivadas			
Llanas	0.30	0.50	0.60
Onduladas	0.40	0.60	0.70
Montañosas	0.52	0.72	0.82
Zonas urbanas	30% de la superficie impermeable	50% de la superficie impermeable	70% de la superficie impermeable
Llanas	0.40	0.55	0.65
Onduladas	0.50	0.65	0.80

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Teniendo en cuenta que el área aferente a los canales se encuentra, principalmente en un tipo de cobertura vegetal de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, se toma valor de C de 0.6. La Tabla siguiente presenta los resultados para los caudales máximos esperados aplicando el método racional para el canal 1.

Tabla 3-21. Caudales máximos esperados para diferentes períodos de retorno

CANAL 1													
Área [ha]	1.25	C	0.6	Suelos en pastos y cultivos con topografía montañosa con suelos de textura compacta									
Período de retorno	2	2.33	4	5	10	15	20	25	30	50	100	250	500
I mm/hora (para 10 min duración)	87.9 9	90.4 5	99.6 9	103. 77	117. 56	126. 46	133. 18	138. 64	143. 27	157. 07	177. 94	209. 85	237. 73
Q [m3/s]	0.18	0.19	0.21	0.22	0.25	0.26	0.28	0.29	0.30	0.33	0.37	0.44	0.50
Q [L/s]	184. 05	189. 18	208. 51	217.0 5	245.9 0	264.5 2	278.5 7	289.9 9	299.6 7	328.5 3	372.1 8	438.9 2	497.2 4

Fuente: Propia.

3.1.7.1. ESTIMACIÓN DE HIDROGRAMAS

Una vez estimados los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, se estima el hidrograma empleando el esquema del SCS que se muestra en la siguiente figura:

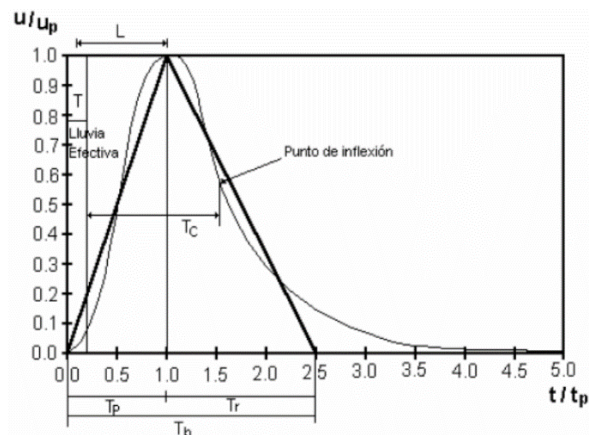


Figura 3-19. Esquemas de la hidrografía del SCS

Fuente: Propia.

Una vez conocido el tiempo al pico (estimado como el tiempo de concentración) y el caudal pico se genera el hidrograma empleando las relaciones que se presentan en la siguiente tabla:

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-22. Abscisas y ordenadas del hidrograma

Relación de tiempos (t/tp)	Relación de Caudales (U/Up)
0	0
0.1	0.030
0.2	0.100
0.3	0.190
0.4	0.310
0.5	0.470
0.6	0.660
0.7	0.820
0.8	0.930
0.9	0.990
1.0	1.000
1.1	0.990
1.2	0.930
1.3	0.860
1.4	0.780
1.5	0.680
1.6	0.560
1.7	0.460
1.8	0.390
1.9	0.330
2.0	0.280
2.2	0.207
2.4	0.147
2.6	0.107
2.8	0.077
3.0	0.055
3.2	0.040
3.4	0.029
3.6	0.021
3.8	0.015
4.0	0.011
4.5	0.005
5.0	0

Fuente: Propia.

En la siguiente tabla se presenta los resultados del hidrograma para cada período de retorno.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-23. Abscisas y ordenadas del hidrograma.

CANAL 1													
Área [ha]	1.25	C	0.6	Suelos en pastos y cultivos con topografía montañosa con suelos de textura compacta									
Período de retorno	2	2.33	4	5	10	15	20	25	30	50	100	250	500
l mm/hora (para 10 min duración)	87.9 9	90.45	99.6 9	103.7 7	117.5 6	126.4 6	133.1 8	138.6 4	143.2 7	157.0 7	177.94	209.85	237.73
Q [m3/s]	0.18	0.19	0.21	0.22	0.25	0.26	0.28	0.29	0.30	0.33	0.37	0.44	0.50
Q [L/s]	184.0 5	189.1 8	208.5 1	217.0 5	245.9 0	264.5 2	278.5 7	289.9 9	299.6 7	328.5 3	372.18	438.92	497.24
HIDROGRAMA [lps]													
T min	TR 2.0	TR 2.33	TR 4.0	TR 5.0	TR 10.0	TR 15.0	TR 20.0	TR 25.0	TR 30.0	TR 50.0	TR 100.0	TR 250.0	TR 500.0
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	15.34	15.77	17.38	18.09	20.49	22.04	23.21	24.17	24.97	27.38	31.02	36.58	41.44
20	44.17	45.40	50.04	52.09	59.02	63.48	66.86	69.60	71.92	78.85	89.32	105.34	119.34
30	89.26	91.75	101.1 3	105.2 7	119.2 6	128.2 9	135.1 1	140.6 5	145.3 4	159.3 4	180.51	212.88	241.16
40	138.0 4	141.8 9	156.3 8	162.7 9	184.4 3	198.3 9	208.9 3	217.4 9	224.7 5	246.4 0	279.14	329.19	372.93
50	173.3 1	178.1 4	196.3 5	204.3 9	231.5 6	249.0 9	262.3 2	273.0 7	282.1 9	309.3 7	350.47	413.32	468.23
60	184.0 5	189.1 8	208.5 1	217.0 5	245.9 0	264.5 2	278.5 7	289.9 9	299.6 7	328.5 3	372.18	438.92	497.24
70	173.3 1	178.1 4	196.3 5	204.3 9	231.5 6	249.0 9	262.3 2	273.0 7	282.1 9	309.3 7	350.47	413.32	468.23
80	152.7 6	157.0 2	173.0 6	180.1 5	204.1 0	219.5 5	231.2 1	240.6 9	248.7 3	272.6 8	308.91	364.30	412.71
90	123.3 1	126.7 5	139.7 0	145.4 2	164.7 5	177.2 3	186.6 4	194.2 9	200.7 8	220.1 2	249.36	294.08	333.15
100	92.64	95.22	104.9 5	109.2 5	123.7 7	133.1 4	140.2 1	145.9 6	150.8 3	165.3 6	187.33	220.92	250.28
110	68.41	70.31	77.50	80.67	91.39	98.31	103.5 4	107.7 8	111.3 8	122.1 0	138.33	163.13	184.81
120	51.53	52.97	58.38	60.77	68.85	74.07	78.00	81.20	83.91	91.99	104.21	122.90	139.23
130	40.34	41.46	45.70	47.57	53.89	57.97	61.05	63.56	65.68	72.00	81.57	96.20	108.98
140	30.74	31.59	34.82	36.25	41.07	44.17	46.52	48.43	50.04	54.86	62.15	73.30	83.04
150	23.37	24.03	26.48	27.57	31.23	33.59	35.38	36.83	38.06	41.72	47.27	55.74	63.15
160	17.85	18.35	20.23	21.05	23.85	25.66	27.02	28.13	29.07	31.87	36.10	42.58	48.23
170	13.50	13.87	15.29	15.92	18.03	19.40	20.43	21.27	21.98	24.09	27.29	32.19	36.46
180	10.12	10.40	11.47	11.94	13.52	14.55	15.32	15.95	16.48	18.07	20.47	24.14	27.35
190	7.82	8.04	8.86	9.22	10.45	11.24	11.84	12.32	12.74	13.96	15.82	18.65	21.13
200	6.01	6.18	6.81	7.09	8.03	8.64	9.10	9.47	9.79	10.73	12.16	14.34	16.24
210	4.60	4.73	5.21	5.43	6.15	6.61	6.96	7.25	7.49	8.21	9.30	10.97	12.43
220	3.50	3.59	3.96	4.12	4.67	5.03	5.29	5.51	5.69	6.24	7.07	8.34	9.45
230	2.64	2.71	2.99	3.11	3.52	3.79	3.99	4.16	4.30	4.71	5.33	6.29	7.13
240	2.02	2.08	2.29	2.39	2.70	2.91	3.06	3.19	3.30	3.61	4.09	4.83	5.47

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.2. COBERTURAS**3.2.1. INTERPRETACIÓN DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA DE LAS ZONAS DE INTERVENCIÓN**

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra.

La interpretación de las imágenes de satélite se realiza inicialmente a través de la visualización en computador, empleando el software ArcGis 10.8. Cada intérprete cuenta con una licencia del software, con una configuración para delinear las diferentes unidades de mapeo. El procesamiento digital de las imágenes (mejoramientos espectrales, corte, proyección) se realiza con el software ERDAS (8.5).

La última versión publicada de la leyenda se realizó en el año 2010, donde contiene y definen las potenciales unidades de coberturas de la tierra presentes en el territorio nacional, cartografiables a la escala 1:100.000, y que son representativas de la complejidad ambiental y de la dinámica de apropiación y uso del territorio de todas las regiones del país.

La interpretación se realizó mediante digitalización en pantalla, a una escala 1:2.000 para lo cual se definieron patrones por las unidades más representativas para luego detallar con unidades más específicas, todo apoyado de fotografías aéreas e imágenes disponibles de Google Earth.

El proceso de control de calidad se realizó sobre la interpretación, donde se encontraba la delineación de las coberturas y los códigos de identificación respectivos, adelantando, correcciones de unidades, recodificación y ajustes necesarios, apoyados de la información de campo, permitiendo la entrega de un producto revisado. (Ver Anexos – Fase III - 02)

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.2.2. RESULTADOS

Tabla 3-24. Coberturas presentes en el polígono

COBERTURAS DE LA TIERRA				
COBERTURA GENERAL	USO PRINCIPAL	USO ESPECÍFICO	SIMBOLO	Área (ha)
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1 Zonas urbanizadas	1.1.2 Tejido urbano discontinuo	112	2,66
	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2 Red vial primaria	122	0,56
2. TERRITORIOS AGRICOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1 Otros cultivos transitorios	211	0,18
	2.3 Pastos	2.3.1 Pastos limpios	231	1,39
		2.3.3. Pastos enmalezados	233	1,29
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.2 Áreas con vegetación herbácea o arbustiva	3.2.2 Arbustal	322	2,14
	3.3 Áreas abiertas sin o con poca vegetación	3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	333	0,81
4. ÁREAS HÚMEDAS	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Zonas pantanosas	411	0,01
Área total				10,46

Fuente: Propia.

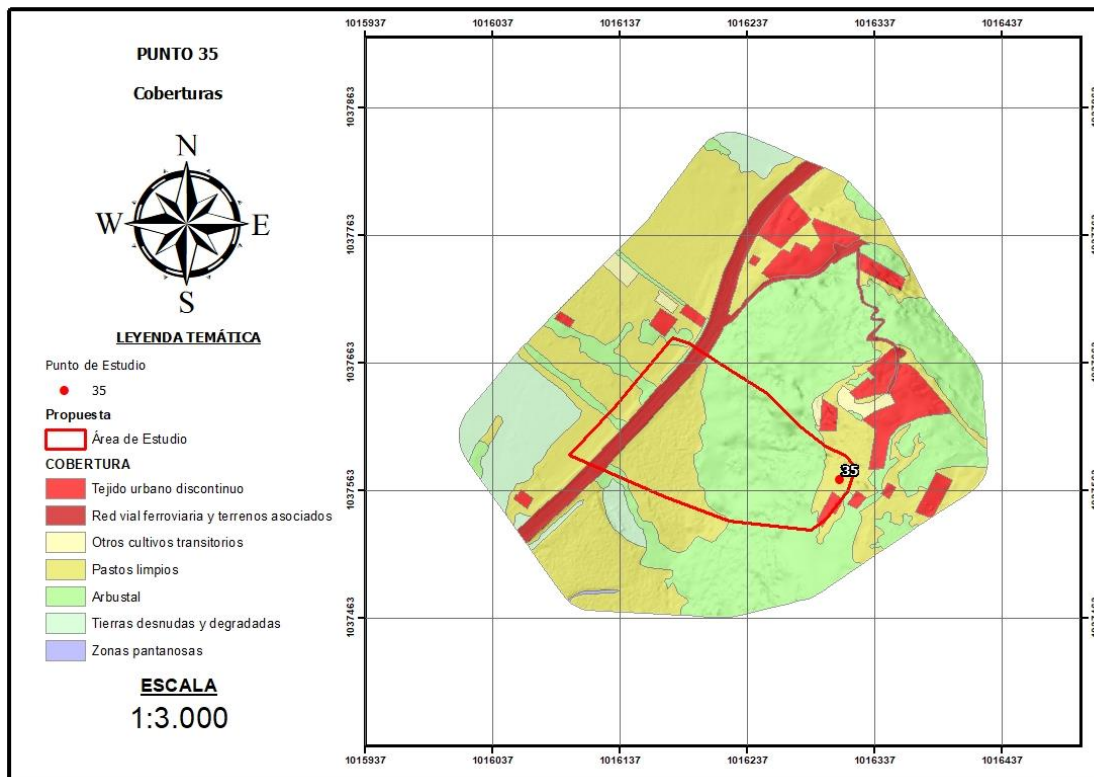


Figura 3-20. Distribución espacial de las coberturas de la tierra en el polígono

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.3. GEOLOGÍA

3.3.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

Para el punto de estudio sector Patiño, se realizó la interpretación de imágenes recientes de los satélites Landsat8 desde la página web del United States Geological Survey (USGS), la cual posee sensores multiespectrales de alta resolución que permiten contrastar elementos importantes del relieve; igualmente, se tomó información de la página del SGC y de Google Earth.

De esta manera, se realizó un reconocimiento previo de los rasgos geológicos, geomorfológicos y estructurales de la zona. Allí se puede identificar la localización del área de influencia, con respecto a las principales estructuras geológicas a nivel regional, donde se presenta una amplia influencia de la falla de Cabalgamiento Chocontá -Pericos, así como del flanco oriental del sinclinal de SUESCA – TEUSACÁ.

3.3.2. GEOLOGÍA LOCAL

En armonía con la información secundaria previamente referenciada y de acuerdo con la información recolectada en las inspecciones de campo, incluyendo la información de la exploración geotécnica, se realizó el componente de geología local, haciendo énfasis en las Unidades de Geología para Ingeniería (UGI), las cuales serán utilizadas como insumo para la elaboración del mapa de amenaza por movimientos en masa.

3.3.2.1. UNIDADES DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA

De manera inicial, se realizó el reconocimiento preliminar de las unidades con base al análisis y procesamiento de imágenes satelitales y el modelo de elevación digital del área de influencia. Adicionalmente, se efectuó una correlación con las unidades litoestratigráficas identificadas de manera regional por el SGC en la plancha 209-Zipaquira.

Posteriormente, a partir del control de campo, se corroboró dicha información, realizando el reconocimiento y descripción de las unidades geológicas aflorantes y la caracterización de elementos estructurales. Dichas unidades se describieron de acuerdo con las unidades de

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

geología para ingeniería, las cuales son diferenciadas entre unidades de rocas y suelos (residuales, transportados y antrópicos).

Teniendo en cuenta lo anterior, en la siguiente tabla y figura se presentan las unidades identificadas en el área de influencia del proyecto:

Tabla 3-25. Relación de la UGI identificadas en el área con las unidades geológicas regionales del SGC

Nomenclatura	UGI (unidad geológica de ingeniería)	Unidad geológica SGC
Ria-K2t	Roca intermedia arenisca	Formación Labor-Tierna
Stfl-Q1sa	Suelo transportado de flujo de lodo	Formación Sabana
Stca	Suelo transportado coluvial antiguo	Depósitos coluviales
Stco-Qd	Suelo transportado coluvial deslizado	Depósitos coluviales deslizados
Salv	Suelo antrópico de llenos de vías	Depósitos antrópicos

Fuente: Propia.

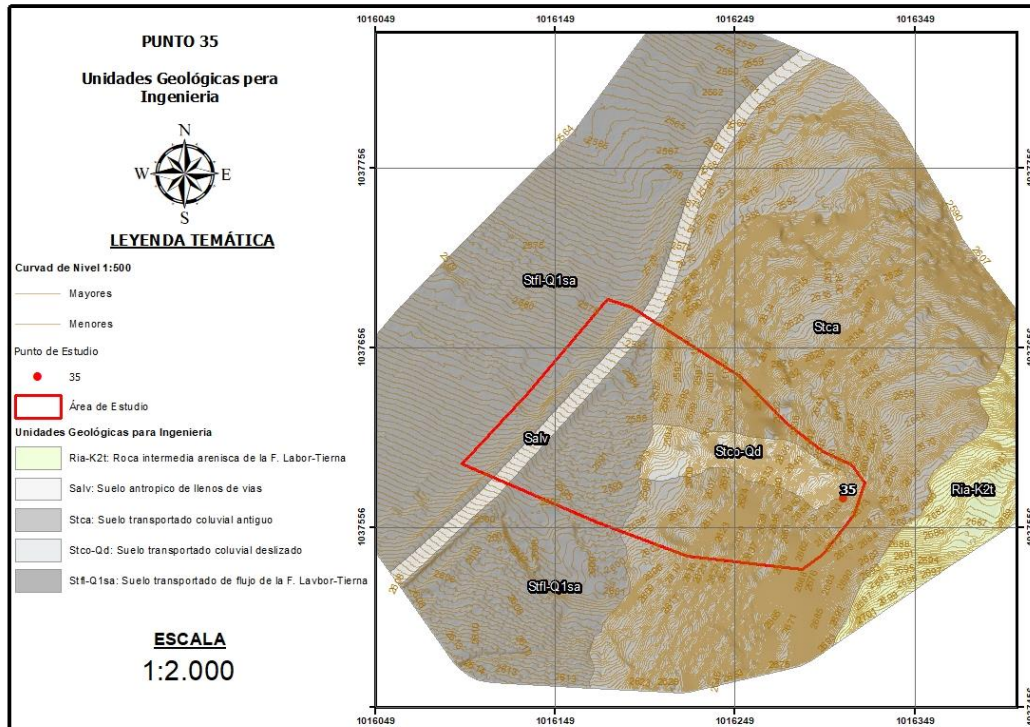


Figura 3-21. Unidades geológicas para ingeniería

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- Roca intermedia arenisca de la Formación Labor- Tierna (Ria-K2t):

Como ya se indicó en el apartado de geología regional, esta Formación fue descrita inicialmente por Huacha (1931) el cual subdivide el conjunto superior del Piso del Guadalupe y asigna al segmento superior el nombre de “Horizonte de areniscas tiernas”. Pérez & Salazar (1978) dividen el horizonte superior de Hubach (1931) en Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna, dentro de la formalización del Grupo Guadalupe.

Esta unidad aflora en la parte oriental del área de estudio y litológicamente corresponde a areniscas cuarzosas color marrón amarillento y blanco amarillento, de granulometría media y gruesa. Esta unidad presenta un grado de meteorización moderado.



Figura 3-22. Afloramiento de la formación Arenisca Tierna.
Fuente: Propia.

Aunque no fue posible determinar su disposición, se pudieron identificar algunos estratos ligeramente tumbados a manera de bloques, como se observa en la Figura anterior, en los que se pudo apreciar además de niveles importantes de arenisca que llegan hasta los 0,8 m espesor y algunos niveles limo-arcillosos que no superan los 0,10 m.

- Suelo transportado de flujo de lodo de la formación Sabana (Stfl-Q1sa):

Corresponde a los materiales formados por la sedimentación de un antiguo lago que cubrió los terrenos de la parte central de la denominada sabana de Bogotá, que se diferencian por tener una morfología plana a ligeramente inclinada y están constituidos principalmente por

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

arcillas y limos; de color gris, amarillo pálido y naranja por meteorización, de consistencia blanda. En el área de estudio se localizan en la parte occidental.

- Suelo transportado coluvial (Stco):

Son depósitos formados por bloques y fragmentos tamaño grava de areniscas angulares a subangulares, embebidos en una matriz limosa color café, de consistencia media.

En el área de estudio estos depósitos suprayacen a la formación Labor- Tierna en sus niveles de mayor meteorización.



Figura 3-23. Afloramiento de depósitos coluviales (Q2c) supra yaciendo niveles residuales de la Formación Arenisca Tierna (Sr-K2t).

Fuente: Propia.

- Suelo transportado coluvial deslizado (Stco-Qd):

Corresponde a deslizamientos de material coluvial limo-arenoso con fragmentos principalmente angulosos. Estos depósitos están relacionados con movimientos ladera abajo de masas de suelo o roca, predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura.

- Suelos antrópicos de llenos de vías (Salv):

Son materiales heterogéneos dispuestos por el hombre que hacen referencia a las zonas de uso público o privado, destinadas al tránsito de vehículos e incluye las vías principales, secundarias y carretables presentes en el área del proyecto. Estos depósitos se encuentran suprayaciendo a la formación Sabana.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Columna y perfil estratigráfico

A partir de los sondeos efectuados durante la exploración geotécnica, se realizó el análisis de las muestras de los estratos encontrados, haciendo uso de la descripción y registro fotográfico de cada sondeo.

La ubicación y descripción de las exploraciones realizadas se muestra en la Figura y tablas siguientes:

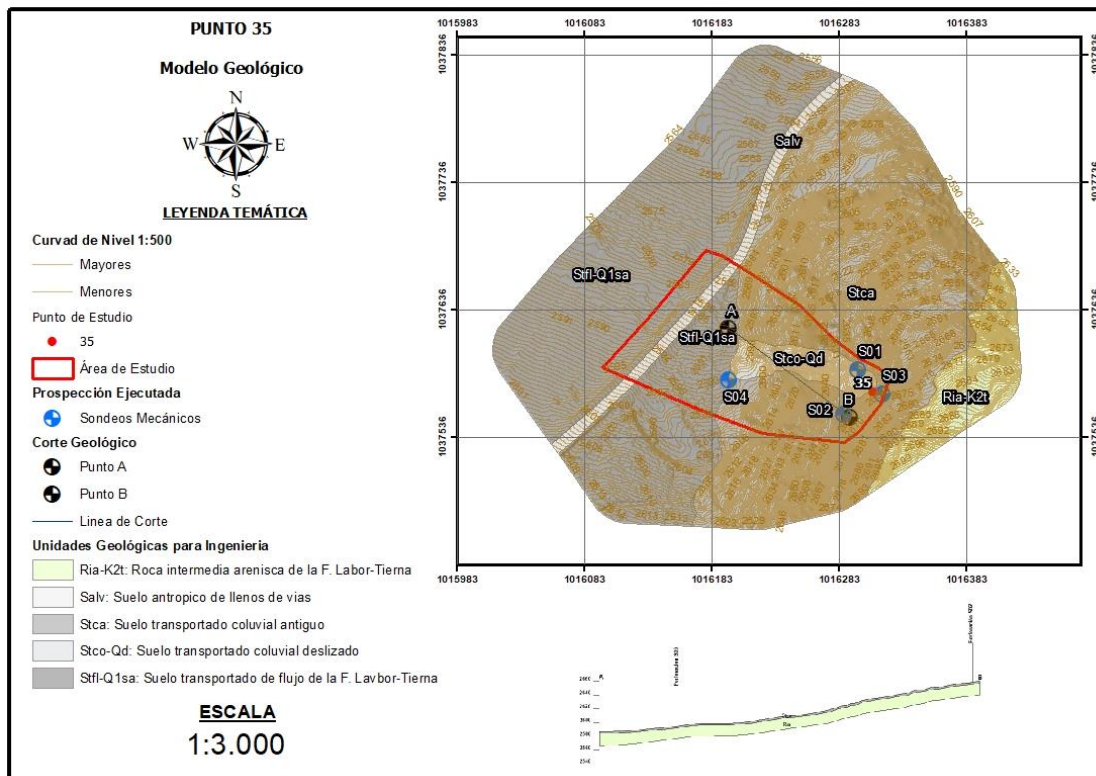


Figura 3-24. Sonde de exploración y línea de corte
Fuente: Propia

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-26. Descripción del sondeo exploratorio S01

Sondeo S01	
Profundidad (m)	Descripción
0-0,7	Suelo limoso color café oscuro, de consistencia blanda y humedad media.
0,7 – 3,7	Suelo color café amarillento, compuesto por fragmentos angulares a subangulares de tamaño heterogéneo, embebidos en una matriz arenosa-arcillosa. Presenta compacidad suelta y humedad media.
3,7 – 12,8	Bloques de arenisca color café amarillento de grano grueso de compacidad densa.
12,8 - 20	Bloques de arenisca de grano medio color blanco amarillento con intercalaciones areno-arcillosas color café, de compacidad densa.

Fuente: Propia.

Tabla 3-27. Descripción del sondeo exploratorio S02

Sondeo S02	
Profundidad (m)	Descripción
0-0,5	Suelo limoso color café oscuro, de consistencia media y humedad media, con presencia de raíces.
0,5 – 2,5	Suelo color café amarillento, compuesto por fragmentos angulares a subangulares de tamaño heterogéneo, embebidos en una matriz arenosa-arcillosa. Presenta compacidad densa y humedad media.
2,5 – 13,2	Bloques de arenisca color café amarillento de grano grueso de compacidad densa. La roca se encuentra levemente meteorizada.
13,2 - 20	Bloques de arenisca de grano medio color blanco amarillento, de compacidad densa.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-28. Descripción del sondeo exploratorio S03

Sondeo S03	
Profundidad (m)	Descripción
0 – 0,5	Relleno limoso color café oscuro con algunos escombros. Presenta consistencia media y humedad media.
0,5 – 4,5	Suelo color café amarillento, compuesto por fragmentos angulares a subangulares de tamaño heterogéneo, embebidos en una matriz arenosa. Presenta compacidad media y humedad media.
4,5 – 15,5	Bloques de arenisca color café amarillento de grano grueso de compacidad densa. La roca se encuentra levemente meteorizada.
15,5 – 20	Bloques de arenisca de grano medio color blanco amarillento, de compacidad densa.

Fuente: Propia.

Tabla 3-29. Descripción del sondeo exploratorio S04

Sondeo S04	
Profundidad (m)	Descripción
0 – 0,8	Suelo limoso color café oscuro con presencia de raíces. Presenta consistencia media y humedad media.
0,8 – 4,5	Suelo color café amarillento, compuesto por fragmentos angulares a subangulares de tamaño heterogéneo, embebidos en una matriz arcillo-arenosa. Presenta compacidad media y humedad media.
4,5 – 16	Bloques de arenisca color café amarillento de grano grueso de compacidad densa. La roca se encuentra levemente meteorizada.
16 – 20	Bloques de arenisca de grano medio color blanco amarillento, de compacidad densa.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-30. Descripción del sondeo exploratorio S05

Sondeo S05	
Profundidad (m)	Descripción
0 – 0,6	Suelo limoso color café oscuro. Presenta consistencia blanda y humedad media.
0,6 – 3,5	Suelo color café amarillento, compuesto por fragmentos angulares a subangulares de tamaño heterogéneo, embebidos en una matriz arenosa-arcillosa. Presenta compacidad suelta y humedad media.
3,5 – 14,2	Bloques de arenisca color café amarillento de grano grueso de compacidad densa. La roca se encuentra levemente meteorizada.
14,2 – 20	Bloques de arenisca de grano medio color blanco amarillento con intercalaciones areno-arcillosas color café, de compacidad densa.

Fuente: Propia.

Adicionalmente, se efectuó una columna estratigráfica de unos de los sondeos exploratorios que representa las condiciones geológicas del área y los límites en profundidad de los estratos presentes.

La columna estratigráfica del sondeo S04 está compuesta por cuatro estratos: el primero corresponde a una capa de 0,8 m de espesor de suelo limoso color café oscuro con raíces, que se relaciona con la capa vegetal del área, seguido por un horizonte de suelo que se caracteriza por tener fragmentos de roca angulares moderadamente meteorizados y presentar humedad media. Dicho estrato se correlaciona con la unidad de depósitos coluviales.

Subyaciendo a 4,5 m de profundidad se encuentra un estrato identificado con bloques de arenisca levemente meteorizada de color café amarillento de grano grueso, compacidad densa y humedad media. Seguido por otro sustrato rocoso, compuesto por areniscas de grano medio a fino, color blanco amarillento, de compacidad densa. Estos estratos rocosos se relacionan con la unidad de roca arenisca intermedia de la formación Labor-Tierna (Ria-K2t).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Profundidad	Columna	Descripción
0 - 0,8		Suelo limoso color café oscuro con apresencia de raíces. Presenta consistencia media y humedad media
0,8 - 4,5		Suelo color café amarillento, compuesto por fragmentos angulares a subangulares de tamaño heterogéneo, embidos en una matriz arcillo-arenosa. Presenta compacidad media y humedad media.
4.5 - 16		Bloques de arenisca color café amarillento de grano grueso de compacidad densa. La roca se encunetra levemente meteorizada..
16 - 20		Bloques de arenisca de grano fino color blanco amarillento, de compacidad densa.

Figura 3-25. Columna estratigráfica del sonde S04.
Fuente: Propia

De igual manera, se realizó un perfil geológico en el área de influencia del punto 35, donde se utilizó la información de los sondeos exploratorios. Para ello se definió la línea de corte A-B que contiene los sondeos S05 y S02.

A continuación, se presenta el perfil geológico AB efectuado en el área de influencia:

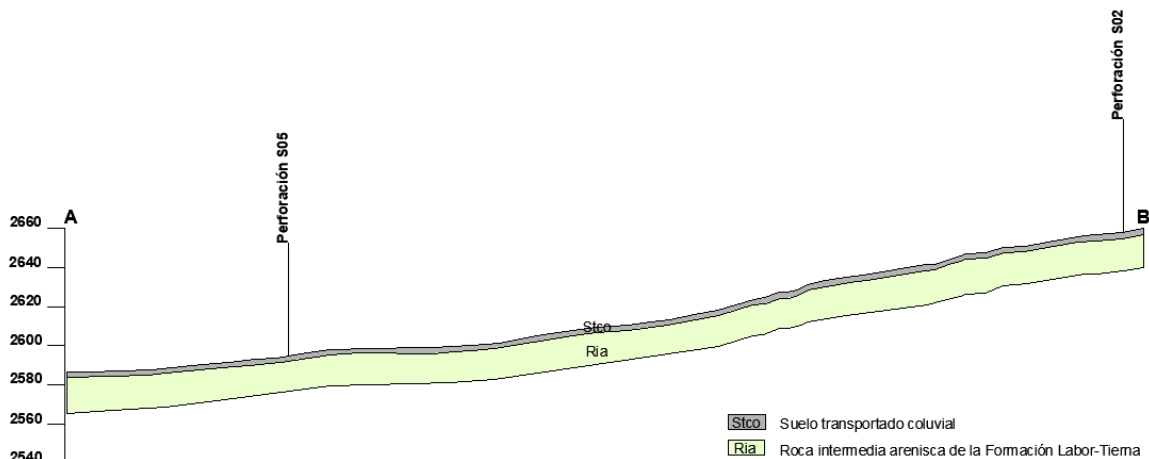


Figura 3-26. Perfil geológico A-B
Fuente: Propia

En el perfil A-B se evidenció una capa de suelo continua, compuesta por materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y fragmentos angulares y subangulares de arenisca, que son formados por actividad reciente de erosión y depositados por la acción de la gravedad,

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

lluvias o movimientos en masa. Esta capa se relacionó con la unidad de suelo transportado coluvial y presenta un espesor en promedio de 3 m.

Subyaciendo se observa la unidad Ria, que litológicamente está compuesta por dos capas de arenisca, que varían en granulometría, color y grado de meteorización de acuerdo a la profundidad.

3.3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL.

En armonía con la caracterización de la geología estructural regional, el rasgo estructural que mayor incidencia presenta en lo relacionado con el comportamiento mecánico de los materiales que conforman el área de influencia del punto 35, corresponde al anticlinal de Sopo-Sesquilé, dado que la disposición del macizo rocoso conformado por la formación Labor- Tierna y sus escasas familias de diaclasas, está condicionadas por la dinámica estructural de este plegamiento.

A continuación, se presenta el análisis realizado en el software *DIPS* que se realizó para llegar a la conclusión anterior y su incidencia en la determinación de los mecanismos de falla por medio de las proyecciones estereográficas obtenidas de los datos estructurales tomados en el área de estudio.

3.3.3.1. PROYECCIONES ESTEREOGRÁFICAS DE ESTRUCTURAS A NIVEL LOCAL

Los mecanismos de falla se determinan teniendo en cuenta la disposición espacial de las estructuras geológicas del macizo con respecto a la orientación de los taludes o laderas, para esto se utiliza una red estereográfica en la que se puede determinar espacial y estadísticamente las direcciones principales de los esfuerzos a los que es sometido el macizo rocoso.

Para el caso del área de estudio, se correlacionaron los datos estructurales obtenidos de la estratificación del macizo rocoso perteneciente a la formación Labor - Tierna (UGI: Ria), así como de las discontinuidades geológicas que fue posible determinar en los escasos afloramientos donde se exhibían estas estructuras dentro del área de influencia o en áreas

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

próximas (de los puntos localizados en Tocancipá) los cuales de manera general, se localizan en el flanco noroccidental del anticlinal de Sopo-Sesquilé, como se muestra en la Figura siguiente, por lo cual se pueden correlacionar entre sí y poderlos analizar de acuerdo a la orientación de los taludes o laderas para determinar los mecanismos de falla planar, falla en cuña y falla por volcamiento.

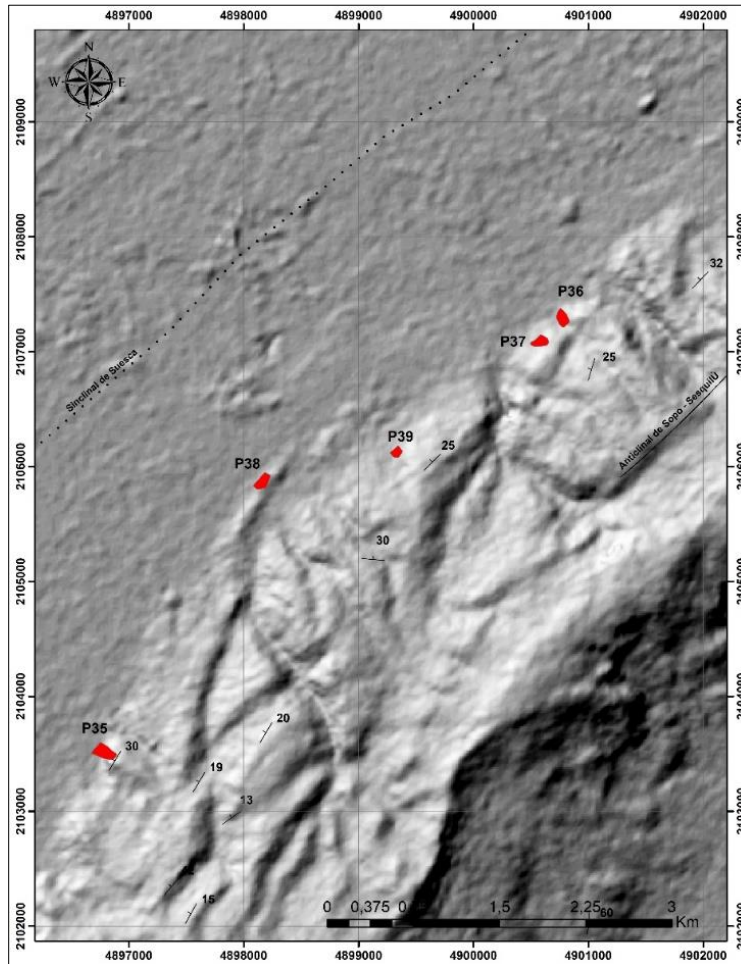


Figura 3-27. Localización de datos estructurales tomados con relación al Flanco NW del anticlinal de Sopo-Sesquilé
Fuente: Propia

Otra de las dificultades que tuvo en campo para el levantamiento de las discontinuidades en mención, se relaciona con la presencia de bloques tumbados que se desprendieron del macizo rocoso (depósitos coluviales) que a pesar de que conservaban los rasgos estructurales, eran poco fiables para incluirlos en el modelo, por ende, estos datos se

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

validaron con los obtenidos por el Servicio Geológico Colombiano que se documentan en las planchas 228 Bogotá Noreste y 209 Zipaquirá.

De acuerdo con esta validación en la tabla siguiente, se relacionan los datos estructurales que se utilizaron para determinar los potenciales mecanismos de falla.

Tabla 3-31. Datos de mediciones de estratificación y familia de diaclasas.

Punto	Nomenclatura	Tipo	Dirección Buzamiento	Buzamiento	Coordenada E	Coordenada N
35	DMS35-01	Estratificación	310	42	1016797	1036431
35	DMS35-02	Estratificación	301	30	1016303,041	1037523,53
35	DMS35-03	Estratificación	301	20	1017619,324	1037769,974
35	DMS35-04	Estratificación	301	19	1017038,023	1037341,03
36	DMS36-01	Estratificación	305	30	1020511,352	1041292,813
36	DMS36-02	Estratificación	287	25	1020449,205	1040942,843
36	DMS36-03	Estratificación	314	32	1021397,807	1041722,814
36	DMS36-04	Estratificación	315	25	1019064,345	1040130,75
36	DMS36-05	Diaclasas	187	62	1020511,352	1041292,813
36	DMS36-06	Diaclasas	10	90	1020511,352	1041292,813
37	DMS37-01	Estratificación	305	30	1020511,352	1041292,813
37	DMS37-02	Estratificación	287	25	1020449,205	1040942,843
37	DMS37-03	Estratificación	314	32	1021397,807	1041722,814
37	DMS37-04	Estratificación	315	25	1019064,345	1040130,75
38	DMS38-01	Estratificación	327	42	1017499,754	1039863,301
38	DMS38-02	Estratificación	315	25	1019064,345	1040130,75
38	DMS38-03	Estratificación	301	20	1017619,324	1037769,974
38	DMS38-04	Diaclasas	145	48	1017499,754	1039863,301
38	DMS38-05	Diaclasas	55	60	1017499,754	1039863,301
38	DMS38-06	Diaclasas	177	85	1017499,754	1039863,301
39	DMS39-01	Estratificación	305	30	1020511,352	1041292,813
39	DMS39-02	Estratificación	327	42	1017499,754	1039863,301
39	DMS39-03	Estratificación	287	25	1020449,205	1040942,843
39	DMS39-04	Estratificación	315	25	1019064,345	1040130,75

Fuente: Propia.

En función de los datos anteriores, se presenta un predominio de estructuras de estratificación con dirección de buzamiento hacia el NW, con ángulos inclinación que oscilan entre 19° y 90°.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Como se puede observar en las imágenes en mención, las direcciones de buzamiento coinciden por las tendencias estructurales del flanco occidental del anticlinal de Sopo-Sesquilé, como se mencionó previamente (buzamiento al NW).

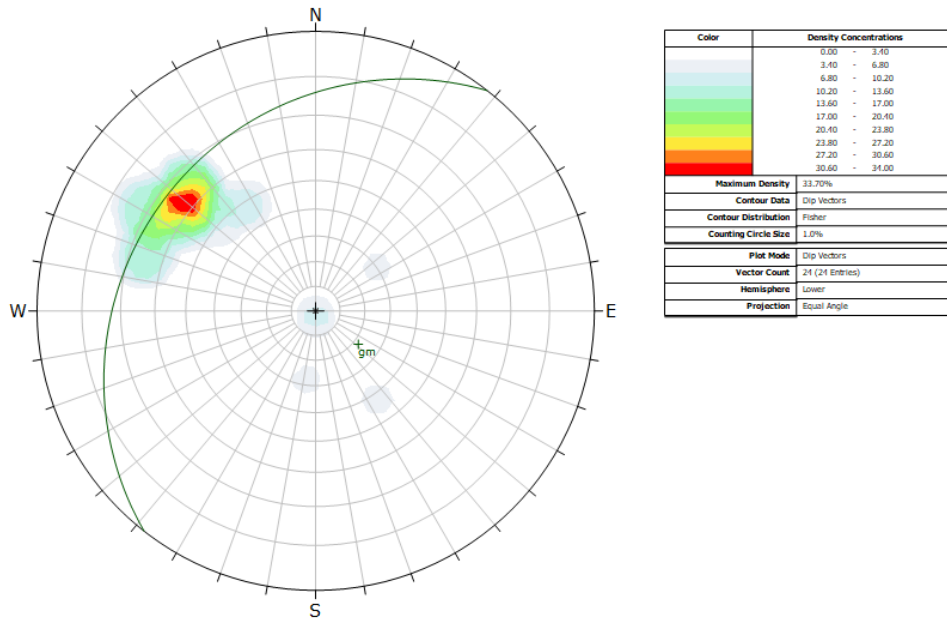


Figura 3-28. Proyección estereográfica de direcciones de buzamiento obtenidas.
Fuente: Propia

Quantitative Chart of Processed Dip Direction

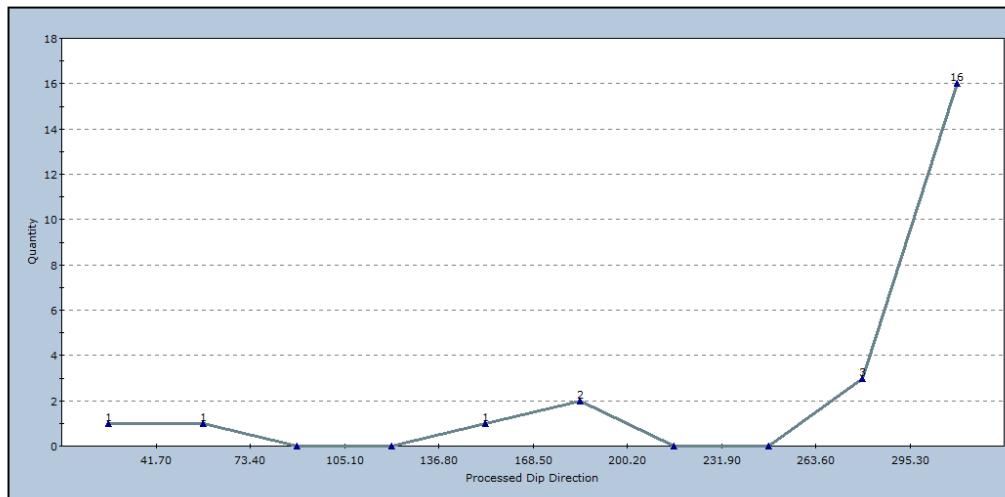
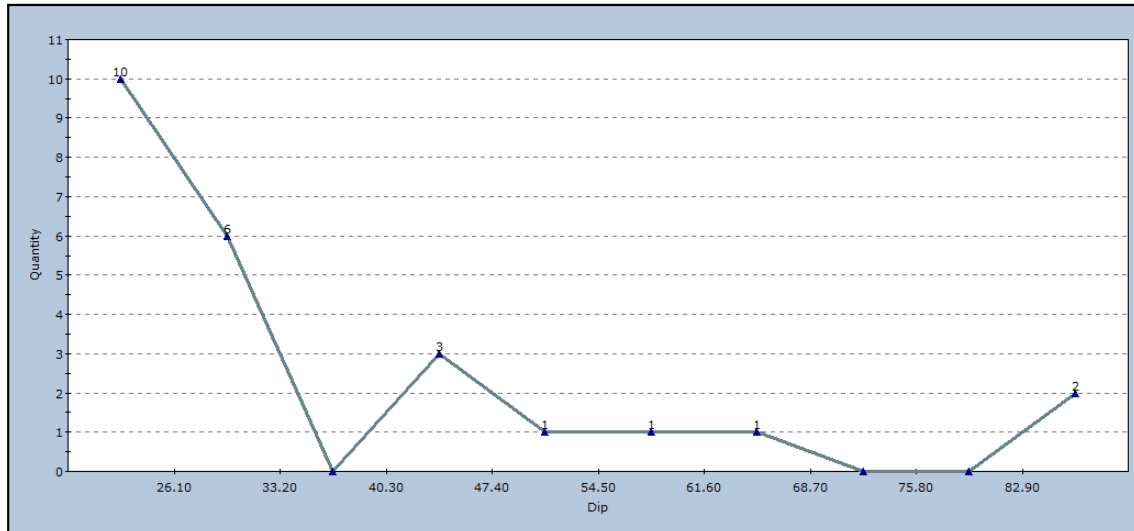


Figura 3-29. Histograma de direcciones de buzamiento obtenidas.
Fuente: Propia

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Quantitative Chart of Dip



mean=37.0417 s.d.=19.3581 min=19 max=90

Figura 3-30. Histograma de ángulos de inclinación obtenidos.
Fuente: Propia

En cuanto a la dirección de rumbo de las estructuras, como se observa en la Figura siguiente, la tendencia corresponde a la dirección SW-NE.

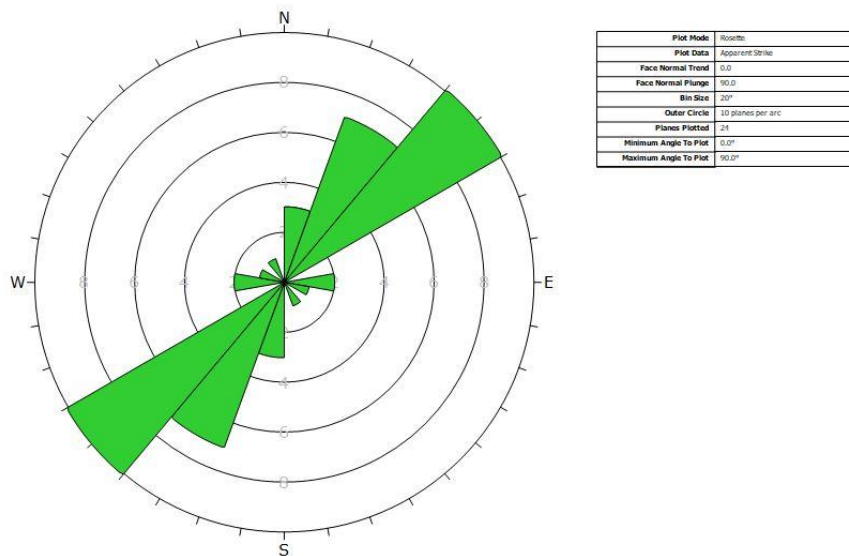


Figura 3-31. Diagrama rosa de dirección de rumbo de estructuras geológicas.
Fuente: Propia

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Determinación de los mecanismos de falla.

En la Figura siguiente, se muestran los esquemas de Representación estereográfica de los planos de discontinuidad con respecto a la orientación del talud para distintos mecanismos de falla según Hoek & Bray 1981.

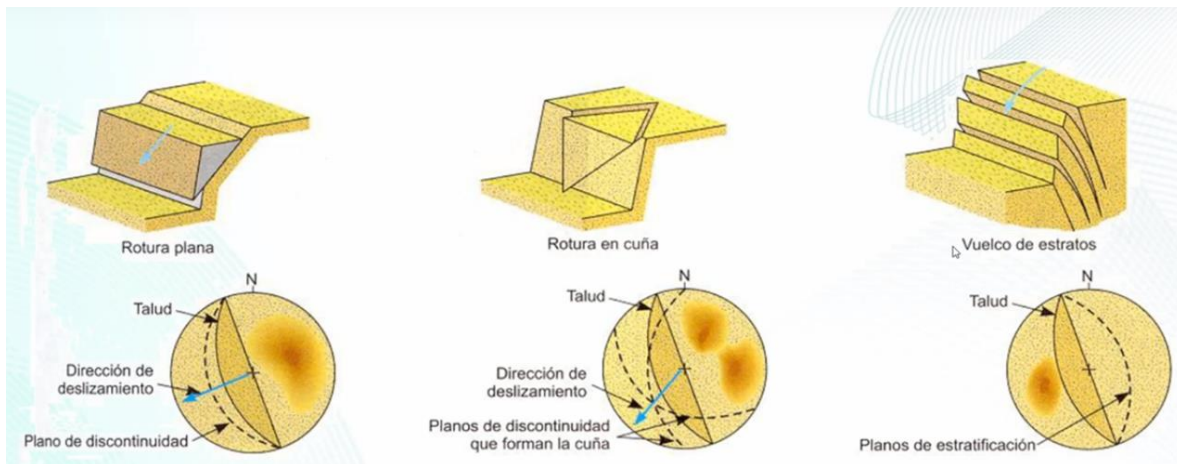


Figura 3-32. Mecanismos de falla según Fuente: Hoek & Bray 1981.

En función de las proyecciones estereográficas procesadas en el *DIPS*, se procede a realizar un modelo iterativo para determinar la probabilidad de falla planar, en cuña y por volcamiento, considerando además la dirección de buzamiento del talud del punto 35 que corresponde a 306° grados con pendiente media de 32°, como también se tuvo en cuenta el ángulo de fricción determinado en la caracterización geotécnica que para la formación Labor - Tierna UGI: Ria-K2t oscila entre 56° y 58°.

- Falla planar.

Para la UGI Ria-K2t, como se observa en la Figura siguiente, se determinó una probabilidad de falla planar del 0%.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

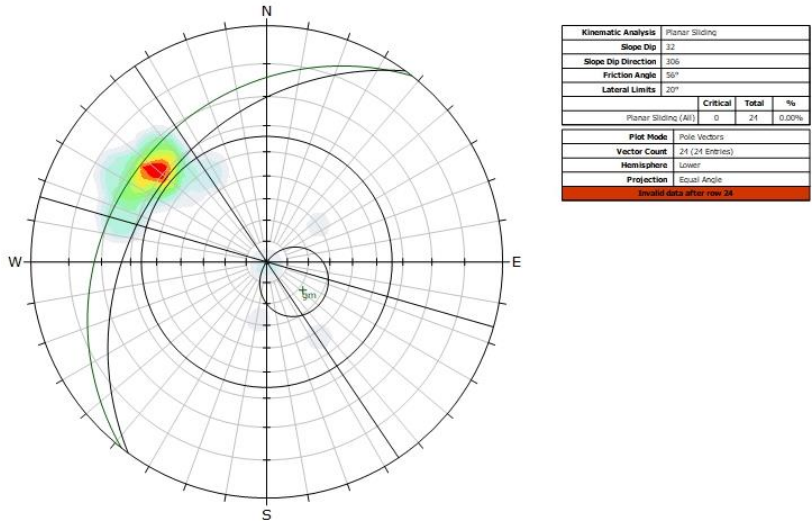


Figura 3-33. Falla planar.
Fuente: Propia.

- Falla en cuña.

Para un ángulo de fricción de 56° para la UGI Ria-K2t, se determinó una probabilidad de falla en cuña del 0%, como se evidencia en las envolventes que se muestran en la Figura siguiente.

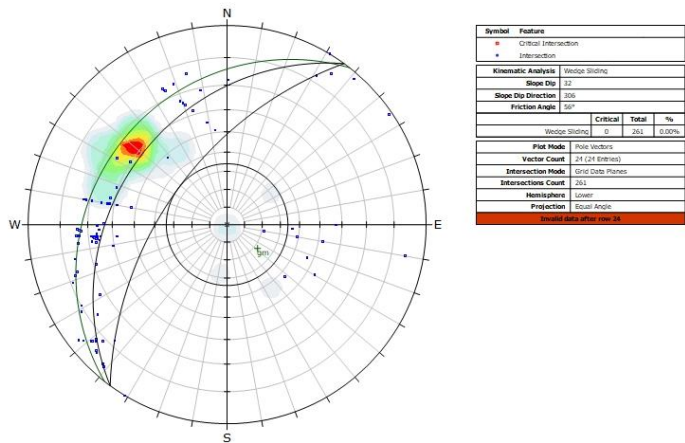


Figura 3-34. Falla en acuña.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- Falla por volcamiento directo

Con un ángulo de fricción de 56°, para la UGI Ria-K2t, se determinó una probabilidad de volcamiento directo del 79,17%.

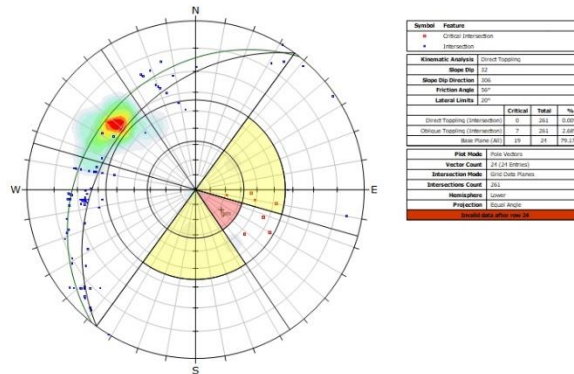


Figura 3-35. Falla por volcamiento directo.
Fuente: Propia.

- Falla de volcamiento por flexión.

En función de los parámetros previamente relacionados la probabilidad de falla por volcamiento flexural tanto para UGI Ria-K2t, es del 0% como se muestra en la siguiente figura:

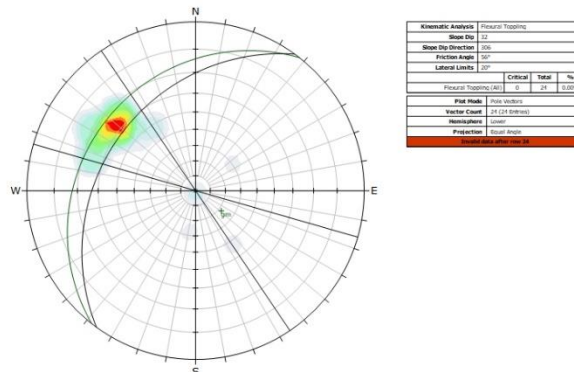


Figura 3-36. Falla de volcamiento por flexión.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Caracterización del macizo rocoso

La caracterización del macizo rocoso se realizó a partir del **Índice de Resistencia Geológica (GSI, por sus siglas en inglés)** propuesto por Hoek (1994). Este índice está basado en la evaluación del macizo a nivel estructural y al estado de las superficies de discontinuidades, su valor se estima a través de un examen visual al macizo expuesto en el afloramiento. Una vez hecho el análisis, se hace uso de la tabla que aparece en la figura 3-37 y se elige la situación que más se acerca a la realidad del macizo, obteniendo de esta forma el valor del GSI.

Tal y como se observa en la Figura siguiente los valores del GSI varían entre 1 y 100, donde los valores cercanos al 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión.

De manera general, las familias de diaclasas presentan una persistencia de baja (1 - 3m) y con aberturas moderadamente abiertas y amplias (2,5 - 10 mm). Las superficies de las diaclasas se encuentran secas y teñidas con manchas de óxido y con ondulaciones. Las diaclasas son rugosas.

También se definió el grado de meteorización de las rocas utilizando los perfiles generados por Deere y Patton (1971), Dearman (1974, 1991) y Forero et al. (1999).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

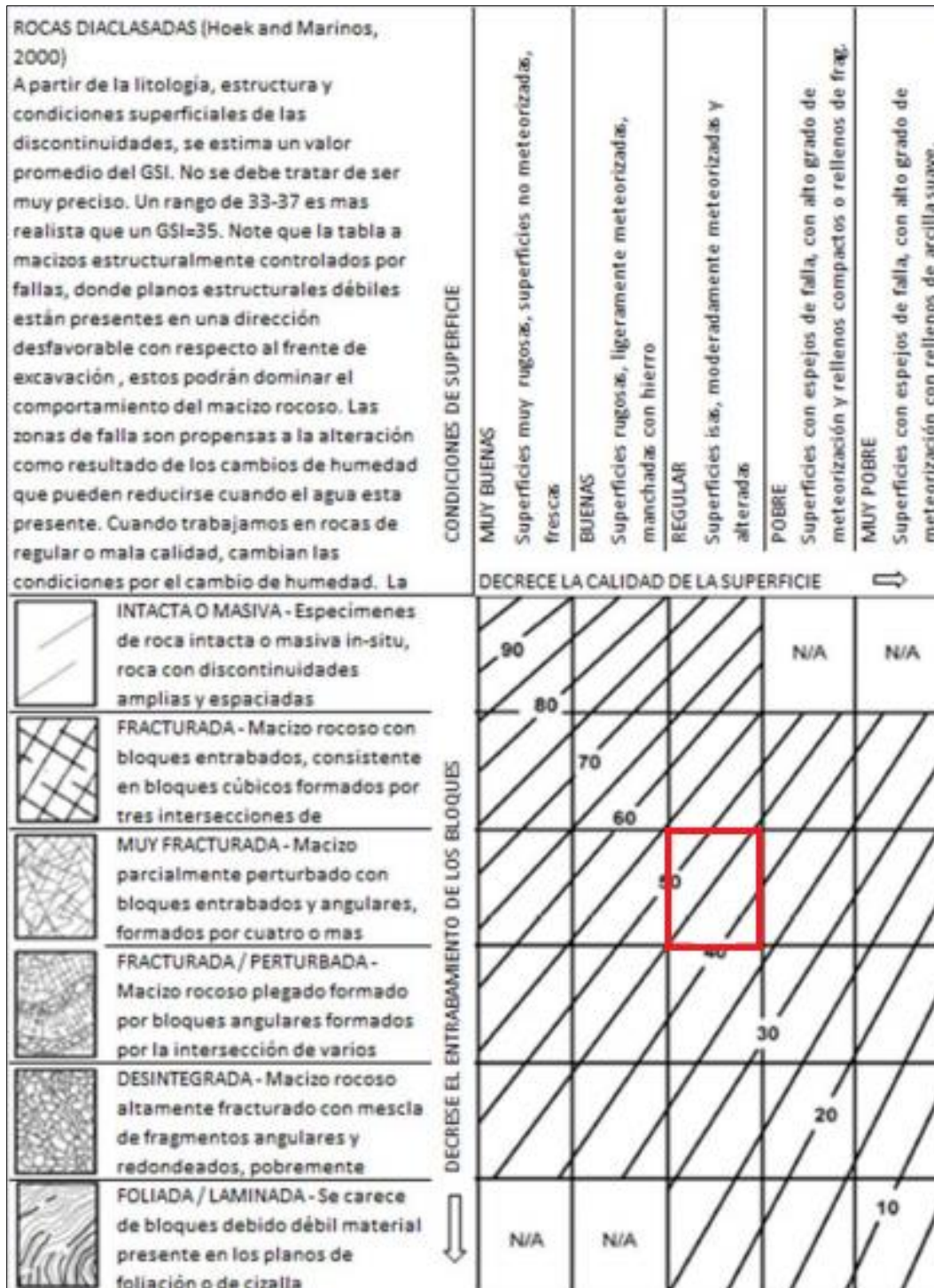


Figura 3-37. Estimación del GSI, basado en observaciones geológicas.
Fuente: Hoek et al., 2002.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

DEERE Y PATTON (1971) (TODAS LAS ROCAS) ZONA		DEARMAN (1974-1991) (TODAS LAS ROCAS)		FORERO ET AL, (1999) (TODAS LAS ROCAS)		DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CAMPO
ZONA	ZONA	GRADO	UNIDAD	GRADO	UNIDAD	
I - SUELO RESIDUAL	IA. HORIZONTE A (Capa vegetal)	SUELO RESIDUAL (Sr)	VI	SUELO	SUELO RESIDUAL TROPICAL (SUELO IN SITU) >50% Suelo	<ul style="list-style-type: none"> Las capas superiores, ricas en materia orgánica, contienen humus y restos de raíces de plantas; generalmente de color gris oscuro. Todo el material rocoso es convertido a suelo. La macro fábrica y la estructura original es destruida. Característicamente arcillo-limoso. Suelo sin estructuras heredadas.
	IB. HORIZONTE B					
IC. HORIZONTE C (SAPROLITO) (Roca descompuesta)	ROCA COMPLETAMENTE METEORIZADA (Rpm)	V	SUELO	SAPROLITO FINO	<ul style="list-style-type: none"> Roca decolorada pasando generalmente a colores variados. Macizo rocoso completamente descompuesto y/o desintegrado a suelo, pero aun conservando algo de la macro fábrica original. Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas y fallas) se conservan. Presencia de fragmentos rocosos entre 10 y 35%, fácilmente excavable y desmenuzable, aun sin ayuda del martillo. Ocasionalmente pueden recobrase núcleos. Suelos con estructuras heredadas. 	
II -ROCA METEORIZADA	IA TRANSICIÓN DESDE SAPROLITO HASTA ROCA METEORIZADA	ROCA ALTAMENTE METEORIZADA (Ram)	IV	ROCA Y SUELO - MATERIAL INTERMEDIO	SAPROLITO GRUESO	<ul style="list-style-type: none"> Roca decolorada y altamente alterada, en la cual más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. Fragmentos rocosos rompibles y desmenuzables sin ayuda del martillo. Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas y fallas) se mantienen, en general se presentan oxidadas, abiertas, con o sin relleno. Saprolito con fragmentos pequeños de roca. Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas y fallas) se conservan. Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas y fallas) se conservan. La meteorización esferoidal es común. Presencia de fragmentos de roca sin meteorizar entre 35 y 70%.
	IIIB ROCA PARCIALMENTE METEORIZADA	ROCA MODERADAMENTE METEORIZADA (Rmm)	III	ROCA Y SUELO - MATERIAL INTERMEDIO	MACIZO ROCOSO METEORIZADO >50% Roca	<ul style="list-style-type: none"> La roca se presenta altamente decolorada con notable meteorización, en la cual menos del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. Material rocoso rompible y excavable con ayuda del martillo y otras herramientas. Las discontinuidades pueden estar oxidadas y abiertas, con o sin relleno. Bloques de roca sin entramamiento.
III -ROCA NO METEORIZADA	III ROCA FRESCA	ROCA DÉBILMENTE METEORIZADA (Rdm)	II	ROCA	MACIZO ROCOSO NO METEORIZADO	<ul style="list-style-type: none"> Macizo rocoso débilmente decolorado. La roca puede estar decolorada en las superficies de las discontinuidades, las cuales pueden estar abiertas y oxidadas; la roca es dura resistente, excavable con ayuda de otras herramientas. Bloques de roca sin entramamiento.
		ROCA NO METEORIZADA (FRESCA) (Rf)	I	ROCA	MACIZO ROCOSO NO METEORIZADO	<ul style="list-style-type: none"> Roca fresca sin signos visibles de meteorización. Las discontinuidades mayores pueden presentar ocasionalmente decoloración y oxidación. +C1:19

Figura 3-38. Comparación de Perfiles de Meteorización de un macizo rocoso según Deere y Patton (1971), Dearman (1974, 1991) y Forero et al. (1999).

Fuente: Servicio Geológico colombiano, 2017

En función de la caracterización geomecánica previamente presentada, se estima un rango de valor GSI para la formación “Labor-Tierna” (según las UGI: Ria), entre 40 y 50. Tal y como se observa en la figura anterior, lo que permite definir que el macizo es de calidad regular.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

El valor del GSI se definió a partir de la evaluación visual de los afloramientos y los registros de perforación. Para ello, inicialmente se determinó que el grado de fracturamiento de la roca varía de fracturada a poco fracturada, el cual se corrobora con las escasas discontinuidades que se localizan en el macizo, de igual manera se definió que la roca esta moderadamente meteorizada, lo cual es coherente con el rango de GSI asignado.

3.3.4. GEOMORFOLOGÍA**3.3.4.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL**

Para la obtención del apartado de geomorfología regional se realizó el análisis de la información disponible en el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). A continuación, se referencia el resumen de la información:

El punto, que se localiza en el municipio de Tocancipá departamento de Cundinamarca (E: 4896902m, N: 2103481m), altitud 2670msnm y se caracteriza por tener un relieve montañoso abrupto, disectado por quebradas que conforman una red hidrológica con una morfología de tendencia rectangular a subparalela.

El modelado geomorfológico del sector se ha originado a partir de factores estructurales, litológicos y climáticos. Desde un punto de vista tectónico, hay un dominio de las fallas de dirección NE que condicionan la orientación de las principales lineaciones montañosas y cauces fluviales. Las litologías dominantes, rocas de naturaleza clástica y pelítica de edad Cretácica, son favorables a los procesos de meteorización que dan lugar a suelos residuales de tipo arcilloso a limoso de varios metros de espesor. De este modo, las laderas constituidas por estas rocas son susceptibles a los fenómenos de remoción en masa, principalmente deslizamientos y reptaciones, que pueden verse favorecidos por la orientación de la estratificación y las diaclasas, las condiciones climáticas, así como por eventuales episodios sísmicos.

Las principales geoformas que se presentan en la zona del proyecto son crestas, laderas y valles, que corresponden respectivamente a ambientes estructurales, denudacional y fluviales como se muestra esquemáticamente en la Figura siguiente:

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

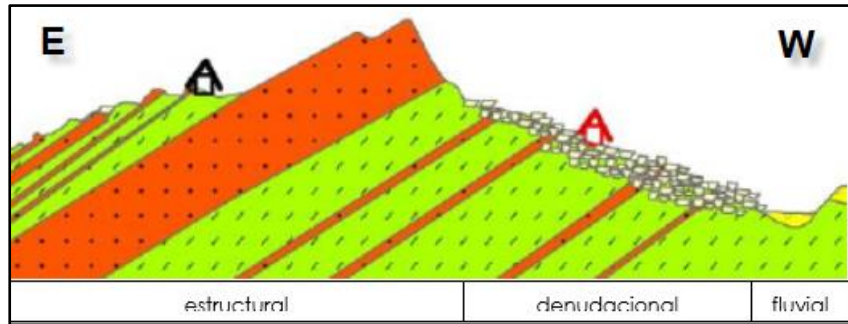


Figura 3-39. Perfil esquemático de unidades geomorfológicas.
Fuente: (Servicio Geológico Colombiano – SGC, 2022)

En la siguiente Figura se muestra la distribución espacial de las unidades geomorfológicas identificadas a nivel regional.

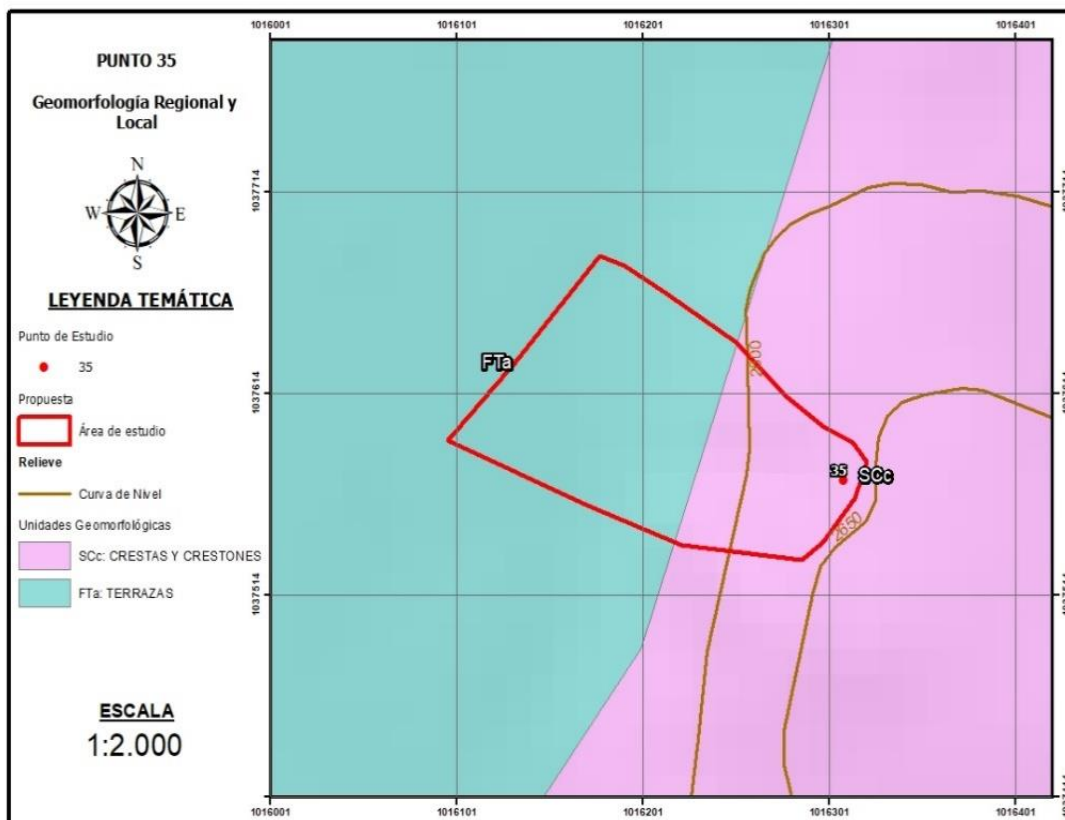


Figura 3-40. Mapa de unidades geomorfológicas.
Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2022).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Los rasgos característicos de cada una de estas unidades geomorfológicas se muestran a continuación.

Tabla 3-32. Caracterización de unidades geomorfológicas.

AMBIENTE	UNIDAD	CARACTERÍSTICAS
Estructural	Crestas y crestones	Rocas sedimentarias poco consolidadas y se caracteriza por la presencia de dos superficies: un revés y un frente.
Fluvial	Terrazas	Planicies aluviales con pendientes suaves (<7%), Bajo grado de disección

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 2022).

RELIEVE Y SUELOS.

La localización del sitio presenta pendientes fuertemente quebradas, moderadamente escarpadas y escarpadas, siendo habitual la presencia de depósitos coluviales originados por procesos de remoción en masa. Por su parte, hacia la parte baja del área de estudio se presenta una planicie aluvial en aspecto de terraza influenciado por depósitos del río Bogotá y sus afluentes, con morfología desde plana hasta fuertemente ondulada.

En los mapas de pendientes y de suelos que se muestran a continuación, se aprecian los rasgos mencionados, la localización en un paisaje montañoso, de tipo de relieve en crestones, clima frío, en general por encima de los 2670 msnm y la preponderancia de los suelos denominados MMVf que corresponden a zonas con pendientes fuertemente quebrado a moderadamente escarpado, afectado en sectores por erosión hídrica moderada y severa, menor suelos RMRa.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

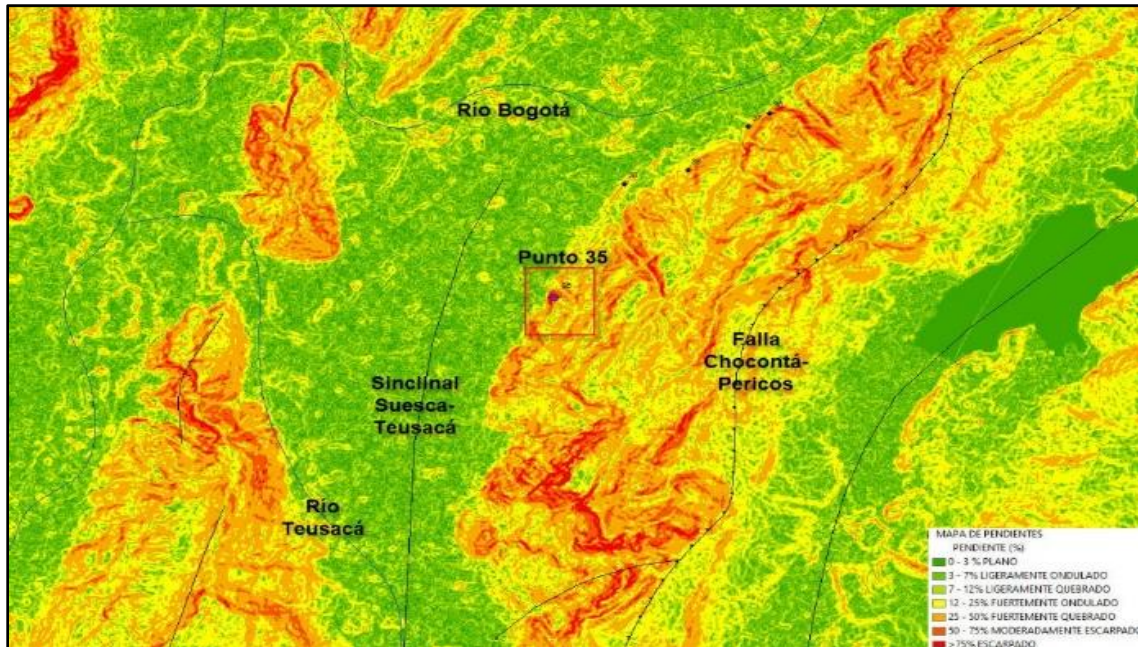


Figura 3-41. Mapa de pendientes.
Fuente: Tomado y modificado del SGC.

3.3.4.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Para realizar el análisis detallado de la geomorfología del área de estudio, se siguió la metodología propuesta por el SGC (Carvajal, 2012), por lo tanto, inicialmente se realizó el procesamiento e interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y modelo de elevación digital, permitiendo delimitar las subunidades del área, que posteriormente, fueron validadas o modificadas a partir de la visita de campo.

3.3.4.2.1. *Subunidades geomorfológicas*

El término unidad geomorfológica se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico constructivo o destructivo (acumulación o erosión), típico de un ambiente morfogenético dado. Está determinada con criterios genéticos, morfológicos y geométricos.

Es así pues que las subunidades geomorfológicas corresponden a una subdivisión de las unidades geomorfológicas. Está determinada fundamentalmente por los contrastes

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de éstos con la correspondiente topografía del terreno (Carvajal Perico, 2012).

Morfogénesis

La morfogénesis estudia el origen y la evolución de las formas del terreno y hace parte fundamental del proceso de identificación, delimitación y descripción de estas basado en la relación entre su origen y la interacción dinámica entre agentes endógenos y exógenos como el agua, el hielo, el viento y actividades antrópicas.

La información morfogenética, se representa en forma de unidades geomorfológicas. Los parámetros de evaluación morfométrica permiten caracterizar una geoforma en su orden espacial individual y en su entorno. La morfogénesis junto a la morfocronología recopila, explica y sintetiza la evolución geológica del relieve y sus modelados (Materiales & Maurel&Prom, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se presentan las subunidades geomorfológicas identificadas y agrupadas por su ambiente:

Tabla 3-33. Relación de unidades geomorfológicas identificadas a nivel local

Ambiente	Nomenclatura	Subunidad geomorfológica
Fluvial	Lp	Planicie
Denudacional	Dco	Cono y lóbulo de solifluxión
	Dloe	Laderas onduladas escarpadas

Fuente: Propia

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

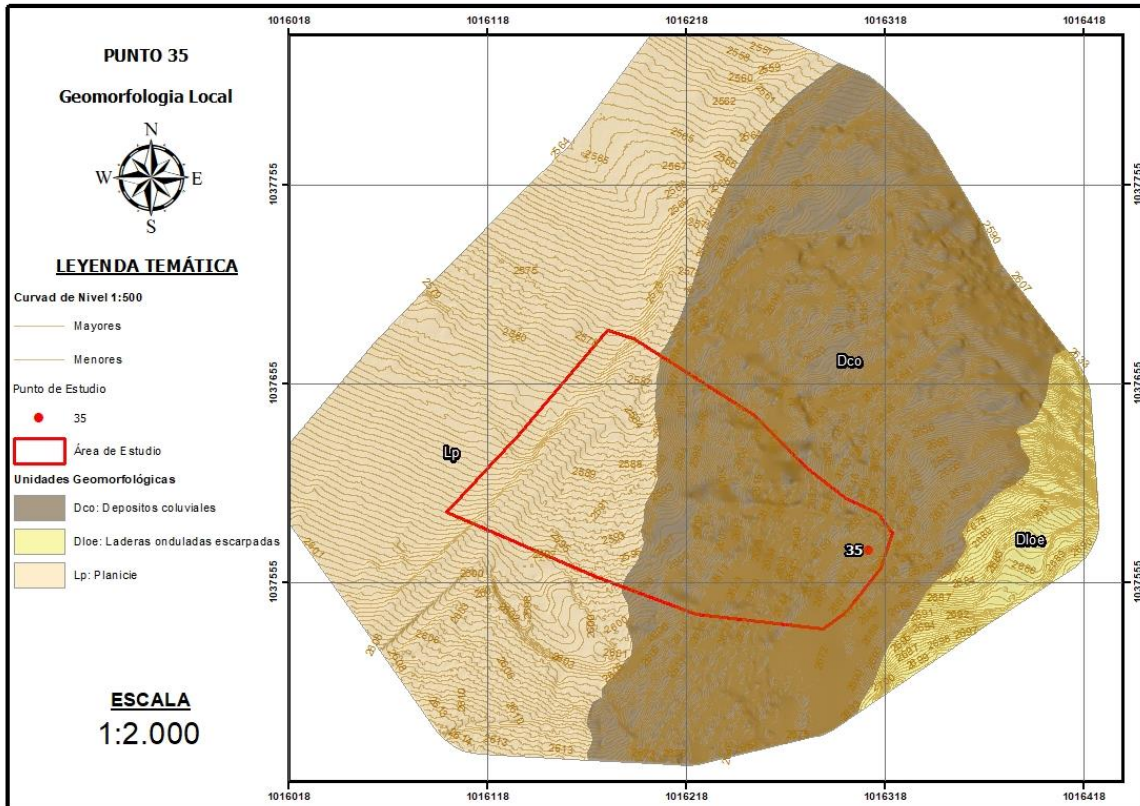


Figura 3-42. Geomorfología local
Fuente: Propia

En la Figura siguiente, se visualiza el área de influencia del proyecto en 3D; en el costado izquierdo se observa las subunidades geomorfológicas identificadas, en contraste con la ortofoto, que permite tener una visión general de los rasgos del relieve.

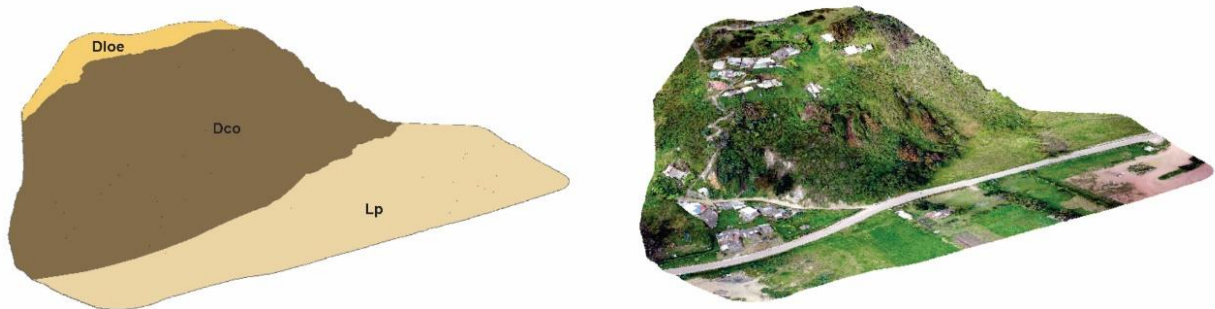


Figura 3-43. Área de influencia en 3D.
Fuente: Propia

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- Subunidades geomorfológicas de origen fluvial y lacustre

Incluye las geoformas que se originan por procesos erosivos de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación en zonas aledañas a dichas corrientes o cuencas restringidas.

- Planicie (Lp):

Corresponde a porciones de terreno extensas, con morfología plana, de posición baja y pendientes planas a suaves, generalmente menor a 5°. Esta subunidad se encuentra al oeste del área de estudio.

- Subunidades geomorfológicas de origen denudacional

Está relacionado a procesos exógenos con una intensa meteorización con posterior erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que moldean y remodelan las unidades preexistentes dejando remanentes de las geoformas morfoestructurales y creando nuevas geoformas por la acumulación de sedimentos.

- Cono y lóbulo de soliflucción (Dco):

Subunidad geomorfológica en forma de cono o lóbulos de longitudes cortas a largas, de formas convexas e inclinaciones suaves a abruptas, con morfologías generalmente alomadas bajas. Se originan por procesos de transporte y acumulación de materiales sobre las laderas tanto por procesos de escorrentía superficial como por flujo lento y viscoso de suelo saturado y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a arena limo-arcillosa. Esta subunidad se localiza en la zona centro y este del área de interés.

- Laderas onduladas escarpada (Dloe):

Localizada al este de la zona de estudio, corresponde a superficies en declive de morfología alomada o colinada, con pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdentítico a subparelo. Estas laderas se pueden

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

formar en suelos residuales y depósitos coluviales. Su origen está asociado con procesos erosivos, de disección intensa y movimientos en masa.

Procesos morfodinámicos

En el sector de Patiño, se observa materiales superficiales depositados sobre roca altamente meteorizada de color marrón rojizo y marrón amarilloso; es una corona de deslizamiento reciente y activo, a su vez es el principal detonante de la saturación del suelo por lluvia. La fuerte pendiente y la no consolidación de los materiales es el factor condicionante para dicha saturación que se encuentra afectando viviendas familiares, áreas de pastoreo y animales de corral para el sustento de familia.

De acuerdo con el procesamiento e interpretación de imágenes satelitales se realizó una identificación preliminar de los procesos morfodinámicos presentes en el área del proyecto y posteriormente, se realizó la verificación y caracterización de los mismos a partir de inspecciones de campo.

Se identificaron procesos de remoción en masa donde actúan procesos morfométricos de reptación, erosión laminar y deslizamientos en los taludes, estos se exponen en la tabla y Figura expuestas a continuación:

Tabla 3-34. Inventario de Procesos.

Punto	Nomenclatura	Tipo	Tipo de proceso	Coordenada media E	Coordenada media N
35	PM35-01	Polilínea	Reptación	1016278,835	1037600,97
35	PM35-02	Polilínea	Reptación	1016280,668	1037620,233
35	PM35-03	Polilínea	Reptación	1016291,74	1037620,291
35	PM35-04	Polilínea	Reptación	1016291,87	1037600,979
35	PM35-05	Polilínea	Escape	1016306,993	1037569,064
35	PM35-06	Polígono	Deslizamiento rotacional	1016249,995	1037590,218

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

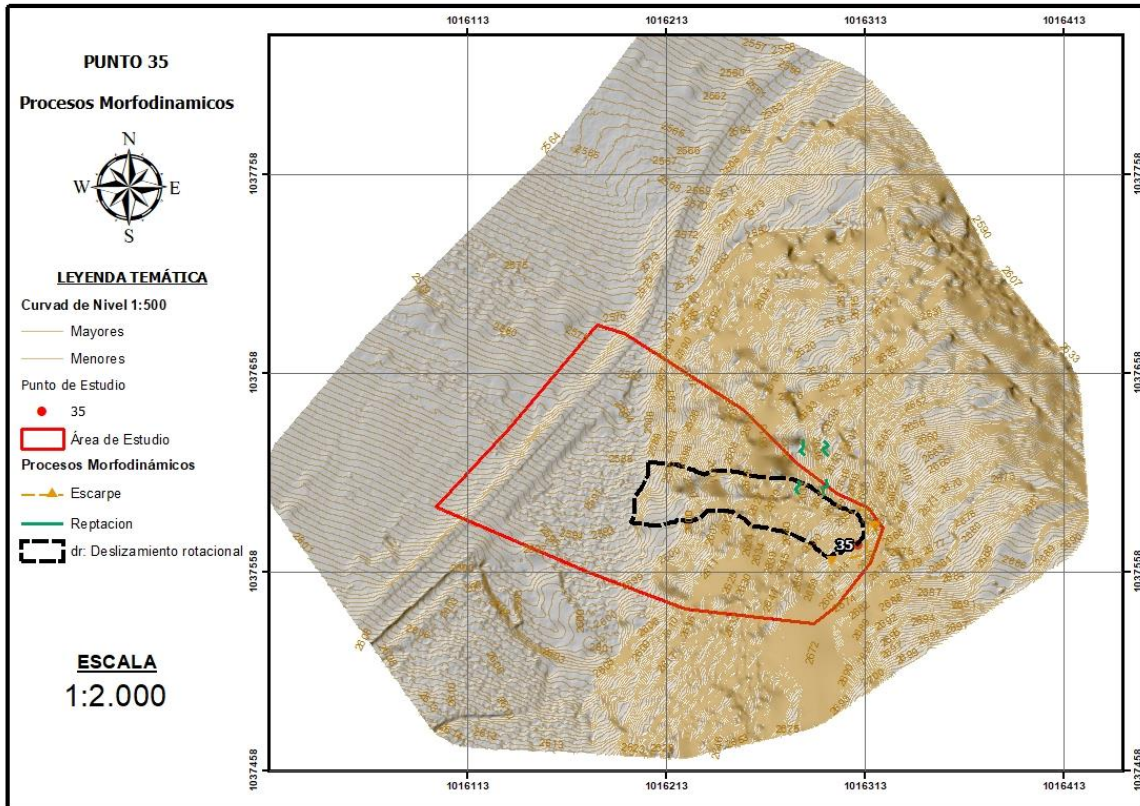


Figura 3-44. Procesos morfodinámicos
Fuente: Propia

- Reptación:

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. Se reconocen dos tipos: estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y continuo, cuando hay un desplazamiento de manera relativamente ininterrumpida.

Hacia la parte oriental del área de proyecto, se observan sectores con procesos de reptación.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- Deslizamientos:

Es un movimiento de ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de zonas relativamente delgadas sometidas a intensos esfuerzos de corte.

Los deslizamientos rotacionales ocurren a lo largo de superficies curvas y cóncavas hacia arriba. Debido a esa concavidad, en la rotación la superficie de la masa inestable se inclina hacia atrás, lo que permite un hundimiento en la zona adyacente a la corona y un ligero levantamiento en la pata. En cuanto a su velocidad, este movimiento es lento a moderadamente lento. La lentitud de un deslizamiento rotacional se debe en parte a que el mecanismo de rotación es auto estabilizante debido a que la fuerza de la gravedad disminuye con el incremento del desplazamiento

En la zona se identificaron algunos deslizamientos rotacionales que ocurren sobre un depósito coluvial, el cual cubre discordantemente rocas de la formación Labor- Tierna.

Análisis multitemporal

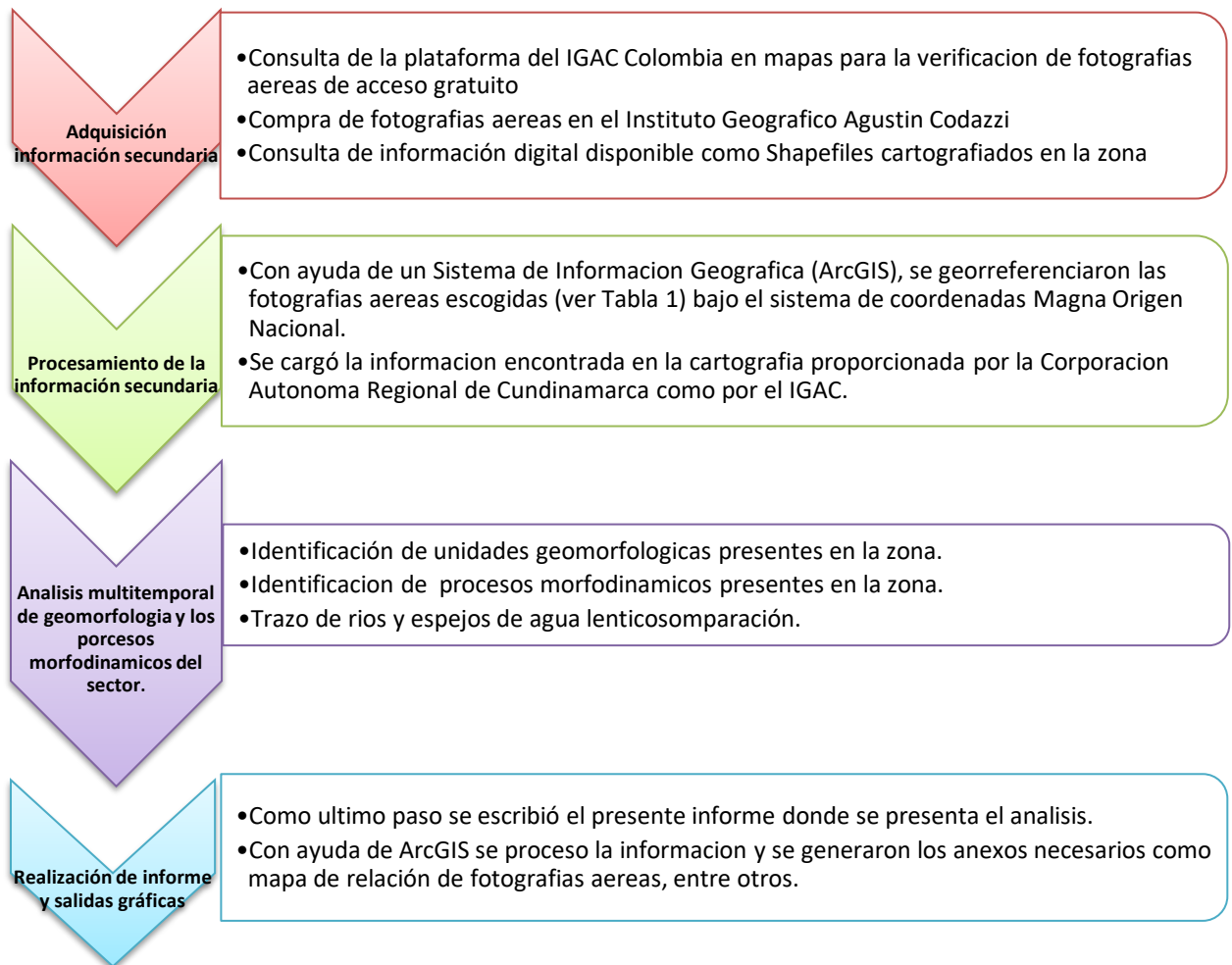
En este estudio, se realiza un análisis multitemporal que permite apreciar la evolución que ha tenido la zona de estudio en el Municipio de Tocancipá; y conocer como ha sido su dinámica a lo largo de los años en cuanto a su geomorfología y procesos morfodinámicos que modelan la superficie. Para esto, se utilizan fotografías aéreas e imágenes satelitales de diferentes años, y analizar conjuntamente como ha sido la dinámica del territorio lo largo de los años.

A continuación, se presenta el análisis multitemporal dentro del área de estudio para el punto de riesgo, con énfasis en la geomorfología y los procesos morfodinámicos superficiales asociados, y con el fin de definir la evolución temporal de las condiciones de los terrenos del área de interés. Para ello retrocediendo en el tiempo. Hay que tener en cuenta que el análisis se limita a las áreas que cubren las fotografías aéreas, ya que no son áreas iguales para cada año.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- Metodología

El enfoque metodológico utilizado para la realización del presente análisis se describe a continuación:



- Relación fotografías aéreas utilizadas

Las fotografías aéreas utilizadas como ya se mencionó anteriormente, se obtuvieron de forma gratuita a través del portal Colombia en mapas, posteriormente fueron georreferenciadas con ayuda de ArcGIS y utilizadas como insumo base para el análisis multitemporal de la geomorfología y los procesos morfodinámicos de la zona. Para el análisis multitemporal, se utilizaron fotografías aéreas de los años 2007, 2009 y 2021

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

(Imagen extraída de Google Earth Pro). A continuación, se exponen en tablas las fotografías utilizadas, el vuelo al que pertenecen, el año de adquisición y número de plancha, contiguo a esta se exponen las fotografías ya georreferenciadas.

Tabla 3-35. Relación fotografías aéreas.

PUNTOS DE RIESGO			
Vuelo	Imagen	Año	Fuente
209	iiid1	2007	www.colombiaenmapas.gov.co
	iiid3		
	iiic2		
	iiic4		
228	ia2	2009	www.colombiaenmapas.gov.co
	ib1		

Fuente: Propia

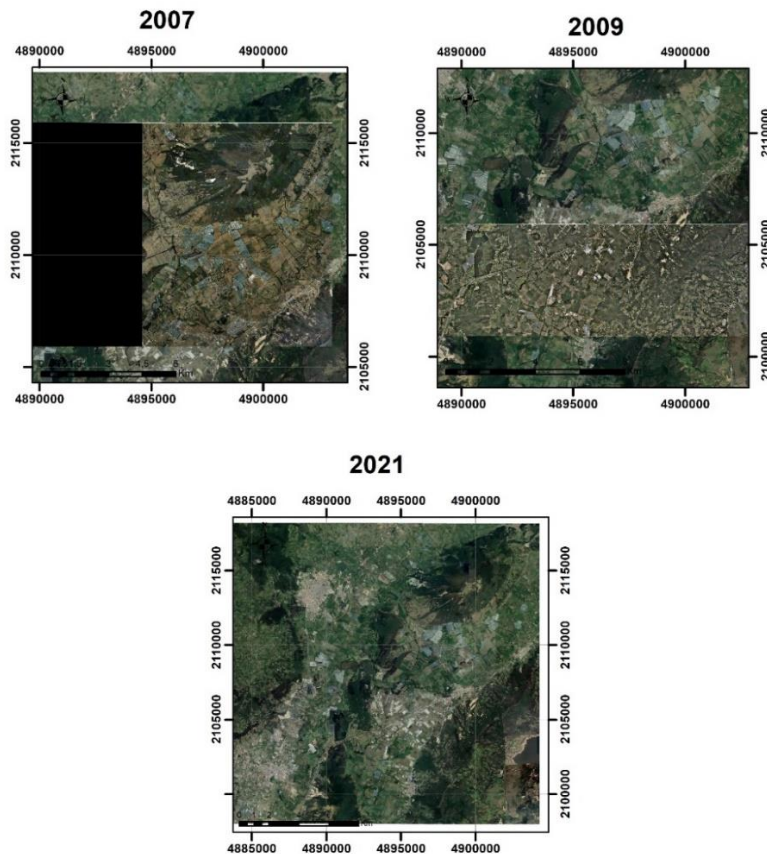


Figura 3-45. Relación de fotografías aéreas georreferenciadas de la zona de estudio

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Con base en el análisis de las fotografías aéreas, imágenes satelitales y las visitas realizadas al área de estudio, se identificaron procesos morfodinámicos de origen denudativos. En las fotografías aéreas e imágenes satelitales, la evolución de los procesos morfodinámicos denudativos se aprecia de mejor manera gracias al cambio y ausencia de la cobertura vegetal, pero esto depende en gran medida de la escala y definición de las imágenes.

Las mayores concentraciones de procesos erosivos se presentan en la ladera ondulada ubicada al oriente del punto, donde la ausencia de cobertura vegetal y formas del terreno evidencian la erosión.

De manera general, los procesos erosivos que han tenido lugar a los alrededores del punto de riesgo 35, por lo menos desde el año 2007 hasta la actualidad, no han presentado variaciones significativas, pero se presenta un aumento de procesos en algunos sectores especialmente al nororiente del punto, donde los procesos erosivos ya existentes han aumentado su extensión.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.3.5. FACTORES HIDROGEOLÓGICOS

En relación con el numeral de Hidrogeología, relacionado en el documento de Especificaciones Técnicas Detalladas, de la Fase III Modelación y Diseño de Obras de Ingeniería , a pesar de que no se presenta un capítulo específico relacionado con Hidrogeología, si se contemplan dentro del componente geotécnico, hidrológico e hidráulico, parámetros como las condiciones pluviométricas, climatológicas, así como variables geotécnicas asociadas a la presión de poros, permeabilidad, niveles freáticos, saturación, entre otras variables, para las cuales se tuvieron en cuenta condiciones normales y extremos de lluvia crítica, que se consideraron tanto para la modelación geotécnica como para la hidráulica.

De igual manera dentro de la elaboración del modelo geológico-geotécnico, se consideró la información geofísica adquirida en campo relacionada con líneas sísmicas de refracción (velocidades) y tomografías de resistividad, donde se obtuvieron parámetros hidrogeológicos de permeabilidad y porosidad de las formaciones geológicas de ingeniería analizadas, que se correlacionaron tanto con la información de los diferentes niveles estratigráficos que se identificaron a partir tanto del levantamiento geológico en superficie, como en los sondeos geotécnicos realizados con recuperación de muestras.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.4. HIDRÁULICA

El presente documento contiene el análisis hidráulico sobre el talud adyacente al punto 35 el cual fue priorizado por la CAR como un punto de mitigación de riesgo bajo el contrato 1633 de 2022 que tiene por objeto la elaboración de estudios y diseños de obras de ingeniería necesarios para el conocimiento y la reducción del riesgo en sitios críticos por procesos de remoción en masa, inundación y avenida torrencial en la cuenca del río Bogotá y otras cuencas priorizadas en jurisdicción de la corporación autónoma regional de Cundinamarca. En este punto se presenta un proceso de movimiento en masa en el talud adyacente a la comunidad ubicada en el costado derecho de la vía Tocancipá-Sopo, a 3 kilómetros de la salida vía Colpapel de la principal Bogotá-Tunja.

Este fenómeno se especula es producido por la condición de humedad del suelo, por lo cual en este documento se realizará el diseño del drenaje de escorrentía superficiales que discurren por esta ladera, mediante el diseño de 1 zanja de coronación en el talud superior próximo a la ubicación de las viviendas, ver figura 3-44, el objetivo principal de esta zanja de coronación corresponde a recibir las aguas lluvias provenientes del talud superior y medio, evitando de esta manera que se infiltren en el área donde se presenta el movimiento en masa, y posteriormente disponer de ellas en el alcantarillado y los drenajes naturales existentes en la zona.

El dimensionamiento de la zanja de coronación se llevará a cabo para el caudal asociado para el periodo de retorno de los 10 años. La dimensión de la cuneta se define con el software $H_{canales}$ y posteriormente se llevará a cabo una comprobación de diseño mediante una modelación hidráulica unidimensional empleando para tal fin el software HEC-RAS 6.1.

Tabla 3-36. Periodos de retorno para diseño de obras de drenaje.

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructuras de Caída	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: Invias.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.4.1. FOTOINTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Teniendo en cuenta el fenómeno que se presenta en la zona, correspondiente a una remoción en masa, la revisión de imágenes satelitales de la zona no ofrece información relevante para la alternativa de mitigación propuesta desde el punto de vista hidráulico, correspondiente a las zanjas de coronación.

3.4.2. METODOLOGÍA AGUAS CLARAS 1D

El software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) es modelo de dominio público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE. UU. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

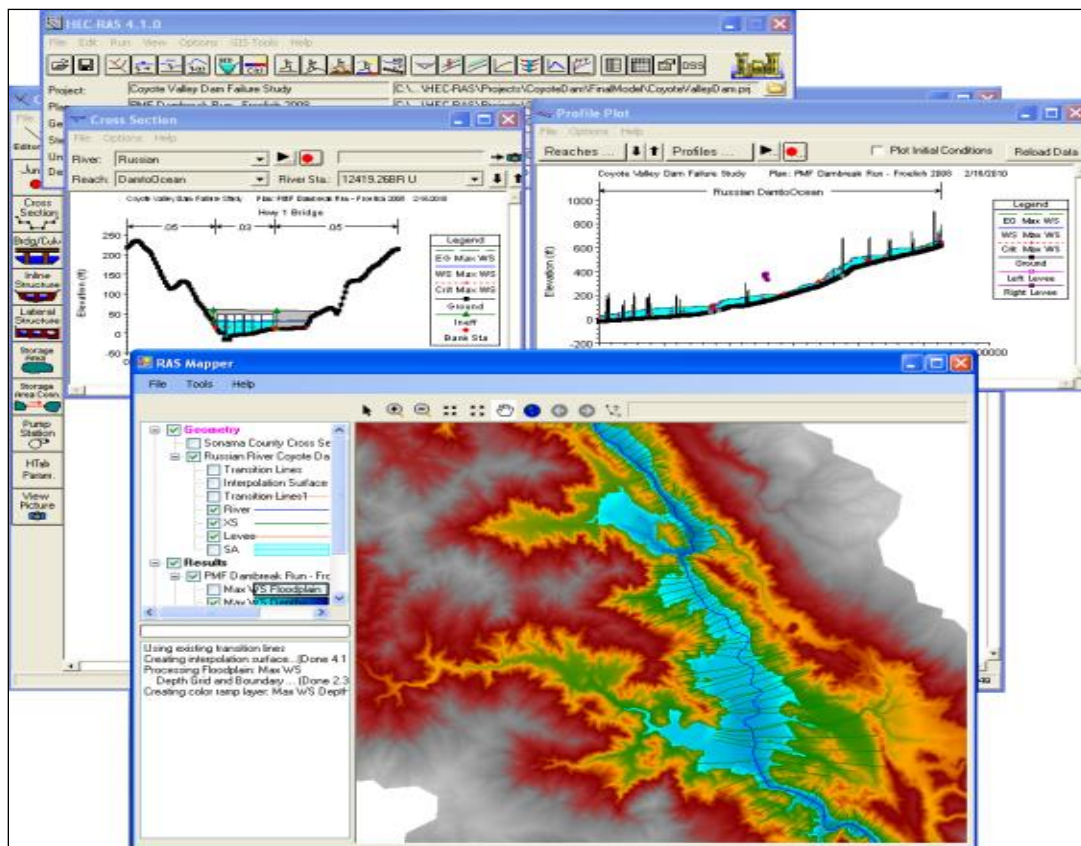


Figura 3-1. Interfaz gráfica del programa.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.4.2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Un modelo unidimensional en energías permite el cálculo en dominios con escalas muy grandes, de modo que la simulación de kms de la corriente se realiza con una velocidad de cálculo enorme (orden de segundos). Por tanto, la capacidad de repetición y corrección de un cálculo es muy alta.

El uso de la ecuación de la energía para el balance entre secciones, dada la incertidumbre existente en la estimación de las pérdidas de carga (resistencia al flujo), es un método bastante aproximado en problemas de gran escala (fluviales). La simplificación del flujo turbulento tridimensional a un flujo unidimensional es relativamente aceptable para grandes escalas (ríos y barrancos) con precisiones poco exigentes. Gran libertad geométrica: Permite el análisis con secciones naturales no regulares (secciones fluviales: cauce principal y llanuras de inundación). Es una gran ventaja sobre otro tipo de modelos hidráulicos existentes (y mucho más rígidos).

Facilidad de creación, modificación y edición de geometrías (entorno visual muy cómodo y rápido) e introducción de datos de rugosidad y estructuras transversales (puentes, obras de paso, aliviaderos). Gran comodidad de visualización de resultados y edición de figuras.

Este modelo mundialmente utilizado en la práctica simula la hidráulica del flujo para canales de cualquier tipo de sección transversal bajo flujo permanente o gradualmente variado, trabajando de acuerdo con la ecuación de Bernoulli:

Ecuación 3-3. Bernoulli.

$$Z1 + Y1 + (V1^2/2g) = Z2 + Y2 + (V2^2/2g) + h$$

En donde:

- Z: Nivel del fondo del canal aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado este término cabeza de posición, en m.
- Y: Lámina de agua aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado este término cabeza de presión, en m.
- V²/2g: Cabeza de velocidad aguas arriba (1) y abajo del tramo (2), denominado este término cabeza de velocidad, en m.
- h: Pérdidas de energía en el tramo, dividiéndose en pérdidas por fricción y localizadas, en m.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Se utiliza como la expresión más simple de un flujo de un fluido incompresible en nuestro caso el agua. Si se toma como referencia un tubo de flujo o volumen encerrado por las líneas de corriente en régimen permanente y debido a que no hay pérdida de masa o ganancia de esta en el interior de este tubo se cumple que:

Ecuación 3-4. Flujo de un fluido

$$Q = \frac{V_1 A_1}{V_2 A_2}$$

Esta expresión sencilla es una ayuda significativa a la hora de analizar cualquier flujo, pues se cumple siempre. Intuitivamente la expresión lo que indica es que el volumen se conserva pues la densidad es independiente de la posición y del tiempo. En esta ecuación Q es el caudal, v la velocidad y A el área normal al flujo. Esta idea sencilla de flujo normal hay que tenerla en cuenta a la hora de desarrollar modelos numéricos de flujo en cauces.

La ecuación de continuidad se puede expresar para canal rectangular o su equivalente para un cauce de un río. En la siguiente figura se observa la representación de un cauce natural y un canal.

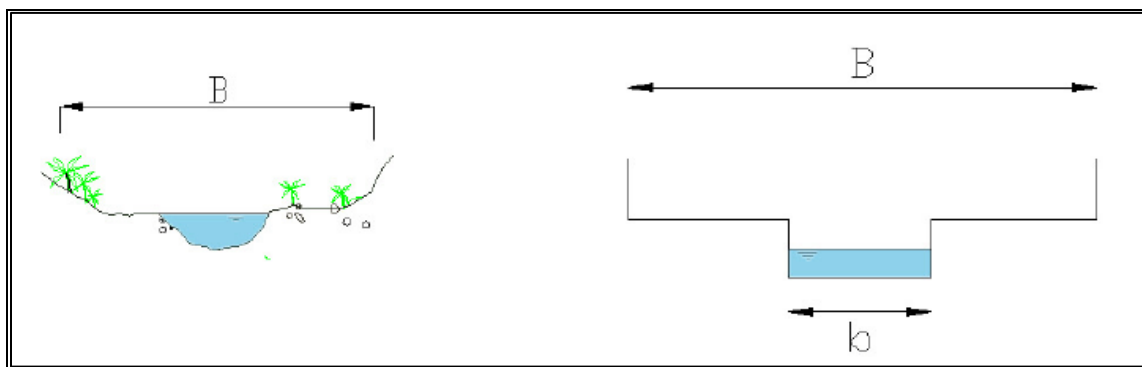


Figura. 3-2. Cauce y canal con llanura de inundación y cauce de aguas altas
Fuente: Propia.

3.4.2.2. ECUACIÓN DE ENERGÍA

En la Figura se observa el esquema de un tramo de canal y dos secciones separadas una distancia Dx, en las que se indican las tres magnitudes de energía que se deben equilibrar.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

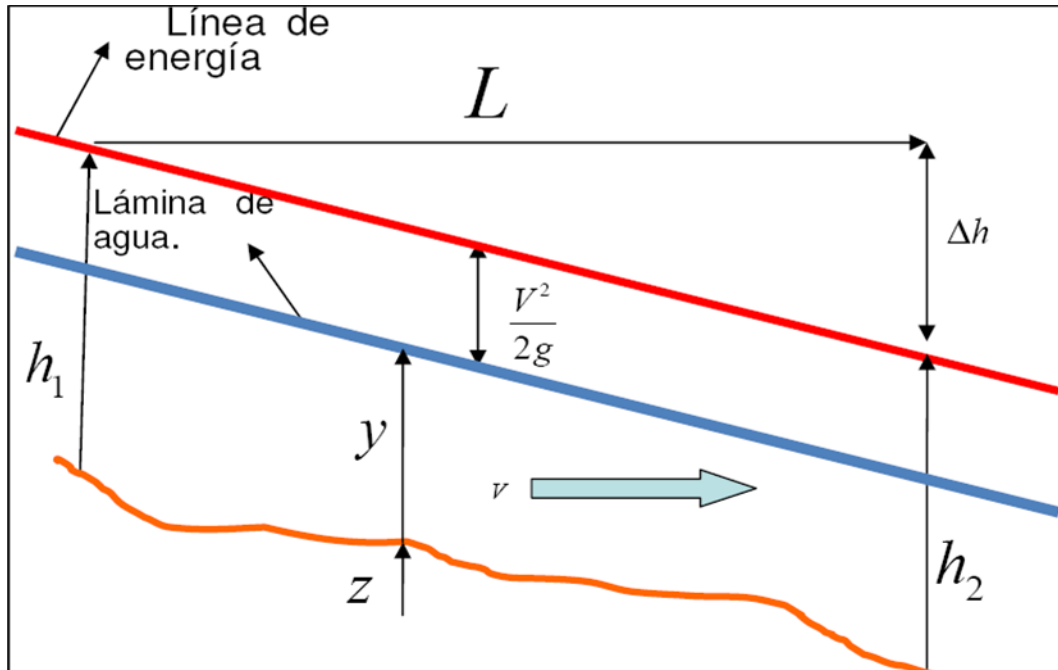


Figura. 3-3. Balance de energía en un tramo de cauce
Fuente: Propia.

El equilibrio energético se hace simplemente mediante la relación:

Ecuación 3-5. Equilibrio energético.

$$H_1 = H_2 + \Delta H$$

$$H = z + y + \frac{v^2}{2g}$$

En donde la energía total H se expresa mediante la suma de tres términos, el potencial, el de presión y el cinético.

La energía total siempre se relaciona con un nivel de referencia único para todas las secciones. Debido a que el valor de la energía potencial se debe medir desde el punto más bajo de la sección hasta el nivel de agua, y desde este último hasta la línea de energía se mide la altura de energía cinética del flujo y que esto es así para cualquier sección independientemente de su posición respecto de la cota de referencia; a esta suma se le suele denominar energía específica de esa sección. Esta energía se puede escribir de muchas formas entre otras como se plantea a continuación

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Ecuación 3-6. Energía específica.

$$E = y + \frac{v^2}{2g}$$

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad \rightarrow \quad \text{con} \quad v = \frac{Q}{A}$$

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad \rightarrow \quad \text{con} \quad q = \frac{Q}{B}$$

$$E = y + \frac{\bar{q}^2}{2g\bar{y}^2} \quad \rightarrow \quad \text{con} \quad \bar{q} = \frac{Q}{B}$$

Todas son ecuaciones de la energía específica de una sección de flujo y todas se componen de dos términos: el potencial y el cinético. Desde el punto de vista ingenieril todos los términos se expresan en magnitudes de “longitud” y las unidades son los “metros”.

3.4.2.3. APLICACIONES PRÁCTICAS DEL SOFTWARE

HEC-RAS es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelación de flujo en régimen permanente
- Modelación de flujo en régimen no permanente
- Modelación del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

Este software nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, incluso podemos incluir en el modelo la existencia de obras hidráulicas como puentes, conducciones, presas, etc, por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundación y determinación de zonas inundables.

El programa permite simular diferentes caudales y obras hidráulicas y permite obtener una gran variedad de resultados (resultados por secciones, resultados en forma de tablas, en forma de gráficos, visualización sobre imágenes georreferenciadas, etc).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.4.2.4. USO DEL SOFTWARE E INSUMOS**3.4.2.4.1. *SOBRE EL MODELO DIGITAL DE TERRENO:***

- Se definen las orillas y el eje del cauce.
- De acuerdo con la geomorfología del cauce implícita en el modelo de terreno, se discretiza en secciones transversales al eje del canal que definen el área transversal y cota batea del vaso, así como la morfología y pendiente transversal del área aferente. El número de secciones generado es específico para cada cuerpo lotico evaluado y depende de la geomorfología de este (meandros, pendiente longitudinal, rugosidades diferenciales, estructuras hidráulicas en línea, etc)
- Se correlacionan espacialmente las secciones transversales, respecto a la distancia entre ejes y orillas de una sección a otra, de igual forma se determina la pendiente entre secciones y el perfil longitudinal de flujo.
- Se definen las rugosidades específicas por tramo en función de la morfología del lecho, preferiblemente por métodos de medición directa (estación limnómetro o limnógrafo) o en su defecto por extrapolación de información obtenida de otros estudios para condiciones morfológicas similares.
- Se incluyen en el modelo estructuras hidráulicas en línea (culverts, puentes, compuertas, etc).
- Se alimenta el modelo hidráulico con los caudales obtenidos en el estudio hidrológico (flujo permanente y/o no permanente).
- Se generan las corridas del modelo y se definen los tramos con incapacidad hidráulica para cada uno de los periodos de retorno evaluados. De igual forma se evalúan estructuras que afectan la hidrodinámica natural del cauce evaluado.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.4.2.4.2. *FRONTERAS DEL MODELO*

Una vez implementada la topología en el modelo y cargados los caudales, es necesario definir las condiciones hidráulicas de frontera del tramo evaluado. En el caso de no conocer la lámina asociada al caudal (curva de descarga), se debe determinar la profundidad normal de flujo para cada caudal evaluado en los extremos topológicos del modelo. Conocida la profundidad normal se calcula el número de Froude, a partir del cual se define si el flujo es subcrítico o supercrítico, definiendo de esta manera el control hidráulico en el modelo.

3.4.3. CONCEPTUALIZACIÓN MODELO HIDRÁULICO

En este caso se implementará modelo hidráulico de flujo estacionario, este tipo de modelos requiere de los siguientes insumos:

3.4.3.1. ESPACIALIZACIÓN DE CAUDALES

Los caudales corresponden al caudal pico del periodo de retorno de 10 años obtenidos del estudio hidrológico del presente contrato, a continuación, se muestran los caudales que serán input del modelo.

Tabla 3-37. Caudales Pico.

Evento	Zanja	Caudal
TR 2.33 Años	1	0.19 m ³ /s
TR 5 Años	1	0.22 m ³ /s
TR 10 Años	1	0.25 m ³ /s

Fuente: Propia.

Este caudal es espacializado en el inicio de la zanja de coronación como se muestra a continuación.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

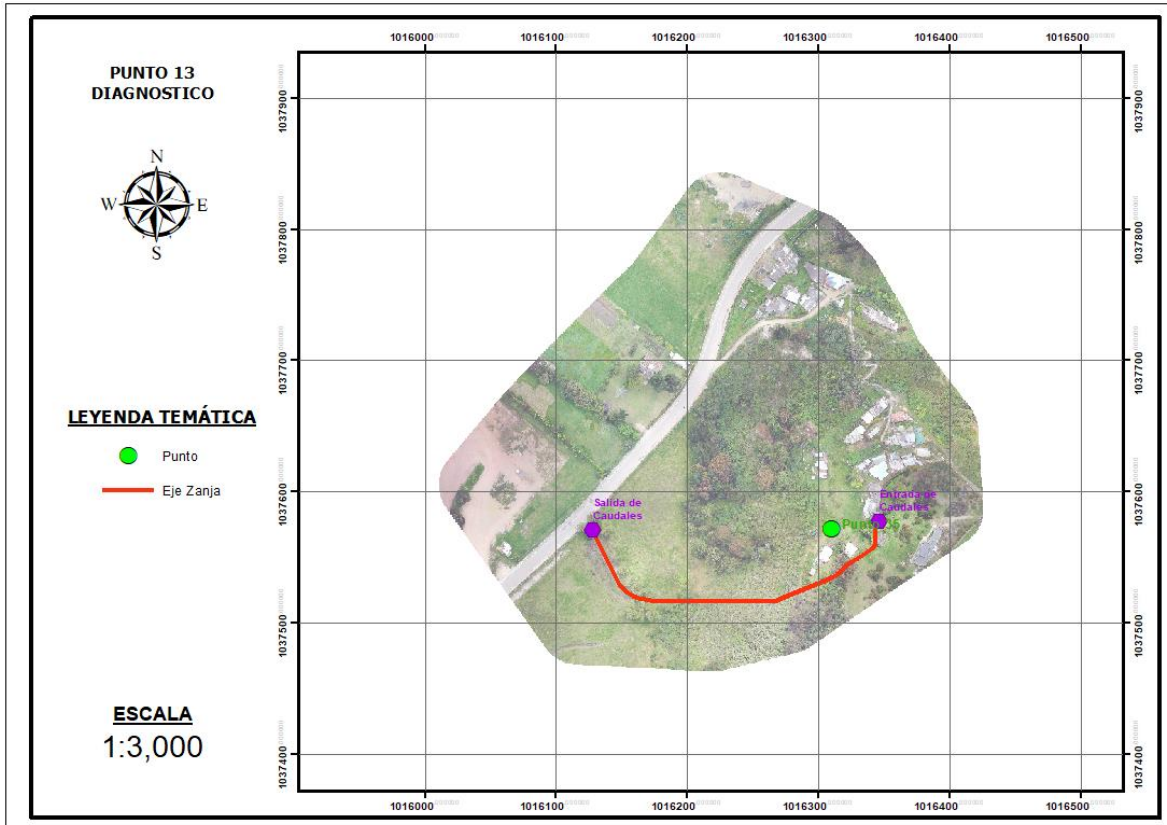


Figura. 3-4. Espacialización de Caudales.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO**3.4.3.2. GEOMETRÍA DEL MODELO**

La geometría del modelo se estableció con base al DTM generado a partir del levantamiento topobatemétrico realizado por la presente consultoría. Sobre el DTM se definió el eje del río y se trazaron sobre este, secciones transversales de 10 m de ancho cada 10 m (aumentando su número en curvas o zonas de meandro). A continuación, se muestra la esquematización del modelo en el software HEC-RAS.

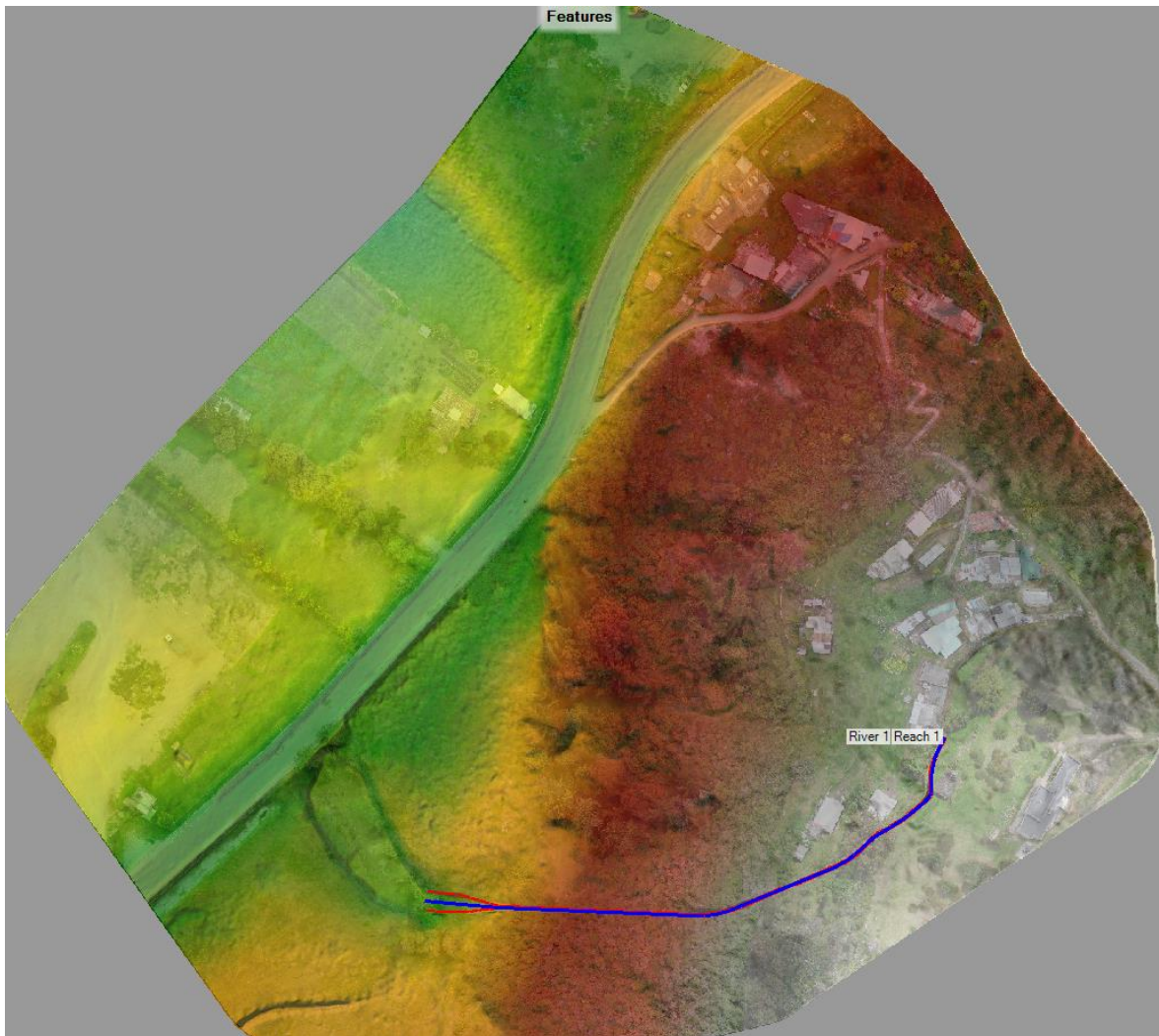


Figura. 3-5. Geometría del modelo.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO**3.4.3.3. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD**

En este caso se empleó un coeficiente de rugosidad de 0.013 correspondiente al concreto, para los coeficientes de rugosidad de las zonas aledañas se empleó un valor de 0.038 esto debido a la presencia de material vegetal de ladera, adicionalmente, para el descole de la zanja se propone emplear una zona de transición la cual contara con una macro rugosidad para reducir la velocidad del flujo en la entrega, se emplearan rugosidades de 0.07 y 0.1 las cuales se muestran distribuidas a continuación.

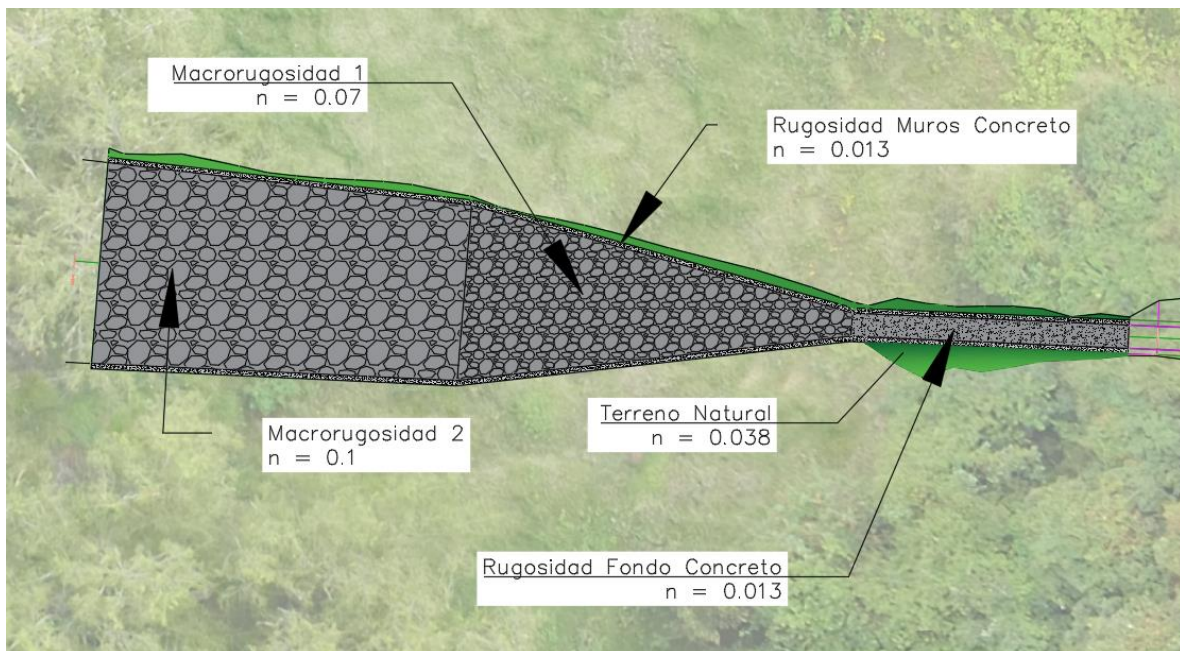


Figura 3-46 Distribución de rugosidades
Fuente: Propia.

3.4.3.4. CONDICIONES DE FRONTERA

Las condiciones de frontera pueden variar entre perfiles de flujo subcrítico o supercrítico, en este caso se evaluaron las condiciones de frontera con el módulo de River Análisis de AutoCAD civil 3D, allí se importó el modelo HEC-RAS, y se procede al input de cada uno de los caudales que deseamos analizar, con esto se obtiene los siguiente:

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-38. Condiciones de frontera River Análisis AutoCAD Civil 3D

Caudal	Sección Aguas Arriba	Sección Aguas Abajo	Pendiente Aguas Arriba	Pendiente Aguas Abajo	Tipo de Flujo
TR 10 años			0.095	0.065	Mixto

Fuente: Propia.

3.4.3.5. ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

Para este caso no se encuentran estructuras hidráulicas en el tramo de estudio a modelar.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.4.4. DISEÑO HIDRÁULICO DE ZANJAS

Como se indicó anteriormente, el objetivo del estudio hidráulico para este punto corresponde a evitar que la escorrentía superficial de aguas lluvias lave el talud que en la actualidad presenta fenómenos de remoción en masa. Para tal fin se proyecta una zanja de coronación cuyo alineamiento fue diseñado con base al punto de corte de la cuenca aferente más adecuado y a la pendiente natural de terreno, determinada a partir del DTM de la zona de estudio. A continuación, se presenta la implantación de la zanja de coronación proyectada.

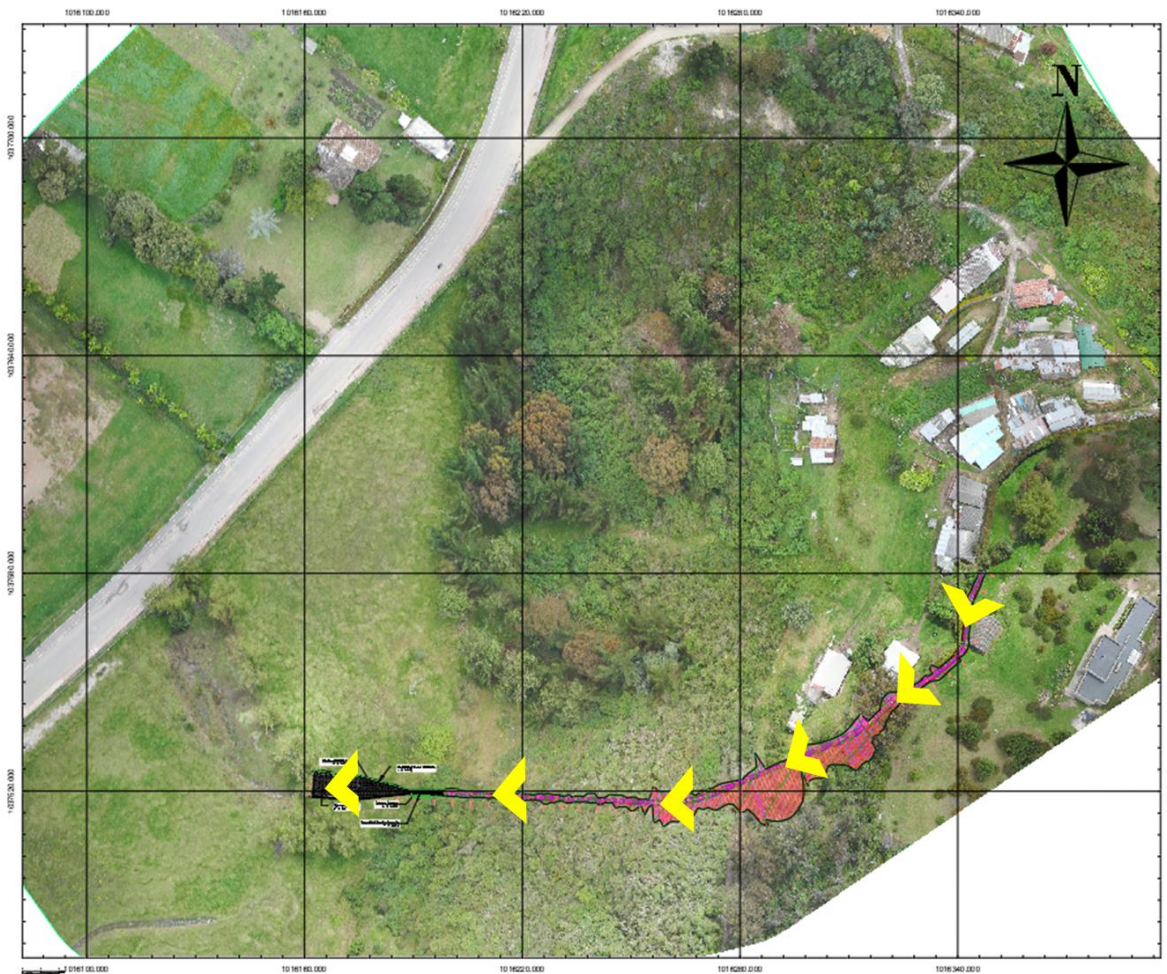


Figura 3-6. Implantación de zanjas – Escala 1:600
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

La zanja tiene una longitud aproximada de 244 m, esta se encuentra emplazada en zonas de alta pendiente transversal, pero de baja pendiente longitudinal, esto garantiza que el agua que escurre de la parte alta sea captada y conducida hacia el drenaje de la vía.

Como se mencionó en el capítulo anterior se empleará una zanja de sección trasversal constante.

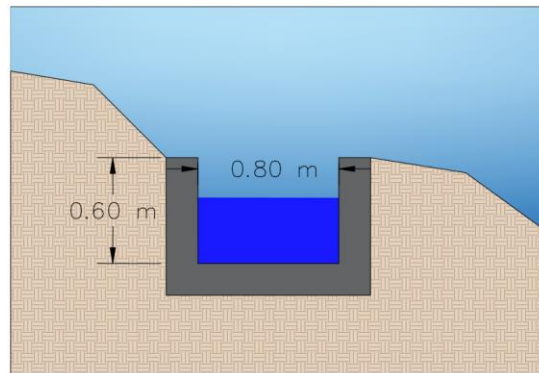


Figura 3-7. Sección transversal Tipo 1.
Fuente: Propia.

La geometría de la zanja corresponde a una sección rectangular de 0.8 m de base y 0.6 m de altura. Para el alineamiento se proyecta una profundización entre 0.6 m y 2.0 m respecto al terreno natural. A continuación, se presenta el perfil longitudinal de la zanja.



Figura 3-8. Perfil longitudinal Zanja.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.4.5. RESULTADOS MODELO HIDRÁULICO

A continuación, se muestra las profundidades de flujo en las zanjas de coronación propuestas. (ver modelo P35.prj, ubicado en la carpeta Modelo de los anexos)

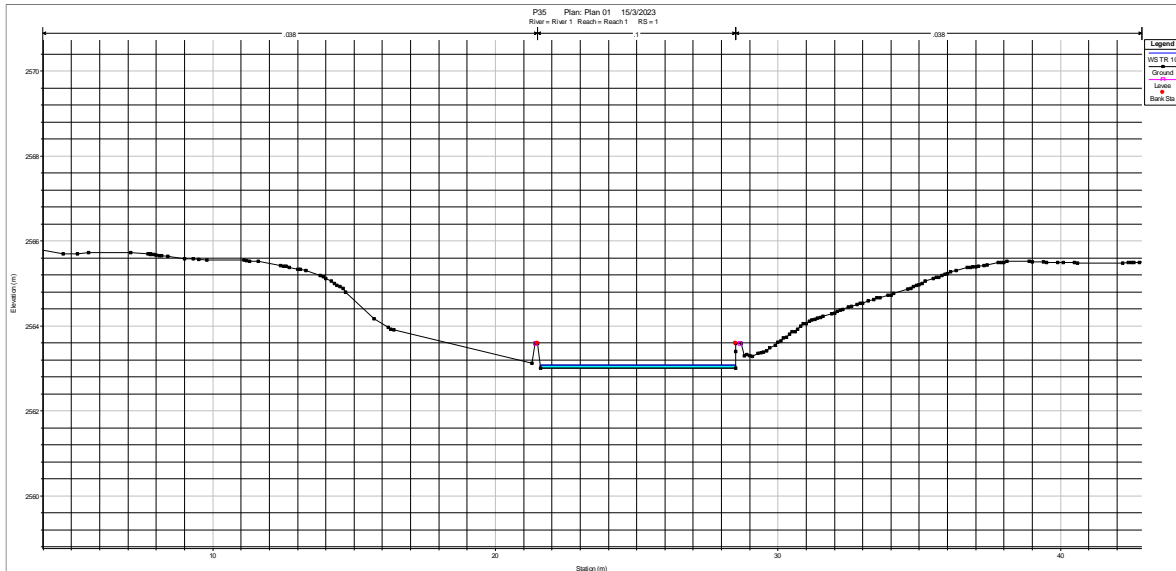


Figura 3-9. Sección Transversal aguas abajo de la zanja.
Fuente: Propia.

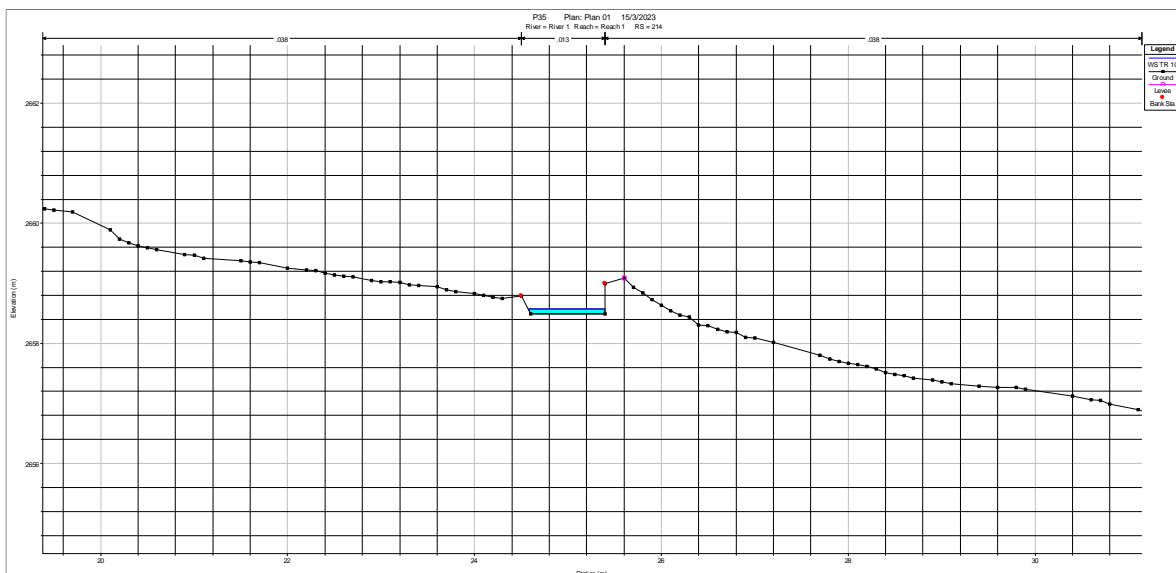


Figura 3-10. Sección Transversal aguas arriba de la zanja.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

El perfil hidráulico de la zanja se muestra a continuación.

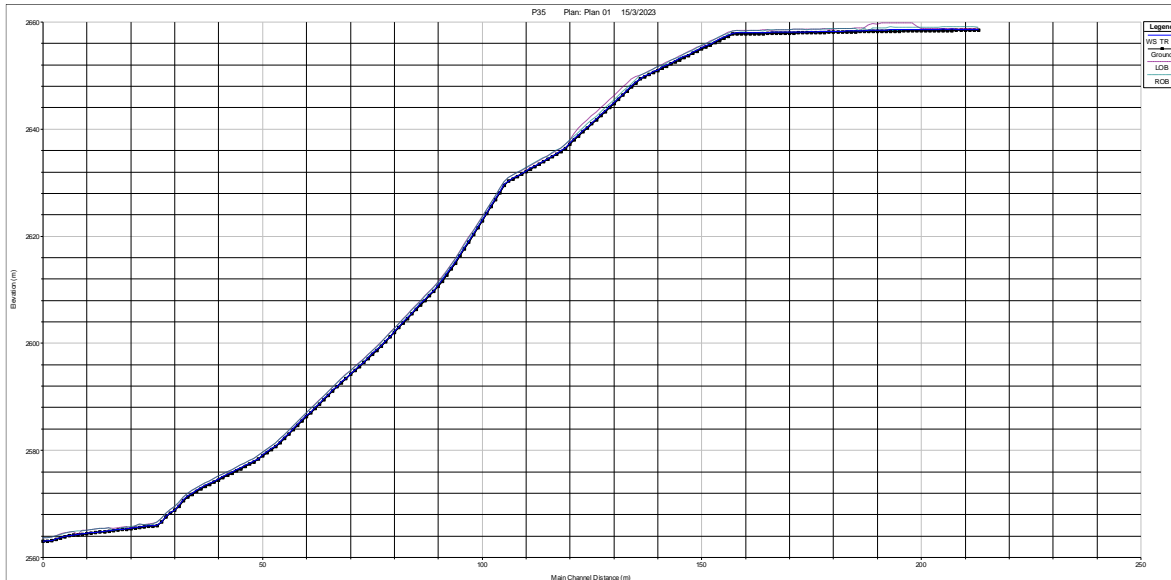


Figura. 3-11. Perfil hidráulico zanja
Fuente: Propia.

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros hidráulicos más relevantes para la zanja.

Tabla 3-39 Parámetros Hidráulicos Zanja

Estación	Caudal Canal	Velocidad Canal	Profundidad Flujo	Profundidad Crítica	Cota Agua	Cota Batea
214	0.25	0.04	0.08	0.22	2658.57	2658.48
213	0.25	0.04	0.09	0.22	2658.55	2658.46
212	0.25	0.04	0.1	0.22	2658.55	2658.45
211	0.25	0.04	0.11	0.22	2658.55	2658.44
210	0.25	0.04	0.11	0.22	2658.55	2658.44
209	0.25	0.04	0.24	0.22	2658.68	2658.42
208	0.25	0.04	0.23	0.22	2658.65	2658.42
207	0.25	0.04	0.25	0.21	2658.67	2658.41
206	0.25	0.04	0.22	0.22	2658.62	2658.4
205	0.25	0.03	0.19	0.22	2658.61	2658.39
204	0.25	0.03	0.17	0.21	2658.56	2658.38
203	0.25	0.03	0.17	0.2	2658.55	2658.38
202	0.25	0.03	0.2	0.21	2658.58	2658.37
201	0.25	0.03	0.2	0.19	2658.56	2658.36
200	0.25	0.03	0.2	0.19	2658.56	2658.35
199	0.25	0.03	0.22	0.19	2658.56	2658.34
198	0.25	0.03	0.21	0.2	2658.56	2658.33
197	0.25	0.03	0.25	0.19	2658.57	2658.31
196	0.25	0.03	0.27	0.18	2658.58	2658.3
195	0.25	0.03	0.27	0.19	2658.57	2658.29
194	0.25	0.03	0.24	0.22	2658.52	2658.28

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Estación	Caudal Canal	Velocidad Canal	Profundidad Flujo	Profundidad Crítica	Cota Agua	Cota Batea
193	0.25	0.03	0.25	0.22	2658.52	2658.27
192	0.25	0.03	0.22	0.23	2658.49	2658.26
191	0.25	0.03	0.22	0.22	2658.46	2658.24
190	0.25	0.03	0.2	0.22	2658.43	2658.23
189	0.25	0.03	0.18	0.22	2658.4	2658.21
188	0.25	0.03	0.18	0.22	2658.38	2658.2
187	0.25	0.03	0.16	0.22	2658.34	2658.18
186	0.25	0.03	0.16	0.22	2658.32	2658.16
185	0.25	0.03	0.17	0.23	2658.33	2658.15
184	0.25	0.03	0.16	0.22	2658.29	2658.13
183	0.25	0.03	0.16	0.22	2658.28	2658.12
182	0.25	0.03	0.16	0.22	2658.27	2658.1
181	0.25	0.03	0.16	0.23	2658.26	2658.09
180	0.25	0.03	0.17	0.24	2658.24	2658.06
179	0.25	0.03	0.15	0.22	2658.2	2658.05
178	0.25	0.03	0.14	0.22	2658.18	2658.03
177	0.25	0.03	0.18	0.23	2658.21	2658.02
176	0.25	0.03	0.15	0.22	2658.15	2658
175	0.25	0.03	0.15	0.22	2658.13	2657.98
174	0.25	0.03	0.16	0.23	2658.14	2657.97
173	0.25	0.03	0.22	0.22	2658.17	2657.95
172	0.25	0.03	0.24	0.21	2658.18	2657.94
171	0.25	0.03	0.27	0.21	2658.19	2657.92
170	0.25	0.03	0.22	0.23	2658.14	2657.91
169	0.25	0.03	0.22	0.23	2658.12	2657.89
168	0.25	0.03	0.21	0.21	2658.08	2657.87
167	0.25	0.03	0.22	0.23	2658.08	2657.85
166	0.25	0.03	0.22	0.22	2658.06	2657.84
165	0.25	0.03	0.21	0.21	2658.03	2657.82
164	0.25	0.03	0.18	0.21	2657.98	2657.8
163	0.25	0.03	0.22	0.22	2658.01	2657.79
162	0.25	0.03	0.23	0.22	2658	2657.77
161	0.25	0.03	0.24	0.22	2658	2657.76
160	0.25	0.03	0.21	0.23	2657.97	2657.74
159	0.25	0.03	0.18	0.21	2657.91	2657.73
158	0.25	0.03	0.22	0.22	2657.58	2657.36
157	0.25	0.03	0.22	0.22	2657.18	2656.96
156	0.25	0.03	0.23	0.24	2656.8	2656.56
155	0.25	0.03	0.21	0.23	2656.38	2656.15
154	0.25	0.03	0.11	0.24	2655.87	2655.75
153	0.25	0.03	0.21	0.23	2655.58	2655.35
152	0.25	0.03	0.22	0.24	2655.19	2654.95
151	0.25	0.03	0.22	0.25	2654.79	2654.54
150	0.25	0.03	0.21	0.24	2654.38	2654.14
149	0.25	0.03	0.09	0.24	2653.86	2653.75
148	0.25	0.03	0.22	0.24	2653.59	2653.35
147	0.25	0.03	0.22	0.24	2653.19	2652.95
146	0.25	0.03	0.22	0.23	2652.79	2652.56
145	0.25	0.02	0.09	0.23	2652.26	2652.16
144	0.25	0.02	0.22	0.22	2651.98	2651.76
143	0.25	0.02	0.22	0.23	2651.59	2651.36
142	0.25	0.02	0.1	0.24	2651.07	2650.96
141	0.25	0.02	0.22	0.23	2650.79	2650.56
140	0.25	0.02	0.09	0.22	2650.27	2650.17
139	0.25	0.02	0.21	0.21	2649.98	2649.77
138	0.25	0.02	0.09	0.22	2649.46	2649.37

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Estación	Caudal Canal	Velocidad Canal	Profundidad Flujo	Profundidad Crítica	Cota Agua	Cota Batea
137	0.25	0.02	0.24	0.25	2648.86	2648.61
136	0.25	0.02	0.22	0.23	2648.08	2647.85
135	0.25	0.02	0.21	0.22	2647.31	2647.09
134	0.25	0.02	0.22	0.22	2646.55	2646.33
133	0.25	0.02	0.22	0.24	2645.81	2645.57
132	0.25	0.02	0.22	0.24	2645.04	2644.8
131	0.25	0.02	0.21	0.23	2644.27	2644.04
130	0.25	0.02	0.22	0.23	2643.51	2643.28
129	0.25	0.02	0.22	0.23	2642.75	2642.52
128	0.25	0.02	0.22	0.23	2641.99	2641.76
127	0.25	0.02	0.23	0.26	2641.25	2640.99
126	0.25	0.02	0.21	0.23	2640.46	2640.23
125	0.25	0.02	0.22	0.24	2639.71	2639.47
124	0.25	0.02	0.22	0.25	2638.96	2638.71
123	0.25	0.02	0.24	0.26	2638.21	2637.95
122	0.25	0.02	0.22	0.25	2637.43	2637.18
121	0.25	0.02	0.07	0.25	2636.52	2636.42
120	0.25	0.02	0.22	0.24	2636.03	2635.79
119	0.25	0.02	0.09	0.24	2635.44	2635.33
118	0.25	0.02	0.07	0.24	2634.96	2634.87
117	0.25	0.02	0.06	0.23	2634.49	2634.41
116	0.25	0.02	0.06	0.24	2634.03	2633.94
115	0.25	0.02	0.06	0.24	2633.56	2633.48
114	0.25	0.02	0.05	0.24	2633.09	2633.02
113	0.25	0.02	0.22	0.24	2632.79	2632.55
112	0.25	0.02	0.09	0.22	2632.15	2632.06
111	0.25	0.02	0.08	0.24	2631.73	2631.64
110	0.25	0.02	0.06	0.24	2631.26	2631.18
109	0.25	0.02	0.21	0.22	2630.94	2630.72
108	0.25	0.02	0.1	0.24	2630.37	2630.26
107	0.25	0.02	0.21	0.24	2629.69	2629.45
106	0.25	0.02	0.22	0.22	2628.37	2628.15
105	0.25	0.02	0.21	0.23	2627.08	2626.85
104	0.25	0.02	0.19	0.21	2625.74	2625.53
103	0.25	0.02	0.21	0.21	2624.42	2624.21
102	0.25	0.02	0.21	0.25	2623.15	2622.9
101	0.25	0.02	0.22	0.26	2621.83	2621.57
100	0.25	0.02	0.22	0.26	2620.54	2620.28
99	0.25	0.02	0.22	0.3	2619.24	2618.94
98	0.25	0.02	0.22	0.22	2617.84	2617.62
97	0.25	0.02	0.21	0.29	2616.6	2616.31
96	0.25	0.02	0.23	0.31	2615.31	2615
95	0.25	0.02	0.22	0.31	2614.17	2613.86
94	0.25	0.02	0.22	0.31	2613.04	2612.73
93	0.25	0.02	0.21	0.29	2611.88	2611.59
92	0.25	0.02	0.22	0.27	2610.87	2610.6
91	0.25	0.02	0.07	0.27	2609.86	2609.74
90	0.25	0.02	0.22	0.27	2609.15	2608.88
89	0.25	0.02	0.07	0.29	2608.15	2608.02
88	0.25	0.02	0.22	0.26	2607.44	2607.18
87	0.25	0.02	0.22	0.22	2606.54	2606.32
86	0.25	0.02	0.08	0.27	2605.58	2605.46
85	0.25	0.02	0.22	0.26	2604.87	2604.61
84	0.25	0.02	0.22	0.26	2604.01	2603.75
83	0.25	0.02	0.22	0.22	2603.12	2602.9
82	0.25	0.02	0.22	0.26	2602.31	2602.05

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Estación	Caudal Canal	Velocidad Canal	Profundidad Flujo	Profundidad Crítica	Cota Agua	Cota Batea
81	0.25	0.02	0.07	0.23	2601.26	2601.19
80	0.25	0.02	0.22	0.23	2600.56	2600.33
79	0.25	0.02	0.08	0.23	2599.55	2599.47
78	0.25	0.02	0.21	0.21	2598.88	2598.67
77	0.25	0.02	0.22	0.22	2598.14	2597.92
76	0.25	0.02	0.22	0.22	2597.39	2597.17
75	0.25	0.02	0.08	0.22	2596.5	2596.42
74	0.25	0.01	0.2	0.2	2595.87	2595.67
73	0.25	0.01	0.07	0.21	2594.99	2594.92
72	0.25	0.01	0.2	0.21	2594.38	2594.17
71	0.25	0.01	0.08	0.22	2593.5	2593.42
70	0.25	0.01	0.22	0.22	2592.87	2592.65
69	0.25	0.01	0.07	0.22	2591.94	2591.86
68	0.25	0.01	0.22	0.22	2591.29	2591.06
67	0.25	0.01	0.07	0.21	2590.33	2590.26
66	0.25	0.01	0.21	0.21	2589.66	2589.45
65	0.25	0.01	0.08	0.23	2588.76	2588.67
64	0.25	0.01	0.23	0.24	2588.11	2587.87
63	0.25	0.01	0.08	0.23	2587.15	2587.06
62	0.25	0.01	0.22	0.22	2586.49	2586.27
61	0.25	0.01	0.22	0.22	2585.69	2585.47
60	0.25	0.01	0.22	0.23	2584.9	2584.67
59	0.25	0.01	0.22	0.23	2584.1	2583.87
58	0.25	0.01	0.08	0.23	2583.15	2583.07
57	0.25	0.01	0.22	0.23	2582.5	2582.27
56	0.25	0.01	0.22	0.22	2581.69	2581.47
55	0.25	0.01	0.08	0.22	2580.83	2580.75
54	0.25	0.01	0.22	0.22	2580.37	2580.15
53	0.25	0.01	0.21	0.23	2579.78	2579.55
52	0.25	0.01	0.2	0.2	2579.17	2578.96
51	0.25	0.01	0.09	0.23	2578.44	2578.35
50	0.25	0.01	0.21	0.23	2578.06	2577.83
49	0.25	0.01	0.22	0.22	2577.63	2577.41
48	0.25	0.01	0.22	0.22	2577.21	2576.99
47	0.25	0.01	0.21	0.21	2576.79	2576.58
46	0.25	0.01	0.21	0.21	2576.37	2576.16
45	0.25	0.01	0.22	0.24	2575.98	2575.74
44	0.25	0.01	0.23	0.23	2575.56	2575.33
43	0.25	0.01	0.22	0.23	2575.15	2574.91
42	0.25	0.01	0.22	0.23	2574.72	2574.49
41	0.25	0.01	0.09	0.21	2574.17	2574.08
40	0.25	0.01	0.22	0.22	2573.88	2573.66
39	0.25	0.01	0.22	0.23	2573.47	2573.24
38	0.25	0.01	0.22	0.24	2573.04	2572.8
37	0.25	0.01	0.23	0.24	2572.53	2572.29
36	0.25	0.01	0.21	0.23	2572.02	2571.79
35	0.25	0.01	0.22	0.23	2571.52	2571.29
34	0.25	0.01	0.22	0.23	2570.81	2570.58
33	0.25	0.01	0.22	0.22	2569.81	2569.59
32	0.25	0.01	0.08	0.23	2568.87	2568.79
31	0.25	0.01	0.07	0.23	2568.36	2568.29
30	0.25	0.01	0.06	0.23	2567.65	2567.58
29	0.25	0.01	0.05	0.24	2566.65	2566.59
28	0.25	0.01	0.06	0.24	2566.03	2565.96
27	0.25	0.01	0.12	0.18	2565.98	2565.86
26	0.25	0.01	0.11	0.14	2565.89	2565.77

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Estación	Caudal Canal	Velocidad Canal	Profundidad Flujo	Profundidad Crítica	Cota Agua	Cota Batea
25	0.25	0.01	0.09	0.12	2565.77	2565.68
24	0.25	0.01	0.11	0.11	2565.69	2565.58
23	0.25	0.01	0.09	0.1	2565.58	2565.48
22	0.25	0.01	0.07	0.09	2565.46	2565.39
21	0.25	0.01	0.09	0.08	2565.38	2565.29
20	0.25	0.01	0.08	0.08	2565.28	2565.2
19	0.25	0.01	0.08	0.08	2565.18	2565.1
18	0.24	0.01	0.07	0.08	2565.08	2565
17	0.25	0.01	0.04	0.06	2564.96	2564.91
16	0.25	0.01	0.08	0.07	2564.9	2564.81
15	0.25	0.01	0.07	0.07	2564.8	2564.72
14	0.25	0	0.08	0.06	2564.71	2564.62
13	0.25	0	0.07	0.06	2564.6	2564.53
12	0.25	0	0.09	0.07	2564.53	2564.43
11	0.25	0	0.05	0.06	2564.4	2564.34
10		0		-0.19	2564.29	2564.48
9	0.25	0	0.07	0.06	2564.23	2564.15
8	0.25	0	0.07	0.07	2564.13	2564.05
7	0.25	0	0.05	0.07	2563.96	2563.89
6	0.25	0	0.05	0.07	2563.7	2563.63
5	0.25	0	0.05	0.07	2563.45	2563.38
4	0.25	0	0.05	0.05	2563.18	2563.13
3	0.25	0	0.12	0.05	2563.12	2563
2	0.25		0.08	0.04	2563.08	2563

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.4.6. DESCOLE ZANJAS DE CORONACIÓN

La entrega de las zanjas de coronación propuestas se realiza a un drenaje existente en la zona, este drenaje corresponde a una quebrada no permanente la cual es innominada.

Para el caso particular de la zanja, se realiza la disipación de energía por cabeza de velocidad mediante una zona de transición con una macro rugosidad que ayuda a disminuir este componente.



Figura. 3-12. Descole Zanja De Coronación.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.5. MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

De acuerdo con la Norma Colombiana Sismorresistente de Construcción NSR- 10, título A, Capítulo A.2.1 GENERAL-A.2.1.1., el municipio de Tocancipá se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica intermedia con un coeficiente de Aceleración pico efectivo A_a de 0.15 g. Para considerar los efectos locales de respuesta sísmica, acorde con los ensayos geofísicos, se establece para el 100 sitio un perfil de suelo tipo C. Esta clasificación está basada en el número de golpes N_{ch} según expresión A.2.4-3 y la tabla A.2.4-2 de la misma norma. A continuación, se presentan los coeficientes sísmicos del análisis de estabilidad pseudoestáticos del sitio crítico:

Tabla 3-40. Parámetros de Diseño Sísmico para el sitio crítico.

Zona de amenaza sísmica	Intermedia
Aceleración horizontal pico efectiva A_a	0.15
Velocidad horizontal pico efectiva A_v	0.20
Perfil de Suelo	Tipo C

Fuente: propia.

De acuerdo con el título H.5.2.5 para los análisis se debe emplear la aceleración máxima del terreno obtenida de un espectro para período cero, la cual se calcula como:

Ecuación 3-7. Aceleración máxima del terreno.

$$S_a = A_a * F_a * I$$

Dónde:

A_a : es la aceleración máxima horizontal en roca

F_a : Coeficiente de amplificación tomado de la Tabla A.2.4-4

I : Coeficiente de importancia

Adicionalmente, para efectos de estabilidad se utilizó el coeficiente sísmico de diseño para análisis pseudoestáticos de taludes KST propuesto en el numeral H.5.2.5 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, tal como se observa en la siguiente tabla:

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-41. Valores de K_{ST}/a_{max} Mínimos para Análisis Seudoestático de Taludes

MATERIAL	K_{ST}/a_{max}	ANÁLISIS DE AMPLIFICACIÓN MÍNIMO
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD<50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD>50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediarla
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR-10 Tabla H.5.2-1.

Para el caso de estudio se adoptó un valor $K_{ST}/a_{m\acute{a}x} = 0.80$ referente a suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD<50%). Finalmente se estableció:

Ecuación 3-8. Aceleración máxima con KST.

$$S_a = A_a * F_a * I = 0.15 * 1.2 * 1.00 = 0.18$$

$$K_h = 0.18 * 0.80 = 0.144$$

3.5.1. PROSPECCIÓN

De acuerdo con el análisis de las características geológicas, en el área de estudio se encuentran las siguientes unidades geológicas para Ingeniería (UGI):

- Suelo transportado coluvial deslizado (Stco-Qd)
- Suelo transportado de flujo de lodo (Stfl-Q1sa)
- Suelo transportado coluvial antiguo (Stca)
- Roca intermedia Arenisca de la Formación Labor – Tierna (Ria-K2t)
- Suelo antrópico de llenos de vías (Salv)

Con el fin de conocer las características físicas y propiedades de resistencia del perfil de suelo existente en el área de estudio se realiza una campaña de exploración geotécnica directa e indirecta basada en el diagnóstico realizado.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO**3.5.1.1. EXPLORACIÓN INDIRECTA (GEOFÍSICA)**

Como parte del programa de exploración indirecta del subsuelo, se llevó a cabo el estudio geofísico con el objeto principal de obtener información geológica e identificar el tipo de suelo de acuerdo con la clasificación de la NSR-10. La ubicación de la exploración indirecta realizada en el área de estudio se presenta en la sección de Fase II: Trabajo de Campo – Ítem 2.2.1.

Con base en la Figura 2-27 (Fase II - Pág. 91), se ubican las líneas de refracción sísmica, estas permiten conocer la profundidad del estrato rocoso y el espesor del suelo residual, adicionalmente identificar parámetros de velocidad de onda de corte V_s (m/s) clasificando el perfil de suelo. En cuanto a la línea de tomografía identifica la presencia de agua a lo largo y ancho de la ladera a manera de verificación con la información recuperada de la exploración directa.

Del informe de exploración geofísica se identifica la ejecución de dos líneas de refracción sísmica y una tomografía. Los resultados de la interpretación de la toma de velocidades de onda de corte obtenidas para las pruebas realizadas en campo, para el ensayo de refracción sísmica se muestran en gráficas del modelo simplificado en las Figuras 2-31 y 2-32 (Fase II – Pág. 102) y tomografía sísmica con sus respectivas interpretaciones.



Figura 3-47. Ubicación del tendido de la LRS (2022)

Fuente: Informe Exploración Geofísica. Terra Laboratorio e Ingeniería.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

De acuerdo con los resultados en la línea de refracción sísmica uno (LS01), se identifica un modelo geológico de dos materiales, una primera capa superficial con una velocidad de onda corte promedio de 600 m/s con un espesor promedio de 1.5 m, que se atribuye al depósito coluvial y a los primeros metros del depósito con material antrópico. Infrayace una capa de espesor restante con velocidades de onda entre 870 m/s, indicando un perfil de roca de rigidez media, de acuerdo con la NSR-10 se relaciona con la roca arenisca de la Formación Labor-Tierna. (Ver Figura 2-31) (Fase II - Pág. 107).

En la línea de refracción sísmica dos (LS02), también se identifica un modelo geológico de dos materiales, una primera capa superficial con una velocidad de onda corte promedio de 402 m/s con un espesor promedio de 2.0 m, asociada al depósito coluvial. Seguido, una capa del espesor restante con velocidades de onda de corte de 533 m/s asociado a un estrato perfil de suelo muy denso o roca blanda de acuerdo con la NSR-10, cuyo valor se relaciona con la roca de la Formación Labor-Tierna. (Ver Figura 2-32) (Fase II - Pág. 108).

El modelo simplificado de acuerdo con el contraste de capas en la longitud analizada indica el contraste de la rigidez del perfil que de acuerdo con el análisis el Vs30 para las líneas de refracción LS1 y LS2 es 496 m/s, 521 m/s respectivamente. El perfil de suelo se clasifica como C “Suelos densos o rocas blandas” de acuerdo con la NSR-10. Esta interpretación se tuvo en cuenta para las condiciones sismológicas presentadas anteriormente.

En cuanto a los resultados de la tomografía eléctrica, se obtiene un modelo 2D de resistividades reales a partir de la pseudosección de resistividades aparentes del terreno. En los resultados, el incremento de fluidos en el terreno se ve reflejado en la disminución de la resistividad y se ve influenciado por variables como el grado de saturación, porosidad, tipo y composición de la roca, entre otros.




De la Figura 2-35 (Fase II - Pág. 107), se identifica un predominio de valores de resistividad asociados a afloramientos rocosos fracturados. Adicionalmente, se identifica en valores de baja resistividad para materiales ($< 300 \text{ ohm}\cdot\text{m}$) producto de la presencia de agua que discurre a través de las rocas fracturadas.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.5.1.2. EXPLORACIÓN DIRECTA

Para detallar el modelo geológico y generar el perfil geológico-geotécnico se ejecutan cinco perforaciones mecánicas por rotación diámetro NQ con ejecución del ensayo SPT. Los sondeos cuentan con profundidades de hasta veinte (20) metros, ubicados en las zonas que evidenciaron potencial procesos morfodinámicos, y a partir de ellas, determinar posibles zonas de falla o deslizamientos locales. Las exploraciones directas se localizaron de tal manera que abarcaran y representaran las condiciones geotécnicas del perfil de suelo del área de estudio, ubicadas tal como se presenta en la sección de Fase II: Trabajo de Campo – Ítem 2.2.2. (Fase II – Figura 2-36 Pág. 108)

Tabla 3-42. Descripción general de los sondeos.

Profundidad (m)	Muestras	Descripción	
0 – 2.0		Suelo limo-arenosos color café oscuro, de consistencia y humedad medias con presencia de raíces	Stco-Qd
2.5 – 4.5		Suelo limo-arenosos color amarillo, de consistencia y humedad medias. Matriz de arena	Stfl-Q1sa
4.5 – 20.0		Bloques de arenisca y arenosa de grano medio color blanco amarillento con intercalaciones de arena de grano grueso color café claro y compacidad muy densa	Ria-K2t

Fuente: Propia.

3.5.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

A partir de la exploración directa, las muestras recuperadas se realizaron ensayos de laboratorio para conocer las características físicas y propiedades de resistencia de los diferentes materiales que constituyen el perfil de suelo en el área de estudio. En los anexos se presentan los ensayos de laboratorio, realizados sobre las muestras recuperadas de la exploración del subsuelo (Anexo - Fase II - Ensayos Laboratorios). Los ensayos de laboratorio de caracterización básica y mecánica se ejecutaron teniendo en cuenta los procedimientos de las normas relacionados en la tabla siguiente. El compilado del número

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

de ensayos de la exploración directa ejecutada en el área de estudio se observa en la tabla 2-17 (Fase II - Pág. 115).

3.5.2.1. CARACTERIZACIÓN SUELO TRANSPORTADO COLUVIAL DESLIZADO (STCO-QD)

Se evidencia a partir de la granulometría un suelo fino granular tipo arena limosa color café-ocre. El estrato se ubica desde la superficie hasta los 2.0 m de profundidad, de acuerdo con las perforaciones en las cuales se presenta la similitud en la compacidad con los resultados del muestreo durante la ejecución en campo del ensayo SPT, así como la interpretación de las líneas sísmicas y el registro de perforación de campo. Se le realizan ensayos de propiedades índice, clasificación y granulometría a cuatro de las siete muestras identificadas como Stco-Qd.

Tabla 3-43. Propiedades índices y de clasificación de suelo Stco-Qd.

Sondeo	Muestra	Profundidad		% w	%LL	%LP	%IP	Clasificación S.U.C. S	Granulometría		
		Inicio	Fin						%	%	%
									Gravas	Arenas	Finos
S01	1	1,0	1,5	11,98	29,60	20,01	9,59	SC	2,85	48,59	48,56
	2	1,5	2,0								
S02	1	0,5	1,0	13,69	NL	NP	NL-NP	SM	0,0	90,3	9,7
S03	1	0,5	1,0	12,55	33,15	24,4	8,75	SM	2,36	49,78	47,86
S04	1	0,5	1,0								
S05	1	0,8	1,3	17,41	24,14	18,52	5,62		0	62,19	37,81
	2	1,3	1,8	18,3				SC-SM			

Fuente: Propia.

Tabla 3-44. Ensayo de resistencia al corte directo

Sondeo	Muestra	Profundidad		N° Golpes			N45	Peso Unitario Hum kN/m ³	Peso Unitario Seco kN/m ³
		Inicio	Fin	1	2	kN/m ³			
S01	1	1,0	1,5	5	5	4	9		
	2	1,5	2,0	6	7	6	13		
S02	1	0,5	1,0	3	4	3	7	24,63	21,66
S03	1	0,5	1,0	4	5	7	12		
S04	1	0,5	1,0	4	5	5	10		
S05	1	0,8	1,3	4	4	5	9		
	2	1,3	1,8	6	8	8	16	23,95	20,24

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

De los resultados para el peso Unitario húmedo de las muestras el reporte del laboratorio identifica valores de 24,63 kN/m³ y 23,95 kN/m³. Los valores de peso Unitario arrojados están asociados a pesos Unitarios cercanos a la roca y/o el concreto. Siendo estos resultados inusuales para un material de las características presentadas y no serán tomados en cuenta en la definición de parámetros geomecánicos dado que puede llevar a una interpretación inadecuada del comportamiento de este. Debido a que el suelto Stco-Qd se encuentra a profundidades de 0-2.0m y el nivel freático se encuentra a 3.9 m se usará el valor medio del peso Unitario seco.

3.5.2.2. CARACTERIZACIÓN SUELO TRANSPORTADO DE FLUJO DE LODO (STFL-Q1SA)

De acuerdo con la exploración directa, suelos transportados de flujo de lodos (Stfl-Q1sa), constituidos principalmente de arenas con matriz de finos arcillosas, este depósito se reportó entre profundidades entre los 2,0 m a 4,5 m. A las muestras recuperadas se les realizan ensayos de propiedades físicas.

Tabla 3-45. Propiedades índices y de clasificación de suelo Stfl-Q1sa.

Sondeo	Muestra	Profundidad		W %	LL%	LP%	IP%	Clasificación S.U.C. S	Granulometría		
		Inicio	Fin						% Gravas	% Arenas	% Finos
S01	3	2,0	2,5	29,28	49,52	26,54	22,98	SC	6,82	44,97	48,22
	4	2,5	3,0	31,46	56,05	23,63	32,42	SC	6,79	43,32	49,91
	5	3,5	4,0	29,27	49,69	27,19	22,5	CL	9,77	32,72	57,52
S02	2	1,0	1,5								
	3	1,5	2,0	14,59	NL	NP	NL-NP	SM	0	90,21	9,79
S03	2	1,0	1,5	11,95	29,59	22,84	6,75	SC-SM	2,49	48,76	48,76
	3	1,5	2,0	28,82							
	4	3,0	3,5	11,35	31,01	22,7	8,31	SC	2,06	50,41	47,53
	5	4,0	4,5	17,94							
S05	3	1,8	2,3								
	4	3,0	3,5	4,39	64,91	61,09	3,82	SM	26,08	40,29	16,31

Fuente: Propia.

En la siguiente tabla, se presentan los valores de peso Unitario y números de golpes reportados por el ensayo SPT. De los resultados para el peso Unitario húmedo de las

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

muestras el reporte del laboratorio identifica valores desde 24,29 kN/m³ a 24,98 kN/m³. Los valores de peso Unitario arrojados están asociados a pesos Unitarios cercanos a la roca y/o el concreto, por lo cual serán utilizados solamente dos valores: 22,54 kN/m³ y 23,33 kN/m³.

Tabla 3-46. Ensayo de resistencia al corte- directo Stfl-Q1sa.

Sondeo	Muestra	Profundidad		N° Golpes			N45	Peso Unitario Húmedo	Peso Unitario Seco
		Inicio	Fin	1	2	3		kN/m ³	kN/m ³
S01	3	2,0	2,5	9	10	11	21	24,29	18,79
	4	2,5	3,0	10	13	15	28		
	5	3,5	4,0	30	50	R	50	24,35	18,83
S02	2	1,0	1,5	6	8	15	230		
	3	1,5	2,0	18	27	46	73	24,93	21,76
S03	2	1,0	1,5	11	18	22	40		
	3	1,5	2,0	25	27	50	77	24,98	20,67
	4	3,0	3,5		35	50	85		
S05	5	4,0	4,5	19	23	50	73	22,54	19,12
	3	1,8	2,3	8	10	9	19		
	4	3,0	3,5	16	50		50	23,33	21,4

Fuente: Propia.

3.5.2.3. CARACTERIZACIÓN ROCA INTERMEDIA FORMACION LABOR- TIERNA (RIA-K2T)

Los registros de campo que permiten identificar las muestras extraídas con perforación mecánica por rotación diámetro NQ, hacen parte del sustrato rocoso Ria-K2t, a partir de 4,5 m siendo consistente con la interpretación de las líneas sísmicas que evidencian la presencia de roca competente. Terra Laboratorio e Ingeniería ejecuta ensayos de clasificación, límites de Atterberg, granulometría, humedad y propiedades índice en tres de las muestras recuperadas como se evidencia los resultados en la tabla siguiente. Se indica que, la recuperación de las muestras fue NQ –Roca para los ensayos de clasificación, se retiraron los fragmentos de roca con diámetros mayores a ¾” por lo cual los resultados de S.U.C.S son para la matriz del horizonte de meteorización Ria-K2t

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-47. Ensayo de propiedades índice-Roca intermedia arenisca Ria-K2t.

Sondeo	Muestra	N° Golpes			W %	LL%	LP%	IP%	Clasificación	Granulometría		
		1	2	3						S.U.C. S	% Gravas	% Arenas
S04	2	NQ			6,91	23,66	17,28	6,38	SC-SM	20,27	43,15	23,24
	4	NQ			6,23	NL	NP	NL-NP	SM	1803	35,45	20,23
S05	5	NQ			13,98	NL	NP	NL-NP	SM	0	83,26	16,74

Fuente: Propia.

La caracterización geomecánica en núcleos de roca que hacen parte del sustrato rocoso Ria-K2t, se realizó con ensayos de carga puntual y compresión uniaxial los cuales permiten identificar la resistencia a la compresión simple. A continuación, los resultados de laboratorio.

Tabla 3-48. Ensayo de resistencia en roca intermedia arenisca Ria.

Sondeo	Muestra	Profundidad		Peso Unitario	Humedad	Carga Puntual		Compresión Uniaxial	
		Inicio	Fin			IS ₅₀	UCS	Fuerza	USC
				kN/m ³	(%)	(MPa)	(MPa)	(kN)	(MPa)
S01	7	5,5	7,0	23,1	5,22	1,21	26,64		
	10	10,0	11,5	24,42	4,98			48,65	26,55
	12	13,0	14,5	24,75	4,75	1,21	26,64	46,22	25,23
	13	14,5	16,0	24,64	4,85			48,65	26,94
	16	19,0	20,0	24,18	7,78	1,96	43,04		
S02	5	3,5	5	24,49	4,41	0,74	16,24	39,02	22,38
	7	6,5	8	24,94	4,7	0,97	21,42	39,03	22,29
	10	11	12,5	24,44	5,22	1,68	36,9	65,23	36,12
	13	15,5	17	25,29	4,78			68,99	38,2
	15	18,5	20	25,06	5,7	2,07	45,47	49,66	28,6
S03	7	6	7,5	25,7	14,54	1,16	25,51	68,07	40,05
	9	9	10,5	25,99	6,89	1,13	24,95	69,01	38,36
	11	12	13,5	24,39	13,7	1,76	38,69	70,13	40,55
	14	17	18,5	25,06	13,3	1,13	24,79		
S04	3	1,50	2,00	24,86	20,7				
	5	4,00	4,50	24,14	18,46			80,07	46,11
	6	4,50	6,00	24,21	17,96				
	8	9,00	10,50	25,71	17,65				
	9	10,50	12,00	24,75	11,51	1,56	34,3	72,33	41,9
	10	12,00	13,50	26,09	13,08				
	13	16,50	18,00	23,34	17,65			68,23	39,36
S05	15	19,00	20,00	24,48	6,93	0,94	20,68	71,22	40,86
	6	5,00	6,50	24,27	12,09	1,14	25,19	49,66	26,87
	9	9,50	11,00	25,61	12,27	0,96	21,04	62,03	35,72
	12	14,00	15,50	24,61	20,9	1,59	34,98		
	14	17,00	18,50	25,33	18,28			82,23	46,48

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.5.3. PARAMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA

Se realiza un análisis de variación de propiedades geotécnicas por material identificado en las Unidades Geológicas Ingenieriles (UGI). A partir de los sondeos se realizan ensayos de laboratorio a muestras seleccionadas para definir los parámetros de resistencia al corte representativos de los estratos identificados.

3.5.3.1. SUELOS TRANSPORTADO COLUVIAL DESLIZADO (STCO-QD)

La definición de los parámetros geotécnicos se basó en las perforaciones ejecutadas en la zona con el número de golpes del ensayo de penetración estándar. Las metodologías empleadas son descritas a continuación:

- **Peso Unitario – Revisión bibliográfica**

En los resultados de laboratorio promedio presentados en el Capítulo de Prospección, para el peso Unitario seco del material corresponde a un valor medio de 20,95 kN/m³, se empleará este valor debido a la ubicación del suelo Stco-Qd el cual se encuentra arriba del nivel freático. Con el fin de establecer un rango de valores del peso Unitario, Phoon (2008) realiza un análisis del coeficiente de variación (COV) para diferentes propiedades geotécnicas. Para el peso específico establece un coeficiente de variación del 10%, a partir de este valor se obtiene la desviación estándar de la muestra y así los valores mínimo, medio y máximo del peso específico para el suelo transportado coluvial deslizado Stco-Qd. Estos valores serán empleados posteriormente en el análisis de Amenaza. A continuación, el resumen de ese análisis:

Tabla 3-49. Análisis del peso Unitario-suelo Stco-Qd.

P35		Peso Unitario kN/m ³			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Stco-Qd	Suelo transportado Coluvial deslizado	19,95	20,95	21,95	1,0	5

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

• **Ángulo de fricción y cohesión- Correlaciones**

Se emplea la metodología propuesta por Álvaro Jaime González 1998 *Estimativos de parámetros de resistencia a partir del SPT*, con el objeto de determinar un ángulo de fricción interna efectivo y una cohesión efectiva para el suelo transportado coluvial deslizado, Stco-Qd. Se realiza la normalización de los valores de ensayos SPT. A continuación, se presenta la envolvente de resistencia del suelo en la cual se determinan los esfuerzos normales y cortantes, y mediante la construcción de una regresión lineal, es posible estimar los parámetros de resistencia al corte ϕ' y c' .

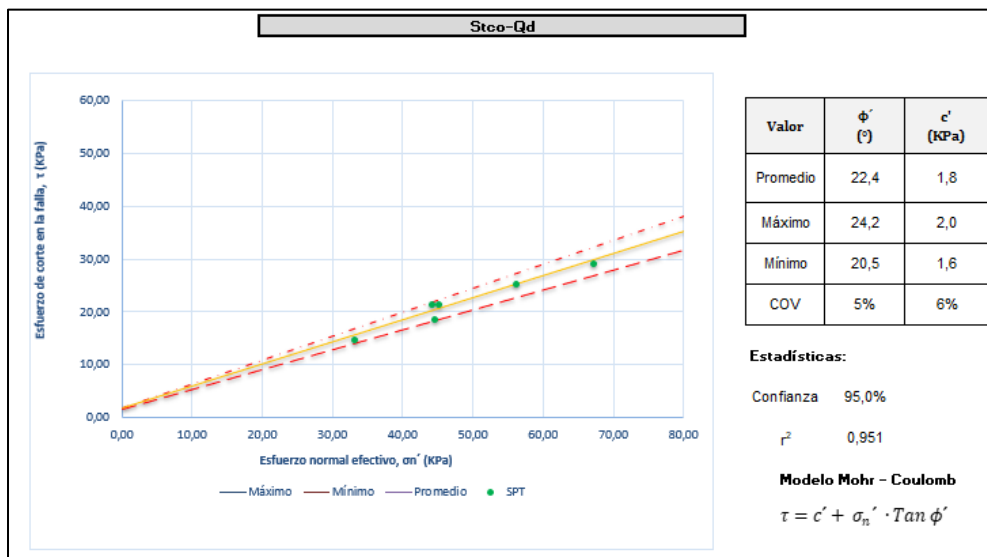


Figura 3-48. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia
Fuente: Propia.

Los resultados de la correlación propuesta arrojan un valor medio de 22.4° para el ángulo de fricción efectivo ϕ' . Teniendo en cuenta el análisis que realiza Phoon (2008) del coeficiente de variación (COV) para diferentes propiedades geotécnicas establece un coeficiente de variación máxima del 10%. De los resultados establecidos se obtiene un COV del 9% y una desviación estándar de la muestra de 2.0. Estos valores serán empleados posteriormente en el análisis tanto de amenaza como de estabilidad.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-50. Análisis del ángulo de fricción- suelo Stco P35.

P35		Ángulo de fricción (°)			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Stco-Qd	Suelo transportado Coluvial deslizado	20,4	22,4	24,4	2,0	9

Fuente: Propia.

Dadas las condiciones de estabilidad actual y el comportamiento del material se emplea el valor medio del resultado obtenido por correlación con el ensayo de SPT es decir 1.8 kPa. De igual forma, Phoon (2008) estima el coeficiente de variación (COV) del 30% para la Cohesión, por lo que se obtiene la desviación estándar de la muestra y así los valores mínimo, medio y máximo del para el suelo transportado coluvial Stco-Qd. Estos valores serán empleados posteriormente en el análisis, tanto de amenaza, como de estabilidad.

Tabla 3-51. Análisis de cohesión- suelo Stco.

P35		Cohesión (kPa)			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Stco-Qd	Suelo transportado Coluvial deslizado	1,6	1,8	2,0	0,2	30

Fuente: Propia.

3.5.3.2. SUELO TRANSPORTADO DE FLUJO DE LODO (STFL-Q1SA)

La definición de los parámetros geotécnicos se basó en las perforaciones ejecutadas en la zona y correlación con el ensayo de SPT. Las metodologías empleadas son descritas a continuación:

- **Peso Unitario-Laboratorio**

En los resultados de laboratorio presentados el peso Unitario medio corresponde a 23,90 kN/m³, en el capítulo 3.5.2.2. se justificó la elección de únicamente dos de los resultados, el valor medio de los valores corresponde a 22,43 kN/m³. Con el fin de establecer un rango de valores del peso Unitario, se emplea un coeficiente de variación máxima del 1%. A partir de los valores se obtiene la desviación estándar de la muestra y así los valores mínimo,

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

medio y máximo del peso específico. Estos valores serán empleados posteriormente en el análisis de Amenaza. A continuación, el resumen de ese análisis:

Tabla 3-52 Resultados de laboratorio Stfl-Q1sa.

P35		Peso Unitario kN/m ³			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Stfl-Q1sa	Suelo transportado de flujo de lodo	22,28	22,43	22,58	0,15	1

Fuente: Propia.

• **Ángulo de fricción y cohesión- Correlaciones**

Se emplea la metodología propuesta por Álvaro Jaime González (1998) “Estimativos de parámetros de resistencia a partir del SPT”, con el objeto de determinar un ángulo de fricción interna efectivo y una cohesión efectiva para Stfl-Q1sa. Se realiza la normalización de los valores de ensayos SPT, y se determinan valores de ϕ' y c' empleando el número de golpes de campo N45. A continuación, se presenta la envolvente de resistencia del suelo en la cual se determinan los esfuerzos normales y cortantes, y mediante la construcción de una regresión lineal, es posible estimar los parámetros de resistencia al corte ϕ' y c' .

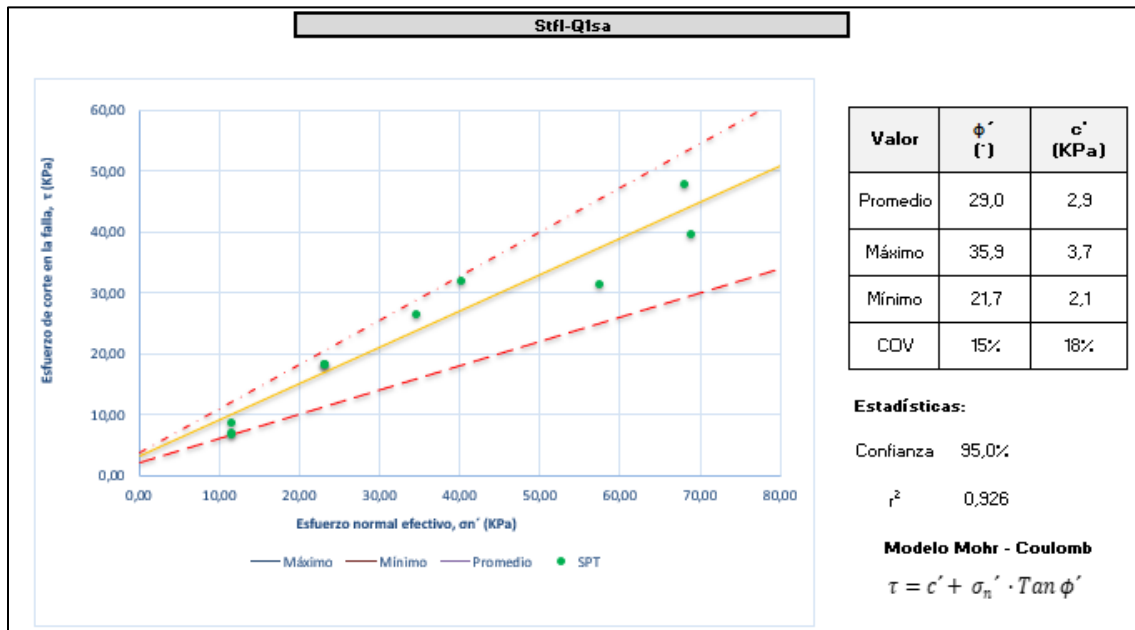


Figura 3-49. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Los resultados de la correlación propuesta arrojan un valor medio de 29,0° para el ángulo de fricción efectivo ϕ' . Teniendo en cuenta el análisis que realiza Phoon (2008) del coeficiente de variación (COV) se obtiene un COV del 27% y una desviación estándar de la muestra de 7,1. Estos valores serán empleados posteriormente en el análisis tanto de amenaza como de estabilidad.

Tabla 3-53. Análisis del ángulo de fricción- suelo Stfl-Q1sa.

P35		Ángulo de fricción (°)			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Stfl-Q1sa	Suelo transportado de flujo de lodo	21,70	29,0	35,90	7,1	24

Fuente: Propia.

A partir de la correlación del ensayo SPT, se estimó un valor de cohesión de 2,9 kPa y con COV de 30 % Phoon (2008). Se obtiene la desviación estándar de la muestra y así los valores mínimo, medio y máximo. Estos valores serán empleados posteriormente en el análisis tanto de amenaza como de estabilidad.

Tabla 3-54. Análisis de cohesión- suelo Stfl-Q1sa.

P35		Cohesión (kPa)			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Stfl-Q1sa	Suelo transportado de flujo de lodo	2,1	2,9	3,7	0,8	28

Fuente: Propia.

3.5.3.3. ROCA INTERMEDIA ARENISCA DE LA FORMACIÓN LABOR-TIERNIA (RIA-K2T)

La definición de los parámetros geotécnicos para la roca intermedia arenisca es ejecutada a partir de ensayos de laboratorio a muestras de roca extraídas y empleando el software RocData y RocLab.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- **Peso Unitario – Ensayos de laboratorio**

En cuanto al peso Unitario se consideró el promedio de los ensayos de laboratorio, de igual manera la desviación estándar de la muestra y COV.

Tabla 3-55 Distribución del peso Unitario (kN/m³) – roca intermedia Arenisca Ria-K2t

P35		Peso Unitario kN/m ³			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Ria-K2t	Roca Intermedia Arenisca	24,06	24,81	25,56	0,75	3

Fuente: Propia.

Por otro lado, para considerar la resistencia a la compresión del material se considera el valor medio del resultado de los ensayos para carga puntual y compresión uniaxial, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3-56 Distribución de resistencia a la compresión UCS (MPa)– Roca Intermedia Arenisca Ria

P35		USC (MPa)			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Max	Desv. Estándar	COV (%)
Ria-K2t	Roca Intermedia Arenisca	23,1	31,78	40,4	8,6	27

Fuente: Propia

- **Software**

Dadas las propiedades de la roca intermedia Arenisca (Ria) el criterio de falla que gobierna el material es el propuesto por Hoek y Brown para materiales fracturados, teniendo en cuenta la descripción geológica se identifica el parámetro GSI (índice de resistencia geológica) y a partir de este valor y la resistencia a la compresión obtenida previamente es posible identificar los parámetros s , a y m_b . Con base en los resultados geológicos se estima un $GSI = 45$. Los resultados anteriores son ingresados al software RocData, del cual es posible correlacionar los criterios de falla de Hoek y Brown con Mohr Coulomb dando un estimado de valores de resistencia al corte efectivos cohesión c' y ángulo de fricción ϕ' .

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-57. Datos de entrada para el programa RocData-Valor medio de σ_c (MPa)

Parámetro	Valor
Resistencia a la compresión simple (MPa) ⁽ⁱ⁾	31,78
Peso específico (kN/m ³)	24.81
GSI	45
Índice de resistencia geológica ⁽ⁱⁱ⁾	13
Factor de perturbación	0

⁽ⁱ⁾ Definido a partir de resultados de ensayos de laboratorio.

⁽ⁱⁱ⁾ Valor típico para Arenisca

Fuente: Propia.

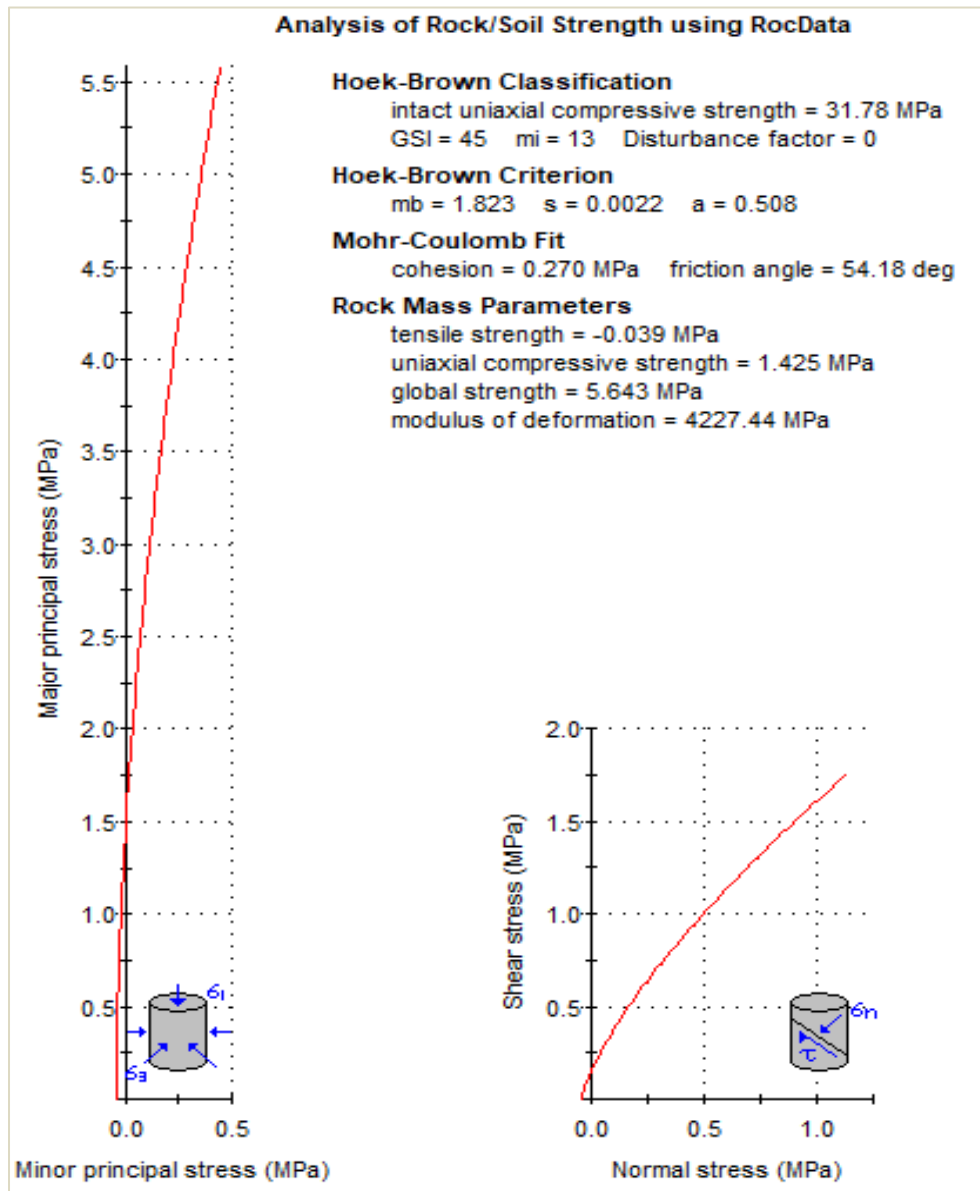


Figura 3-50. Parámetros resistencia al corte Roca Intermedia Arenisca

Fuente: RocData.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-58 Datos de entrada para el programa RocLab – Mínimo de σ_c (Mpa)

Parámetro	Valor
Resistencia a la compresión simple (MPa) ⁽ⁱ⁾	23,1
Peso específico (kN/m ³)	24.81
GSI	45
Índice de resistencia geológica ⁽ⁱⁱ⁾	13
Factor de perturbación	0

⁽ⁱ⁾ Definido a partir de resultados de ensayos de laboratorio.

⁽ⁱⁱ⁾ Valor típico para arenisca

Fuente: Propia.

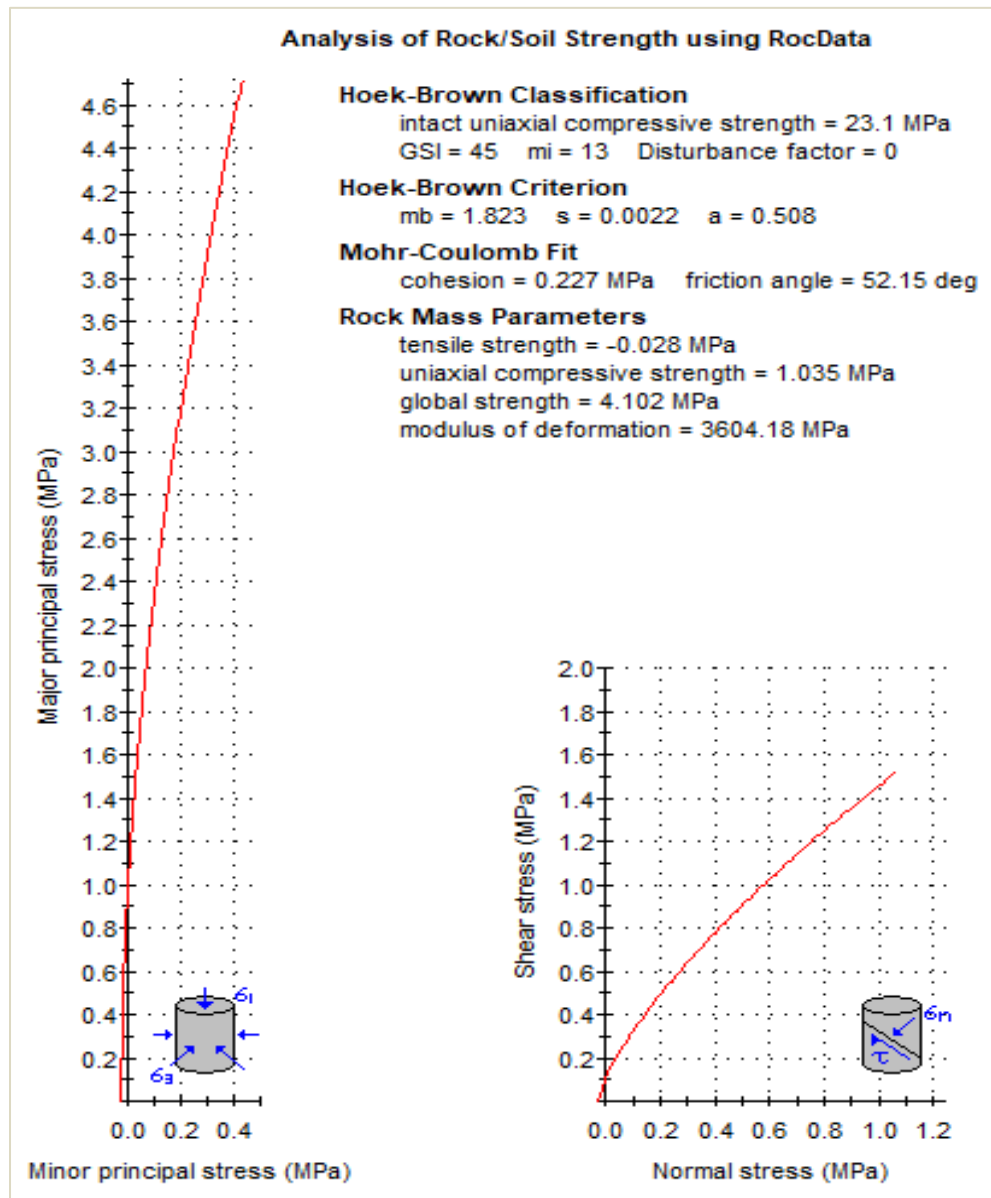


Figura 3-51. Parámetros resistencia al corte mínimo – Roca Intermedia Arenisca Ria en RocLab.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-59 Datos de entrada para el programa RocLab – Máximo de σ_c (Mpa)

Parámetro	Valor
Resistencia a la compresión simple (MPa) ⁽ⁱ⁾	40,4
Peso específico (kN/m ³)	24.81
GSI	45
Índice de resistencia geológica ⁽ⁱⁱ⁾	13
Factor de perturbación	0

⁽ⁱ⁾ Definido a partir de resultados de ensayos de laboratorio.

⁽ⁱⁱ⁾ Valor típico para areniscas.

Fuente: Propia.

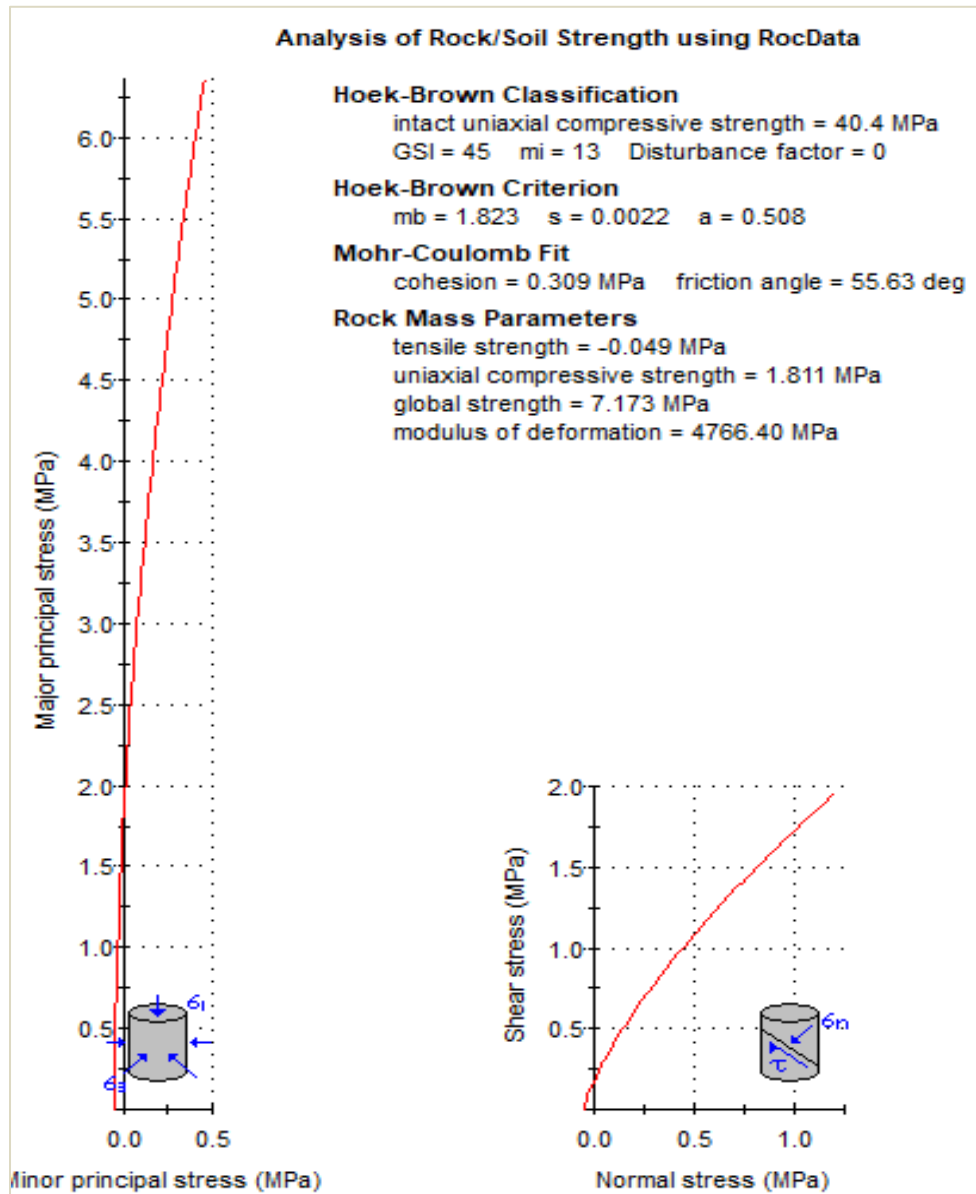


Figura 3-52. Parámetros resistencia al corte máximo – Roca Intermedia Arenisca Ria en RocLab.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.5.3.4. SUELO ANTRÓPICO DE LLENOS DE VÍAS (SALV)

Los llenos antrópicos se encuentran ubicados en las vías que hacen parte del área de estudio y están constituidos por materiales empleados tales como base o subbase denso a muy densa y con estructura heterogénea. En este caso no se evidencian sondeos por lo que la caracterización de estos materiales se identifica en la literatura como materiales tipo B 200, compactados al 95% de Proctor. Dado que no se cuenta con valores puntuales de estos materiales se considera un valor de cohesión de 4 kN/m², ángulo de fricción típico de 30° y un peso Unitario de 20 kN/m³, de acuerdo con el Manual de Carreteras del INVIAS, 2013. El análisis estadístico de las variables de resistencia al corte acorde a Phoon (2008) es:

Tabla 3-60 Análisis del peso Unitario – suelo Salv.

P35		Peso Unitario kN/m ³			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Salv	Suelo antrópico llenos de vías	19	20	21	1	5%

Fuente: Propia.

Tabla 3-61 Análisis del ángulo de fricción – suelo Salv.

P35		Ángulo de fricción (°)			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Salv	Suelo antrópico llenos de vías	28	30	32	2	6.7%

Fuente: Propia.

Tabla 3-62 Análisis de cohesión – suelo Salv.

P35		Cohesión (kPa)			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Salv	Suelo antrópico llenos de vías	2	4	6	2	50%

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.5.3.5. SUELO TRANSPORTADO COLUVIAL ANTIGUO (STCA)

De manera general los suelos transportados aluviales son sedimentos que han sido transportados y depositados por cuerpos hídricos sean ríos, quebradas, y cauces activos y/o abandonados. En cuanto a su composición se caracterizan por ser heterogéneos pueden estar conformados por bloques, cantos, gravas, arena y finos. Se identifican por sus formas redondeadas y de poca o nula angularidad. En cuanto a su granulometría, se identifican tamaños variables de clastos contenidos en matriz arcillo-limosa.

Se consideran como depósitos de gran extensión y en general de áreas planas. Dado que la exploración directa se enfocó en los sitios que presentan procesos morfodinámicos, los parámetros geomecánicos se definieron con base en datos bibliográficos pertenecientes a Empresas públicas de Medellín (EPM). Así mismo fueron validados por la experiencia de la presente consultoría y su conocimiento ante estos materiales. De igual manera se tuvieron las consideraciones desarrolladas por Phoon (2008) en búsqueda de identificar un rango de valores aceptado bajo la consideración de estadística descriptiva. Los resultados a continuación:

Tabla 3-63 Análisis del peso Unitario – suelo transportado aluvial Stca.

P35		Peso Unitario kN/m ³			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Stca	Suelo transportado Coluvial antiguo	19	20	21	1	5%

Fuente: Propia.

Tabla 3-64 Análisis del ángulo de fricción – suelo transportado aluvial Stca.

P35		Ángulo de fricción (°)			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Stca	Suelo transportado Coluvial antiguo	32	34	36	2	5.9%

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-65 Análisis de cohesión – suelo transportado aluvial Stca.

P35		Cohesión (kPa)			Análisis estadístico	
Tipo	Nombre	Min.	Media	Máx.	Desv. Estándar	COV (%)
Stca	Suelo transportado Coluvial antiguo	6	8	10	2	25

Fuente: Propia.

3.5.3.6. RESUMEN DE PARÁMETROS – ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

La siguiente tabla presenta los parámetros para cada una de las UGI identificadas basándose en el criterio de falla de Mohr Coulomb para suelos y Hoek y Brown para roca intermedia, se tiene en cuenta la distribución de valores contemplando máximo, mínimo y promedio.

Tabla 3-66 Resumen de parámetros de resistencia al corte.

P35		Peso Unitario	Cohesión	Ángulo de fricción	UCS	m	s	a
Tipo	Nombre	kN/m ³	kN/m ²	(°)	MN/m ²			
Stco-Qd	Suelo transportado coluvial desplazado	20.95	1.8	22.4				
Stfl-Q1sa	Suelo transportado de flujo de loco	22.43	2.9	29.0				
Salv	Suelo antrópico de lleno de vías	20	4.0	30				
Ria	Roca intermedia Arenisca de la Formación Labor – Tierna	24.81			31,78	1.823	0.0022	0.508

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.5.3.7. RESUMEN DE PARÁMETROS – ANÁLISIS DE AMENAZA

La tabla siguiente consta de parámetros para cada una de las UGI identificadas basándose en el criterio de falla de Mohr Coulomb, se tiene en cuenta la distribución de valores contemplando: máximo, mínimo y promedio.

Tabla 3-67. Resumen de parámetros de resistencia al corte.

P35		Peso Unitario kN/m ³			Ángulo de fricción (°)			Cohesión (kN/m ²)		
Tipo	Nombre	Min.	Promedio	Máx.	Min.	Promedio	Máx.	Min.	Promedio	Máx.
Stco-Qd	Suelo transportado coluvial deslizado	19.95	20.95	21.95	20.40	22.40	24.40	1.60	1.80	2.00
Stfl-Q1sa	Suelo transportado de flujo de loco	22.28	22.43	22.58	21.70	29.0	35.9	2.10	2.90	3.70
Stca	Suelo transportado coluvial antiguo	19.0	20.0	21.0	32.0	34.0	36.0	6.0	8.0	10.0
Ria-K2t	Roca intermedia arenisca	24.06	24.81	25.56	52.2	54.2	55.6	227	270	309
Salv	Suelo antrópico de lleno de vías	19.0	20.0	21.0	28.0	30.0	32.0	2.0	4.0	6.0

Fuente: Propia.

3.5.4. MECANISMOS DE FALLA

De acuerdo con las observaciones de campo, y las características topográficas, geotécnicas, geológicas y geomorfológicas, se determina que los mecanismos de falla del perfil de suelo son de tipo **planar falla traslacional**. Se debe tener en cuenta que el suelo transportado coluvial (Stco-Qd), que tiene menor resistencia, puede generar mecanismos de falla sobre el sustrato rocoso de la roca intermedia de arenisca (Ria).

Para los diferentes análisis tanto de estabilidad, como de amenaza por movimientos en masa, se obtienen perfiles que permiten incluir los procesos que producen inestabilidad global y local, basando este análisis en la exploración geotécnica. Se hace la aclaración de que para representar las cargas de construcciones se adopta un valor de 10 kPa por nivel. De acuerdo con la NSR-10 para simular la sobre carga de la vía se estima un espesor de 0.60 m para la estructura de pavimento y un peso específico de relleno de 20 kN/m³, lo cual arroja un valor de 12 kPa.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6. AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO EN ESTADO ACTUAL**3.6.1. EVALUACIÓN AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA**

Para el análisis de amenaza por movimientos en masa, previamente se realizó la identificación de la geología, la geomorfología, las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, y los procesos morfodinámicos existentes. Esta zonificación también consideró un modelo geológico-geotécnico, teniendo en cuenta los resultados de investigación del subsuelo, las observaciones de campo, las conclusiones del estudio de geología de detalle y los parámetros de resistencia calculados.

3.6.1.1. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Para la zonificación de amenaza se realizó siguiendo los lineamientos de la *Guía metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en masa, del Servicio Geológico Colombiano*. Para llevar a cabo la zonificación de amenaza por movimientos en masa se tiene en cuenta el siguiente flujograma en el cual se detalla que todos los insumos cartográficos, topografía, coberturas, mapa de pendientes, unidades geológicas para ingeniería, fueron levantadas en escala de detalle (1:1000); y para llevar a cabo la categorización de amenaza se emplea un modelo de cálculo determinístico empleando en el método de equilibrio límite.

Se debe determinar el factor de seguridad de cada unidad de trabajo, definido por la malla y las columnas de suelo obtenidas, el cual hace referencia al tamaño de un píxel de 1.0 m x 1.0 m.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

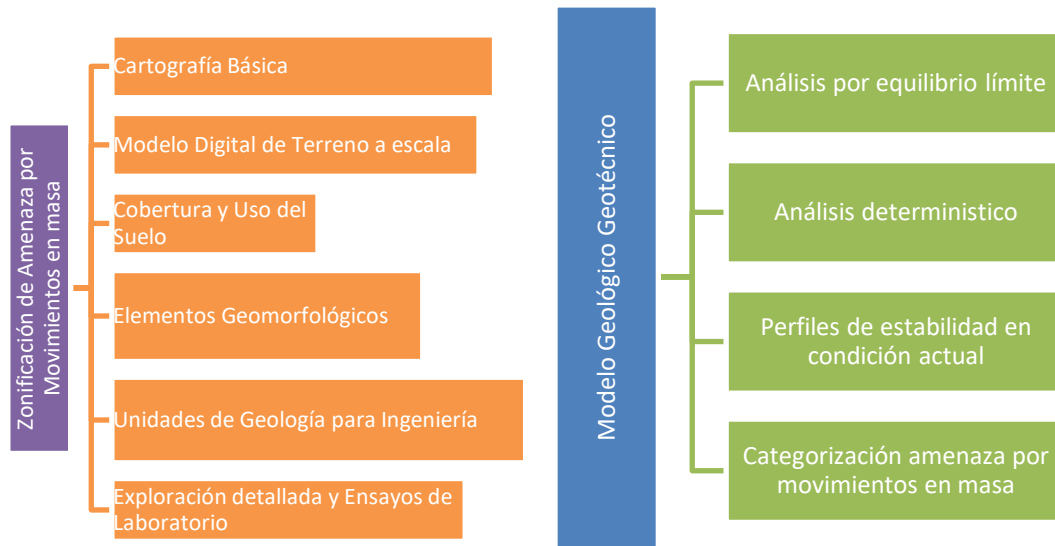


Figura 3-53. Zonificación detallada de amenaza por movimientos en masa
Fuente: SGC, 2016. Modificada 2022.

La ecuación del factor de seguridad para una condición de esfuerzos efectivos en este caso se expresa de la siguiente manera, de acuerdo con Bishop y Morgenstern (1960), postulada en el libro de Soil Strength and Slope Stability (Duncan et al, 2014):

Ecuación 3-9. Factor de seguridad para una condición de esfuerzos efectivos.

$$FS = b * \frac{c'}{\gamma z} * \frac{2}{\text{sen}(2\beta)} + \left(\cot\beta - \frac{\mu}{\gamma z} * (\cot\beta + \tan\beta) \right) * \tan \varphi' * Kh$$

Donde:

c' y Φ' son los parámetros de resistencia del suelo en la base de la columna de suelo, en termino de esfuerzos efectivos.

γ es el peso Unitario del suelo.

b es el ancho de la tajada.

z es la altura de suelo por encima de la superficie potencial de deslizamiento.

$u/\gamma z$ coeficiente de presión de poros.

β es el ángulo de inclinación de la superficie de falla.

kh es el coeficiente de aceleración horizontal para un período de retorno de 475 años.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Seguidamente se ilustran los parámetros antes indicados:

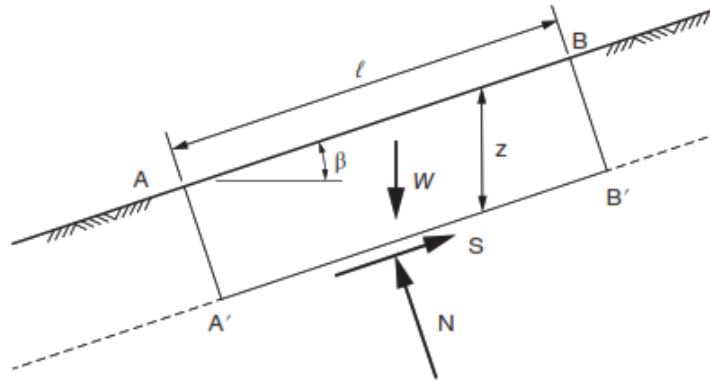


figura 3-54. Parámetros para análisis de amenaza por movimientos en masa.
Fuente: Soil Strength and Slope Stability, Duncan et al, 2014.:

De acuerdo con la Guía del Servicio Geológico y con el fin de categorizar y establecer zonas de amenaza actual los mapas de identificación de Amenaza para el área de interés se discretizan de acuerdo con los siguientes FS con lo plasmado en el capítulo H de la NSR-10.

Tabla 3-68. Factores de seguridad para la discretización de la amenaza

CONDICIONES	
AMENAZA	NORMAL
BAJA	>1.5
MEDIA	1.0-1.5
ALTA	<1.0

Fuente: Propia.

La generación del mapa se realizó uniendo zonas de amenaza de igual categoría, teniendo en cuenta la topografía de la zona, la geología, los procesos morfodinámicos existentes, las observaciones de campo y las zonas de transición que deben existir entre cada una de las categorías, de acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-69. Categorización propuesta para la amenaza por movimientos en masa por la consultoría.

CATEGORÍA AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD	SIGNIFICADO
ALTA	< 1.0	El movimiento en masa puede ser inminente, con un período de retorno menor a 20 años. Actualmente se presenta el movimiento en masa
		Debe esperarse que ocurra un movimiento en masa dentro del tiempo de vida de una persona (períodos de retorno entre 20 y 100 años).
MEDIA	1.0 – 1.5	La ocurrencia de un movimiento en masa durante el término de un tiempo de vida es poco probable, pero es posible que ocurra bajo condiciones adversas. Su probabilidad de ocurrencia acumulada de 20% en un período de diseño de 50 años, según la NSR-2010.
		El evento puede ocurrir siempre y cuando se presenten condiciones muy adversas. La probabilidad de ocurrencia acumulada del evento está entre el 10% y el 20% en un período de diseño de 50 años.
BAJA	> 1.5	El evento puede ser concebible pero únicamente bajo circunstancias excepcionales. Límite de probabilidad de excedencia del sismo de diseño para edificaciones según la NSR-2010. La probabilidad de ocurrencia acumulada del evento es menor al 10% en un período de diseño de 50 años.

Fuente: Propia.

3.6.1.2. PARÁMETROS DE ANÁLISIS

A continuación, se describen los factores intrínsecos del terreno que incluyen la geometría del talud, los parámetros de resistencia, y el peso unitario de los materiales existentes. Por otra parte, los factores detonantes incluyen la variación del nivel freático en el suelo y las sollicitaciones sísmicas, entre otras de acuerdo con la fórmula de talud infinito.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.1.3. PARÁMETROS DE RESISTENCIA

De acuerdo con los análisis de variabilidad de las propiedades geotécnicas de esta zona se define el perfil geotécnico representativo junto con sus parámetros de análisis.

Tabla 3-70. Resumen de parámetros de resistencia al corte.

P35		Peso Unitario kN/m ³			Ángulo de fricción (°)			Cohesión (kN/m ²)		
Tipo	Nombre	Min.	Promedio	Máx.	Min.	Promedio	Máx.	Min.	Promedio	Máx.
Stco-Qd	Suelo transportado coluvial deslizado	19.95	20.95	21.95	20.40	22.40	24.40	1.60	1.80	2.00
Stfl-Q1sa	Suelo transportado de flujo de loco	22.28	22.43	22.58	21.70	29.0	35.9	2.10	2.90	3.70
Stca	Suelo transportado coluvial antiguo	19.0	20.0	21.0	32.0	34.0	36.0	6.0	8.0	10.0
Ria-K2t	Roca intermedia arenisca	24.06	24.81	25.56	52.2	54.2	55.6	227	270	309
Salv	Suelo antrópico de lleno de vías	19.0	20.0	21.0	28.0	30.0	32.0	2.0	4.0	6.0

Fuente. Propia.

3.6.1.3.1. COBERTURA

La cobertura vegetal del suelo es un componente de vital importancia en la definición de conflictos sociales y ambientales, hace referencia a las diferentes clases de vegetación existente en un área determinada cuya dinámica ha sido consecuencia de las condiciones climáticas, topográficas, edáficas y de las características socioeconómicas y culturales propias de los pobladores de la localidad, se tiene en cuenta en los análisis de amenaza por la protección que le ofrece al suelo superficial y la estabilidad que aporta.

Con el fin de involucrar la cobertura numéricamente a los análisis de amenaza por movimientos en masa, se adicionan al valor de cohesión de las UGI presentes en el área de estudio. Para los valores de cohesión que aporta cada cobertura, se tiene en cuenta el valor medio de lo postulado en la Tabla 2.6 Typical Values for root cohesion, Cr (Kpa) de la Canadian Geotech. J. Vol 38, 2001. (Distribución espacial de las coberturas de la tierra, Fase III – Figura 3-21, Pág. 169). Cabe resaltar que la cohesión que aporta cada cobertura se saca del promedio de estas.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-71 Valores de Cohesión (kPa) que aporta cada cobertura

COBERTURA	Min	Max	Promedio
Tejido urbano discontinuo	1	2	1,5
Red vial ferroviaria y terrenos asociados	1	2	1,5
Otros cultivos transitorios	1	2	1,5
Pastos limpios	2	4	3
Arbustal	2	6	4
Tierras desnudas y degradadas	1	2	1,5
Zonas pantanosas	3	5	4

Fuente: Propia.

3.6.1.3.2. *ESPESOR DE LA MASA DESLIZANTE (H)*

La geometría del terreno, en términos de la altura, pendiente y curvatura superficial, es una variable dada por el modelo de elevación digital. Por otra parte, la geometría del subsuelo, específicamente el espesor de las unidades geológicas que conforman el área de estudio fue determinado a partir de los resultados de la campaña de exploración del subsuelo y el reconocimiento en campo de las condiciones geológicas y geomorfológicas que caracterizan el área de estudio, tal como se identificó a lo largo de este capítulo el espesor de los materiales movilizados, son inferiores a 2.0 m en todas las exploraciones de la parte alta de la ladera que es donde se encuentra el suelo movilizado Stco-Qd, según los mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 3-72 Relación de espesores de Stco/materiales movilizados en cada exploración

SONDEO	PROFUNDIDAD	UGI
S01	2.0 m	Stco-Qd
S02	1.5 m	Stco-Qd

Fuente: Propia.

3.6.1.3.3. *ALTURA DEL NIVEL FREÁTICO z_w / Ru*

En los análisis de amenaza se tiene en cuenta la variación de la posición del nivel de agua obtenido en cada una de las exploraciones, por medio del coeficiente de presión de poros R_u y dado que para el análisis de amenaza por movimientos en masa se requiere un único valor se toma el promedio de R_u , el cual es de 0.4 y se asocia la condición de saturación para el estrato superior del perfil estratigráfico que tiene un peso Unitario promedio de 22.9

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

kN/m³, se obtiene un coeficiente de presión de poros, tal como se puede ver en la siguiente tabla:

Ecuación 3-10. Ru

$$ru = \frac{\gamma_w * hw}{\gamma h}$$

Tabla 3-73 Cálculo y estimación del coeficiente Ru

Sondeo	Nivel Freático	Stfl-Q1sa (γ_s kN/m ³)	z (m)	Ru
S01	--			
S02	--			
S03	3,9	22,9	4	0,427
S04	3,4	22,9	4	0,378
S05	--			

Fuente: Propia.

3.6.1.3.4. **ÁNGULO DE INCLINACIÓN CON LA HORIZONTAL (β)**

La pendiente es el declive de un monte, montaña o altura cuya inclinación es el ángulo que forma con la horizontal, la generación del plano se realizó a partir del estudio topográfico y el Modelo Digital del Terreno (DTM – DIGITAL TERRAIN MODEL) de la zona en estudio. A continuación, en la Figura siguiente, se puede ver el mapa de pendientes generado, y posterior tabla de pendientes categorizadas, valores que se asocian al ángulo de inclinación, β .

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

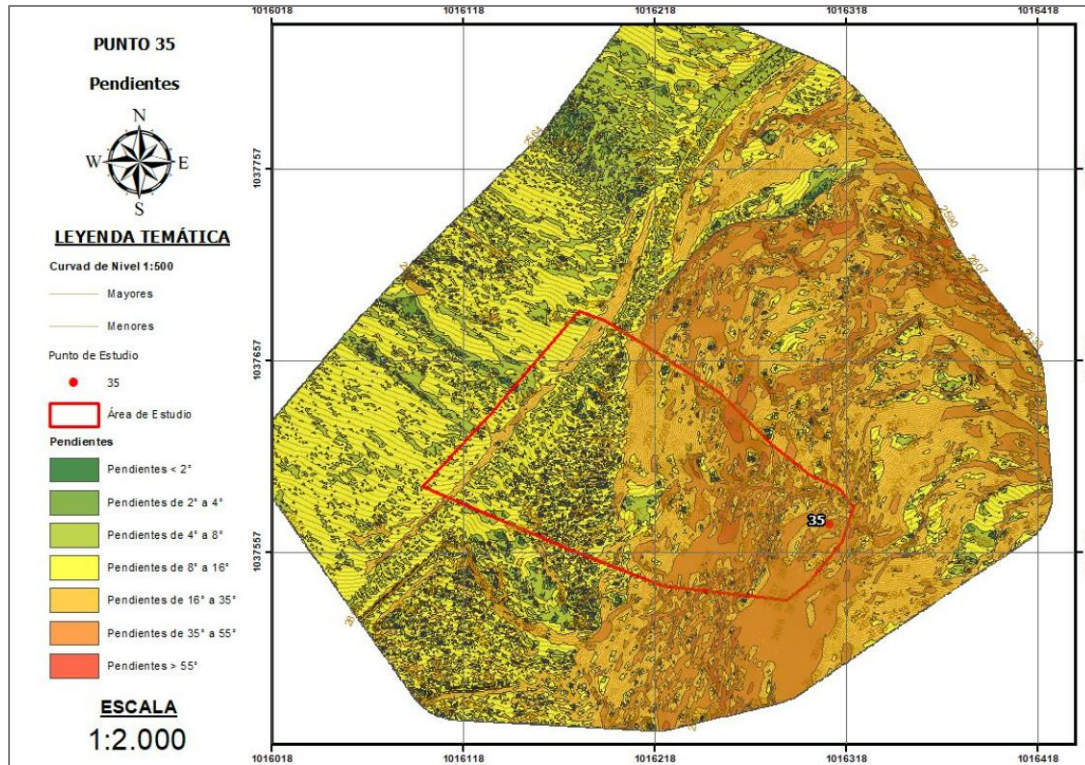


Figura 3-55. Mapa de pendientes.
Fuente: Propia.

Tabla 3-74. Rangos de pendientes usados en el análisis de amenaza por movimientos en masa

Inclinación (β)		Descripción
0°	2°	Plano a casi plano
2°	4°	Ligeramente inclinado
4°	8°	Inclinado
8°	16°	Moderadamente abrupto
16°	35°	Abrupto
35°	55°	Muy Abrupto
>	55°	Extremadamente Abrupto

Fuente: Van Zuidam, 1986.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.1.3.5. *SISMO*

El sismo es un factor detonante en cuanto a que la fuerza actuante aumenta en proporción a la aceleración sísmica y la fuerza resistente disminuye a causa de las presiones de poros inducidas por el sismo, lo que en consecuencia disminuye la estabilidad del talud expresada por el factor de seguridad (Hadj-Hamou & Kavazanjian, 1985). A continuación, se presentan los coeficientes de aceleración sísmica para el análisis de amenaza.

Tabla 3-75. Coeficientes de aceleración sísmica de análisis.

CONDICIÓN	Aa (g)
Amenaza	0.15

Fuente: Propia.

3.6.1.3.6. *ANÁLISIS DE EQUILIBRIO LÍMITE*

Con el fin de conocer las condiciones actuales de estabilidad, se hacen análisis por equilibrio límite, para todas las secciones haciendo uso del software Slide V6, el cual permite elaborar análisis de estabilidad en secciones bidimensionales, incluyendo geometrías del terreno, capas de materiales con sus parámetros geotécnicas, sobrecargas de diverso tipo, obras de contención entre otras opciones, calculando el factor de seguridad a partir de metodologías de equilibrio límite. En este caso se utiliza la metodología de Morgenstern y Prince 1965. La teoría establece que la falla del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de falla, se interpreta que la masa del terreno por encima de la línea se desplaza respecto a la masa inferior, lo que genera la rotura del terreno.

En el momento en que se produce la falla, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento se encuentra desplazada y el terreno se encuentra por completo en un equilibrio estático. Mediante el análisis de equilibrio límite se obtiene un número de factor de seguridad (FS) el cual expresa las condiciones de estabilidad de lo actuante sobre lo resistente. Esto se considera una ventaja debido a que esta variable se emplea para conocer el factor de amenaza para que el talud falle en condición extrema. Este análisis consiste en determinar la existencia de una resistencia en el suelo del talud que sea suficiente para soportar los esfuerzos cortantes que tienden a causar la falla o deslizamiento.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.1.4. ESTABILIDAD DE TALUDES CONDICIÓN ACTUAL

Con base a los requerimientos mínimos de estabilidad de taludes en las condiciones actuales deberá satisfacer un factor de seguridad menor a 1.5 para justificar la implantación de las obras. Este es calibrado en las áreas que actualmente se encuentran inestables asociados a los procesos morfodinámicos. Este análisis se realiza de manera inicial con el fin de verificar puntualmente los factores de seguridad con el fin de asociarlos a los análisis generales de amenaza por movimientos en masa. (Para mayor detalle ver Anexo Fase III - Modelo Geológico Geotécnico)

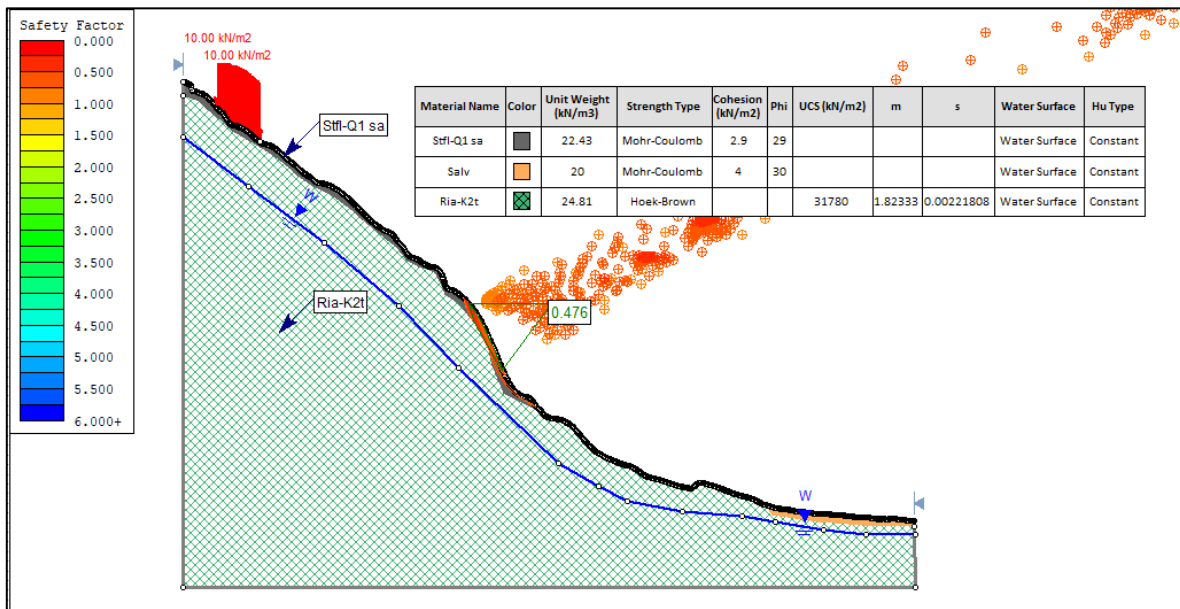


Figura 3-56. Análisis de estabilidad Perfil 1.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

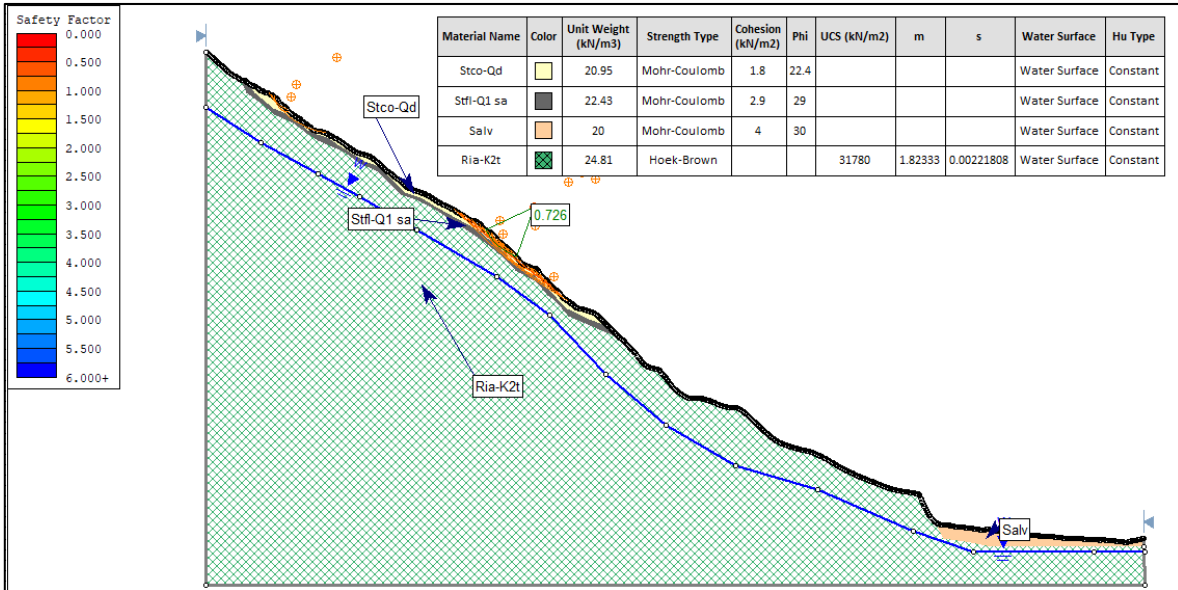


Figura 3-57. Análisis de estabilidad Perfil 2.
Fuente: Propia.

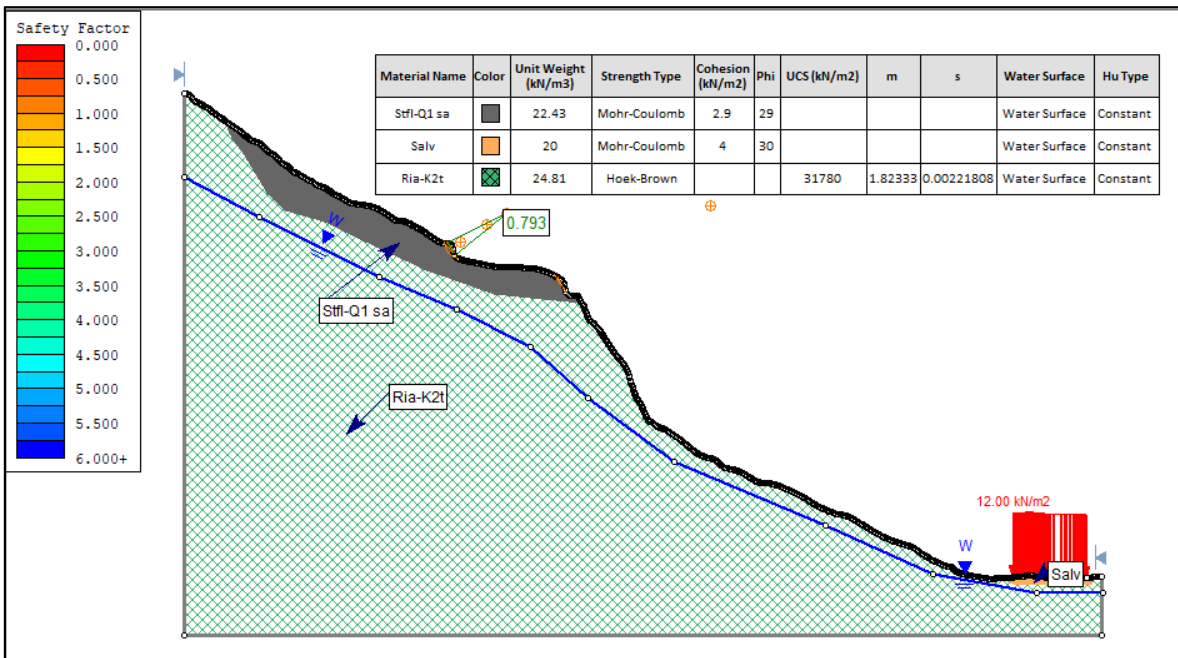


Figura 3-58. Análisis de estabilidad Perfil 3.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.1.5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE AMENAZA.

A continuación, se presenta el modelo geotécnico, junto con las características, propiedades y parámetros de resistencia de cada material, posteriormente el análisis de estabilidad para cada una de las condiciones mencionadas y así obtener el factor de seguridad en condiciones mencionadas y finalmente se presenta los resultados de los análisis para la categorización de amenaza. (Para mayor detalle anexo Fase III- AVR-01).

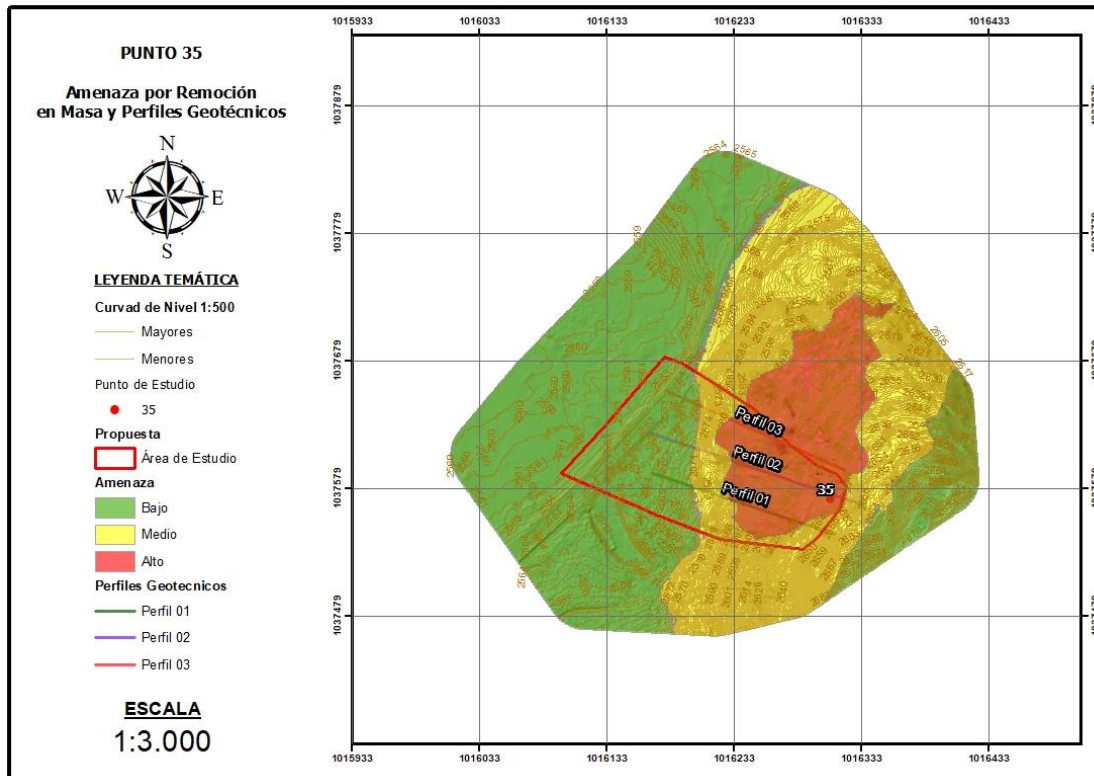


Figura 3-59. Mapa de amenaza por movimiento en masa, con perfiles de análisis en planta.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

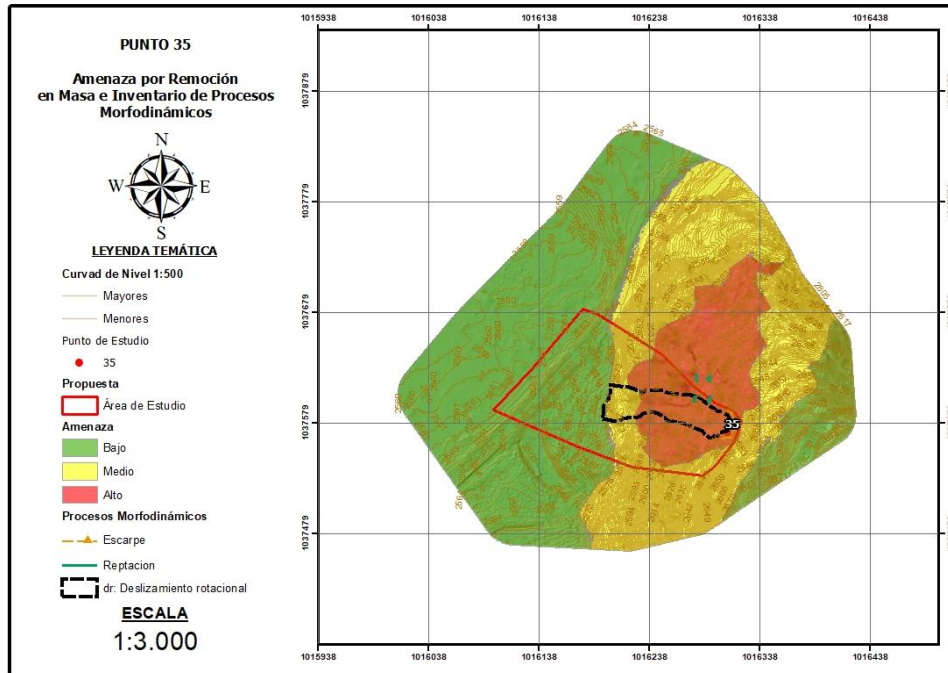


Figura 3-60. Procesos morfodinámicos en la categorización de amenaza por movimientos en masa.
Fuente: Propia.

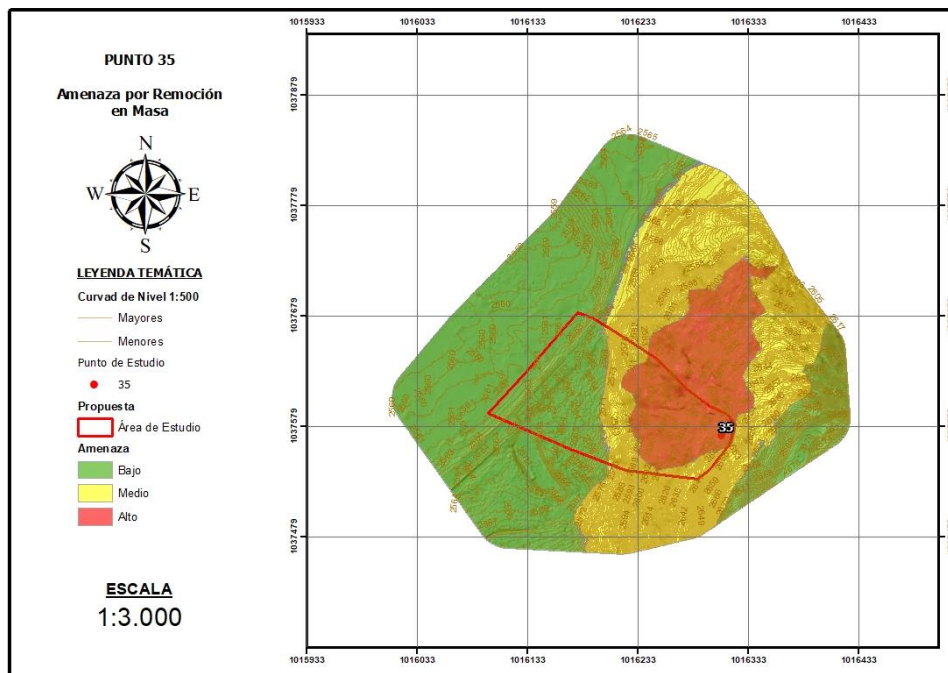


Figura 3-61. Mapa de amenaza por movimientos en masa.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.2. VULNERABILIDAD Y RIESGO

La vulnerabilidad se refiere a las condiciones de los elementos expuestos a una amenaza, que los hace susceptibles a sufrir un daño. Estos elementos pueden pertenecer al proyecto o al entorno, dependiendo de la dimensión que se esté considerando.

Así mismo, es importante resaltar que los elementos expuestos, sean personas, viviendas, infraestructura, etc., no son vulnerables por sí mismos; dicha condición es diferente frente a cada amenaza que se analice, y también varía de un elemento a otro, por lo cual es necesario realizar análisis de vulnerabilidad frente a cada amenaza priorizada. (Incorporando la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en proyectos de inversión pública 2019).

Del decreto 1807 de 2014 en su Artículo 17. **Evaluación de vulnerabilidad.** Para evaluar la vulnerabilidad se consideran los siguientes aspectos:

- De acuerdo con los resultados del estudio detallado de amenazas para cada fenómeno analizado, se deben identificar y localizar en la cartografía correspondiente los elementos expuestos.
- Se debe establecer las características de los elementos expuestos a las amenazas identificadas, en cuanto al tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial.

Del decreto 1807 de 2014 en su Artículo 18. **Evaluación del Riesgo.** Es el resultado de relacionar la zonificación detallada de amenaza y la evaluación de la vulnerabilidad. Con base en ello, se categorizará el riesgo en alto, medio y bajo, en función del nivel de afectación esperada.

Riesgo de desastres, corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad. (Ley 1523 de 2012).

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.2.1. IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

Las metodologías para los estudios de vulnerabilidad física pueden albergar una cantidad de variables que en la medida que se utilicen, pueden aumentar su grado de complejidad, por ende, estos análisis se omiten en gran cantidad de estudios básicos y detallados donde solo se llega a susceptibilidad y amenaza.

La exposición se refiere a la ubicación de la infraestructura que puedan ser afectados por la materialización de una amenaza. Por ello, se denominan “elementos expuestos” a aquellos ubicados en una zona de exposición a determinada amenaza.

Para optimizar el proceso, solamente se consideran los elementos ubicados en zonas de amenaza alta y media además que se encuentren en los polígonos de estudio nivel de detalle. Para determinar los elementos expuestos, se revisa el mapa de zonificación de la amenaza que se esté estudiando, identificando aquellos que se encuentren ubicados en las zonas de amenaza alta y media.

La metodología propuesta en la guía del servicio geológico colombiano está orientada a la evaluación de vulnerabilidad física con fines de estimaciones cuantitativas de riesgo, para lo cual los elementos expuestos se reducen a dos grupos: bienes físicos y personas.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-76. Clasificación de los elementos expuestos

CLASIFICACIÓN		IDENTIFICACIÓN	USO - COMPONENTES
Bienes Físicos	Edificaciones	Indispensables - Grupo IV (Norma NSR-10)	Salud (Pública / Privada)
		Atención a la comunidad - Grupo III (Norma NSR-10)	Seguridad
			Emergencia
			Educación
	Ocupación especial - Grupo II (Norma NSR-10)	Institucionales	
		Gubernamentales	
		Centros Comerciales	
	Ocupación normal - Grupo I (Norma NSR-10)	Industria	
		Residencial y Comercio	
	Líneas Vitales	Red vial	Vías
Puentes Vehiculares			
Puentes Peatonales			
Servicios Públicos		Líneas de Acueducto, alcantarillado y gas (tuberías)	
	Redes eléctricas y comunicacionales		
Personas		Población	

Fuente: Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por M.M.

Esta clasificación se realiza en los estudios del conocimiento del riesgo por lo cual en etapa estudios de reducción del riesgo solo se estimará la vulnerabilidad en los bienes físicos. La guía metodológica del SGC para movimiento en masa se desarrolla para ambientes urbanos, se escapan de su alcance la evaluación del riesgo en zonas rurales por lo cual se realiza un ajuste con la guía metodología para la elaboración de planes COL/72959 PNUD-UNGRD.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

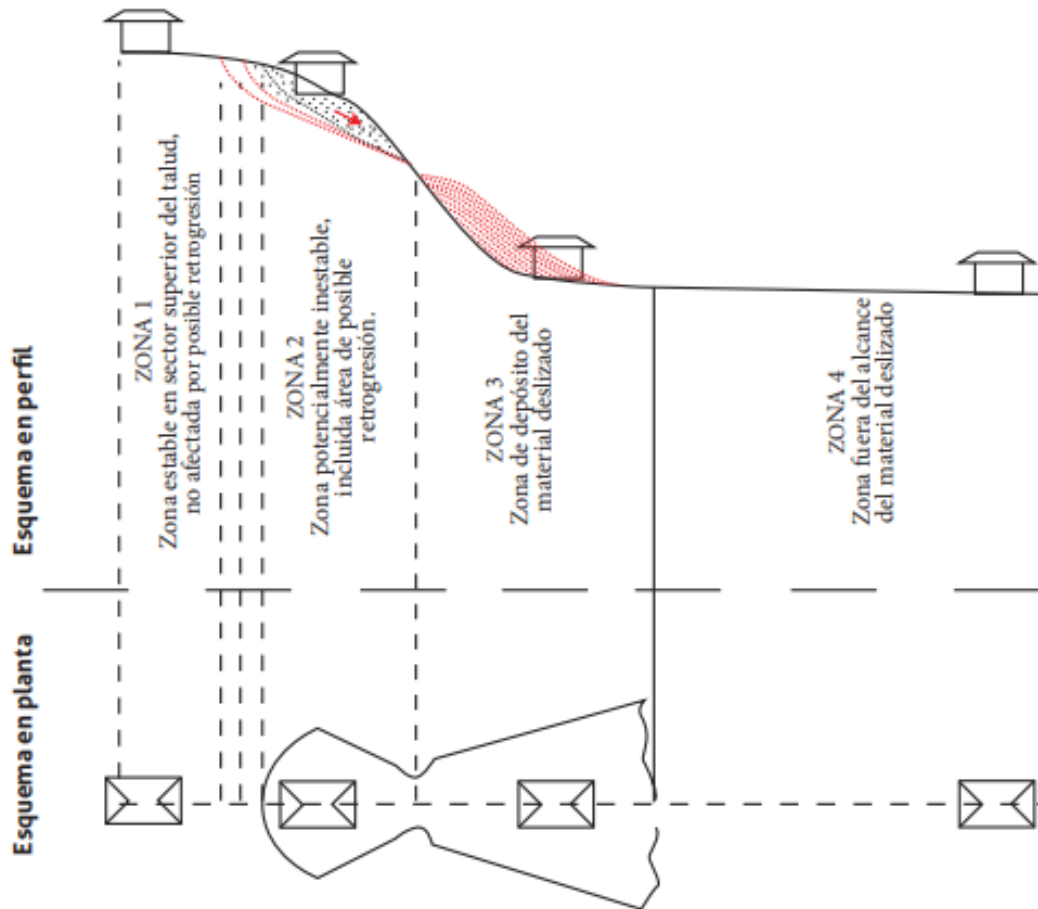


Figura 3-62. Exposición de los elementos y ubicación de la amenaza
Fuente: Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por M.M.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.2.2. VULNERABILIDAD FÍSICA DE LA INFRAESTRUCTURA EN ELEMENTOS EXPUESTOS

El análisis de vulnerabilidad se planea con factores físicos de infraestructuras como viviendas, servicios públicos y vías. La caracterización propuesta se enfoca en la naturaleza del proyecto de consultoría la cual es reducción y mitigación del riesgo por lo tanto el análisis de vulnerabilidad con factores ambientales, sociales y económicos no se desarrollarán por ser un análisis en el conocimiento del riesgo.

Está relacionada con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las viviendas, establecimientos económicos (comerciales e industriales) y de servicios (salud, educación, instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (centrales hidroeléctricas, vías, puentes y sistemas de riesgo), para asimilar los efectos de los fenómenos que constituyen una amenaza. Otro aspecto importante es la calidad del suelo y el lugar donde se encuentran los centros poblados, cerca de fallas geológicas, laderas de cerros, riberas de ríos, áreas costeras; situación que incrementa significativamente su nivel de vulnerabilidad.

En el plan departamental de gestión del riesgo será determinado el nivel de vulnerabilidad física únicamente para la infraestructura vital departamental (vías, puentes, hospitales, estaciones de bomberos, estaciones de policía, entre otros).²

En la tabla siguiente se establecen las variables que definen la vulnerabilidad de los diversos elementos físicos expuestos en cada cobertura frente a los eventos considerados, los cuales en la clasificación y estimación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos son analizados como punto de partida en la valoración.

² Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-77. Variables de vulnerabilidad en los elementos expuestos

COBERTURA		INUNDACIONES	MOVIMIENTOS EN MASA	AVENIDAS TORRENCIALES
1. Territorios artificializados.	1.1. Zonas urbanizadas.	Tipología de construcción predominante.	Ubicación Relativa	Ubicación Relativa.
		Estado predominante de conservación de las construcciones.	Tipología de construcción predominante.	
			Estado predominante de conservación de las construcciones.	
	1.2. Zonas industriales, comerciales y redes de comunicación.	Estado de mantenimiento de la red.	Estado mantenimiento de la red.	Ubicación Relativa.
			Ubicación Relativa.	
	1.3. Zonas de extracción minera y escombreras.	Tipología de mina.	Tipología de mina.	Ubicación Relativa.
			Proceso de extracción y/o disposición de materiales.	
	1.4. Zonas verdes artificiasdas, nos agrícolas.	Calidad de sistema de drenaje.	Ubicación Relativa.	Ubicación Relativa.
2. Territorios agrícolas.	2.1. Cultivos transitorios.	Calidad de sistema de drenaje.	Ubicación Relativa.	Ubicación Relativa.
	2.2. Cultivos permanentes.			
	2.3. Pastos.			
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas.	Tipo de cultivo.		

Fuente: Ajustado de Metodología para evaluar riesgos, Incorporando la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en proyectos de inversión pública.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

La vulnerabilidad física de personas depende de factores relacionados tanto con la amenaza (tipo, tamaño, distribución e intensidad del evento) como con la capacidad de respuesta y resistencia de los individuos. A causa de la complejidad y dinámica de la naturaleza humana, la vulnerabilidad de las personas cambia en el tiempo e involucra grandes incertidumbres que inciden directamente en el planteamiento de metodologías de evaluación basadas en el conocimiento experto y datos empíricos.

La vulnerabilidad física de personas se considerará en conjunto con la vulnerabilidad física de las edificaciones, asociada como un factor de vulnerabilidad, con arreglo a relaciones empíricas como las que presentan Uzielli et al. (2008) y Nadim (2013), o como un factor de ocupación por medio de factores como el uso del suelo y la clasificación socioeconómica de cada edificación. El valor de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos en cada uno de los puntos de estudio estará calificado de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 3-78. Variables de vulnerabilidad en los elementos expuestos.

VULNERABILIDAD FÍSICA			
VARIABLE	Valor de Vulnerabilidad		
	BAJA	MEDIA	ALTA
	1	2	3
A - Antigüedad de la edificación.	Menos de 5 años	Entre 6 y 20 años	Mayor de 20 años
B - Materiales de Construcción y estado de conservación.	Estructura con materiales de muy buena calidad, adecuada técnica constructiva y buen estado de conservación	Estructura de madera, concreto, adobe, bloque o acero, sin adecuada técnica constructiva y con un estado de deterioro moderado	Estructura de adobe, madera u otros materiales, en estado precario de conservación
C - Cumplimiento de la normatividad vigente.	Se cumple de forma estricta con las leyes	Se cumple medianamente con las leyes	No se cumple con las leyes
D - Características geológicas y tipo de suelo.	Zonas que no presentan problemas de estabilidad, con buena cobertura vegetal	Zonas con indicios de inestabilidad y con poca cobertura vegetal	Zonas con problemas de estabilidad evidentes, llenos antrópicos y sin cobertura vegetal
E - Localización de las edificaciones con respecto a zonas de retiro a fuentes de agua y zonas de riesgo identificadas.	Muy alejada	Medianamente cerca	Muy cercana
F – Población.	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muerte	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias

Fuente: Ajustado de Metodología para evaluar riesgos, Incorporando la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en proyectos de inversión pública.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.2.3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Los análisis de vulnerabilidad para el proyecto de reducción y mitigación del riesgo el cual aquí se describe es aplicable fundamentalmente en las zonas ocupadas por edificaciones, de acuerdo con el Decreto 1807 de 2014, las etapas generales para la evaluación de la vulnerabilidad son:

- Identificación y localización de los elementos expuestos.
- Caracterización de los elementos expuestos: tipología, exposición y resistencia.
- Tipos de daño o efectos esperados como resultado de los escenarios de vulnerabilidad.

Tabla 3-79 Intervalos de vulnerabilidad en los elementos expuestos.

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN/CARACTERÍSTICAS	INTERVALO
VB (Vulnerabilidad Baja)	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con materiales sismorresistentes, en buen estado de conservación, población con probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de servicios públicos básicos, con un buen nivel de organización, participación y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes.	6 a 8
VM (Vulnerabilidad Media)	Sectores que presentan inundaciones o movimientos en masa muy esporádicas, construcciones con materiales de buena calidad, en regular y buen estado de conservación, población de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes, cultura de prevención, con cobertura parcial de servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes.	9 a 12
VA (Vulnerabilidad Alta)	Edificaciones en materiales precarios, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y turgurización. Población de escasos recursos económicos, Probabilidad de muerte casi nula y lesiones mi leves o inexistentes cobertura parcial a inexistente de servicios públicos básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencias; así como escasa a nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes.	13 a 18

Fuente: Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por M.M.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

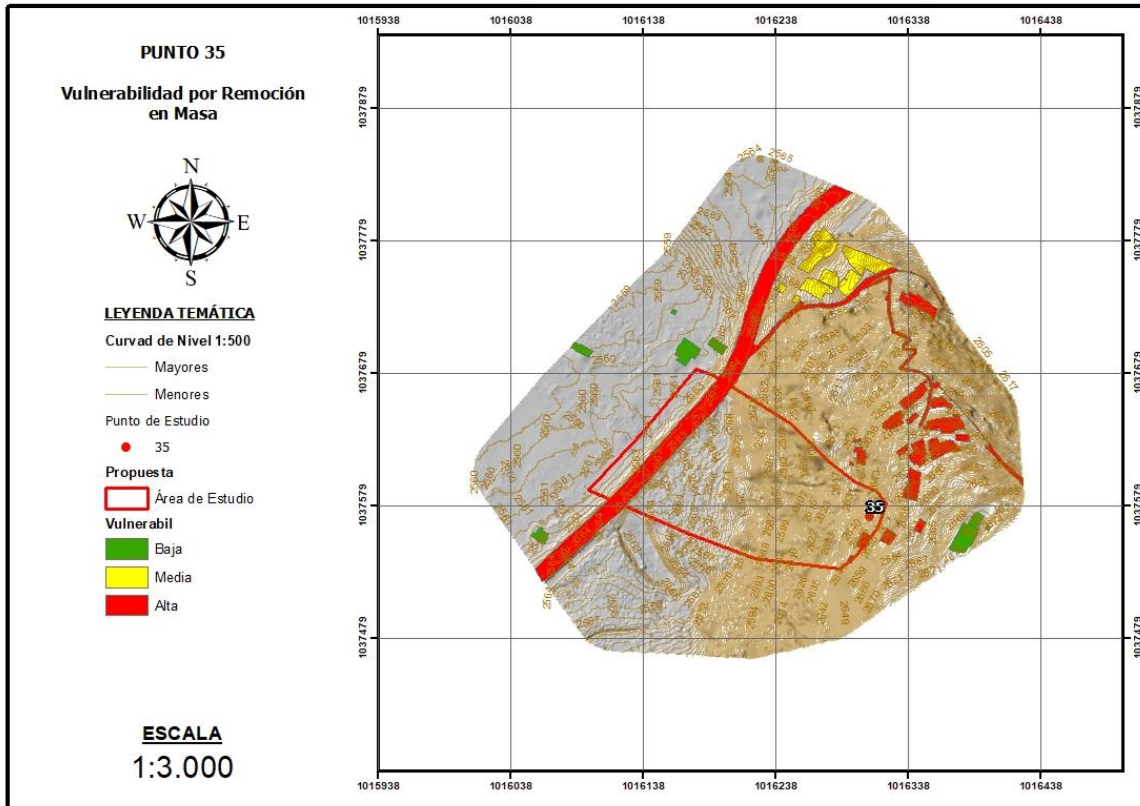


figura 3-63. Mapa de vulnerabilidad.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.2.4. ELEMENTOS EXPUESTOS

Para el punto Patiño con información obtenida en campo realiza la ubicación y cartografía de los elementos expuestos con la zonificación de amenaza por movimiento en masa a escala 1:2.000 en nivel de alta y media. La localización de los elementos expuestos:

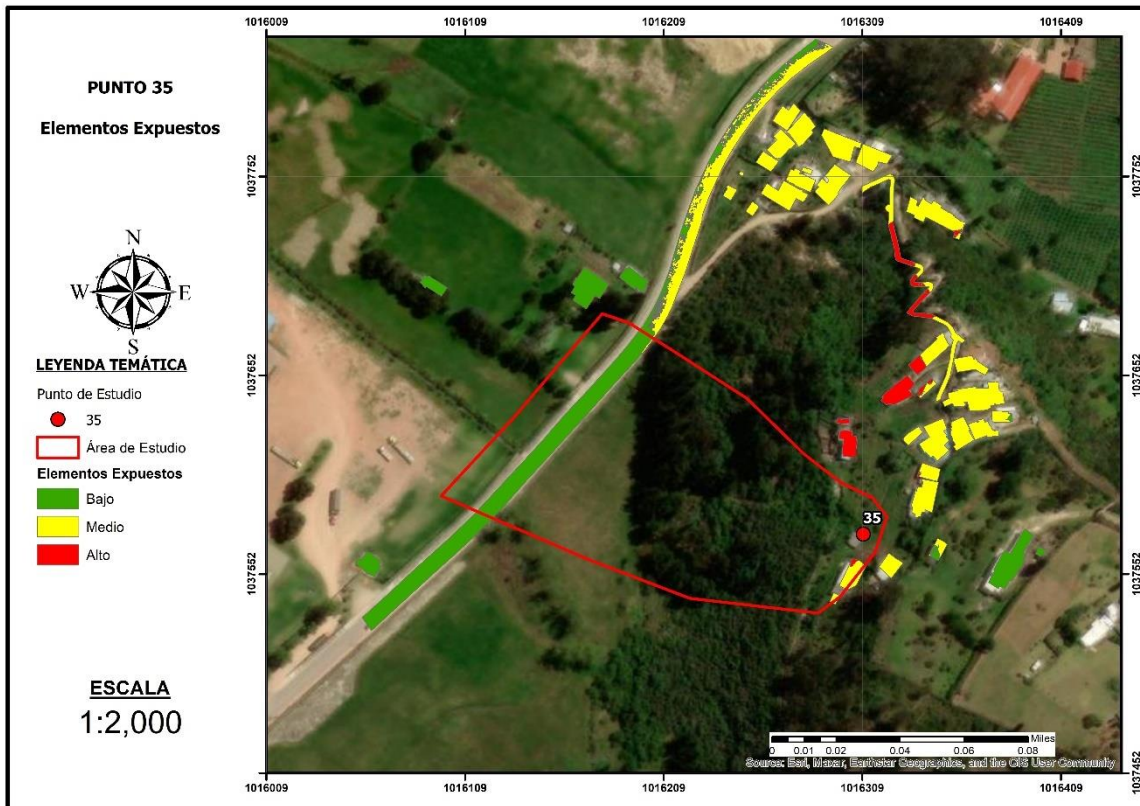


Figura 3-64. Elementos expuestos y zonificación de amenaza.
Fuente: Propia.

En la digitalización de los elementos expuestos, se encontraron las siguientes estructuras:

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Elementos_Expuestos							
OBJECTID	1 *	Shape *	Susceptibi	Amenaza	Layer	X	Y
4	Polygon	ZM	1	Alto	Edificación	1016301.901537	1037617.367871
5	Polygon	ZM	1	Alto	Edificación	1016299.385067	1037628.588026
6	Polygon	ZM	1	Alto	Edificación	1016341.331939	1037645.265535
7	Polygon	ZM	1	Alto	Edificación	1016326.991274	1037643.740866
8	Polygon	ZM	1	Alto	Edificación	1016342.630614	1037662.251438
10	Polygon	ZM	1	Alto	Calle	1016335.3624	1037697.909554
35	Polygon	ZM	3	Bajo	Edificación	1016060.5054	1037556.77212
36	Polygon	ZM	3	Bajo	Edificación	1016398.746423	1037563.004749
37	Polygon	ZM	3	Bajo	Edificación	1016383.667768	1037558.421004
38	Polygon	ZM	3	Bajo	Edificación	1016093.032207	1037696.877473
39	Polygon	ZM	3	Bajo	Edificación	1016171.368905	1037695.546722
40	Polygon	ZM	3	Bajo	Edificación	1016194.022688	1037699.891368
1	Polygon	ZM	1	Medio	Edificación	1016304.084715	1037551.627131
2	Polygon	ZM	1	Medio	Edificación	1016342.460566	1037602.918032
3	Polygon	ZM	1	Medio	Edificación	1016334.182605	1037621.224611
9	Polygon	ZM	1	Medio	Calle	1016178.236044	1037669.902431
11	Polygon	ZM	1	Medio	Edificación	1016345.894915	1037731.410602
12	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016294.961722	1037539.377286
13	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016347.07552	1037564.058285
14	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016323.319979	1037556.007268
15	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016340.330727	1037590.005955
16	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016369.675662	1037624.392218
17	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016345.46967	1037619.216562
18	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016358.860825	1037622.39865
19	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016379.251791	1037630.798021
20	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016365.750681	1037640.853565
21	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016363.3278	1037656.790676
22	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016253.590721	1037735.367071
23	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016242.311366	1037743.48804
24	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016269.750632	1037742.254404
25	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016248.140262	1037753.11968
26	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016277.905497	1037749.815981
27	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016281.140043	1037754.560895
28	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016293.950325	1037747.606648
29	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016261.021454	1037759.213688
30	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016314.264422	1037761.218488
31	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016268.004477	1037767.728101
32	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016298.051032	1037767.390621
33	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016278.317846	1037775.194024
34	Polygon	ZM	2	Medio	Edificación	1016270.823312	1037781.641419

Figura 3-65. Elementos expuestos (Tabla de atributos de ArcGIS)
Fuente: Propia.



figura 3-66. Viviendas en exposición.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Daños esperados en la zona: Daño de elementos, materiales consistentes de construcción, al estar en una vulnerabilidad alta pueden presentar colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y accesorios.



Figura 3-67. Vía en exposición.
Fuente: Propia.

Vía con vulnerabilidad alta: Esta vía al presentar sensibilidad media se esperan daños a la infraestructura generalizada y la interrupción del servicio, el cual, requiere reparaciones moderadas. Daños parciales en la infraestructura local.



figura 3-68. Viviendas en exposición.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Vivienda con vulnerabilidad media: Posible colapso de elementos consistentes de construcción. Daños en la superficie, daños en la mampostería. Esta construcción ligera podría presentar Deformaciones graves en la estructura por inclinaciones fuera de su plano vertical, por consiguiente, se proveen como daños como el colapso parcial o total de la estructura, rotura de muros, destrucción total de acabados y accesorios.

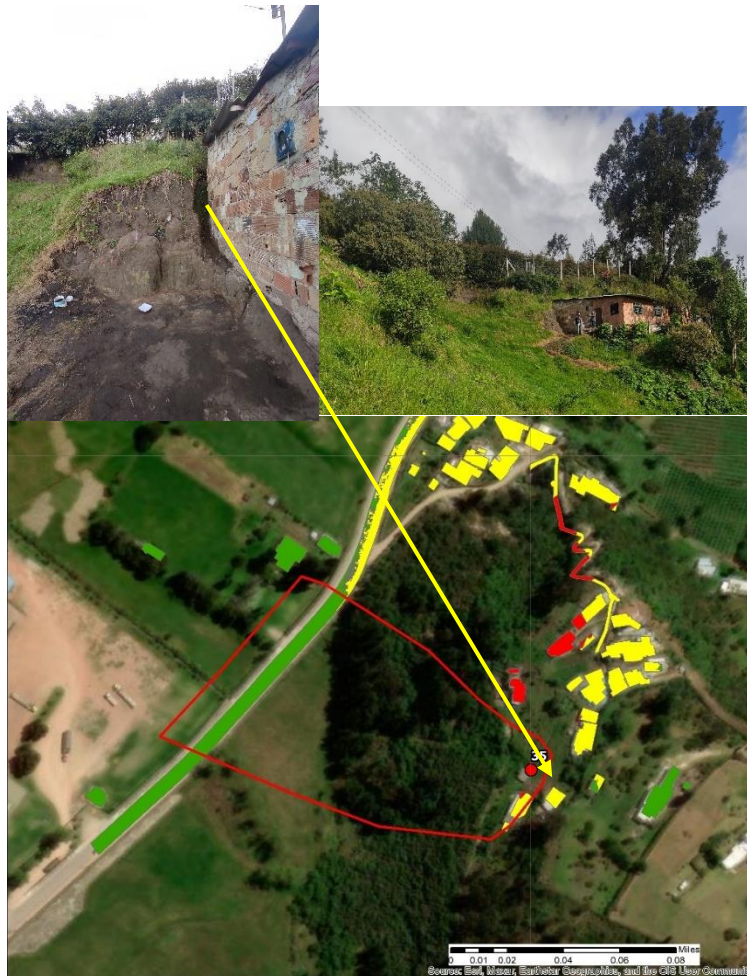


Figura 3-69. Vivienda en exposición
Fuente. Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.6.2.5. ANÁLISIS DE RIESGO

El riesgo de desastres corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

Ecuación 3-11. Riesgo
Riesgo= Amenaza*Vulnerabilidad

Como se ha expuesto en el presente documento el análisis de vulnerabilidad física de los elementos expuestos, viviendas, vías y equipamientos municipales.

El criterio descriptivo se basa en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Amenaza y Vulnerabilidad”. Para tal efecto, se utilizará la zonificación de amenaza por el fenómeno natural correspondiente y los análisis de vulnerabilidad, respectivamente. Con ambos resultados se interrelaciona, por un lado (vertical) el valor y nivel estimado de la amenaza; y por otro (horizontal), el nivel de vulnerabilidad promedio determinado en el respectivo Cuadro General en la intersección de ambos valores se podrá estimar el nivel de riesgo esperado. Si se determina una Amenaza Alta, con una Vulnerabilidad Alta, se observa que se cruzan en la zona de Riesgo Alto, este procedimiento se aplica de acuerdo a las características de la amenaza y la vulnerabilidad³.

Tabla 3-80 Intervalos de vulnerabilidad en los elementos expuestos.

VULNERABILIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
AMENAZA			
ALTA	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
MEDIA	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
BAJA	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio

Fuente: Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo.

³ Guía metodológica para la elaboración de Planes Departamentales para la Gestión del Riesgo

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

El riesgo sólo puede existir cuando hay interacción y relación entre factores de amenaza y vulnerabilidad, en espacios o territorios definidos y determinados. No puede existir una amenaza sin la existencia de un elemento vulnerable y viceversa.

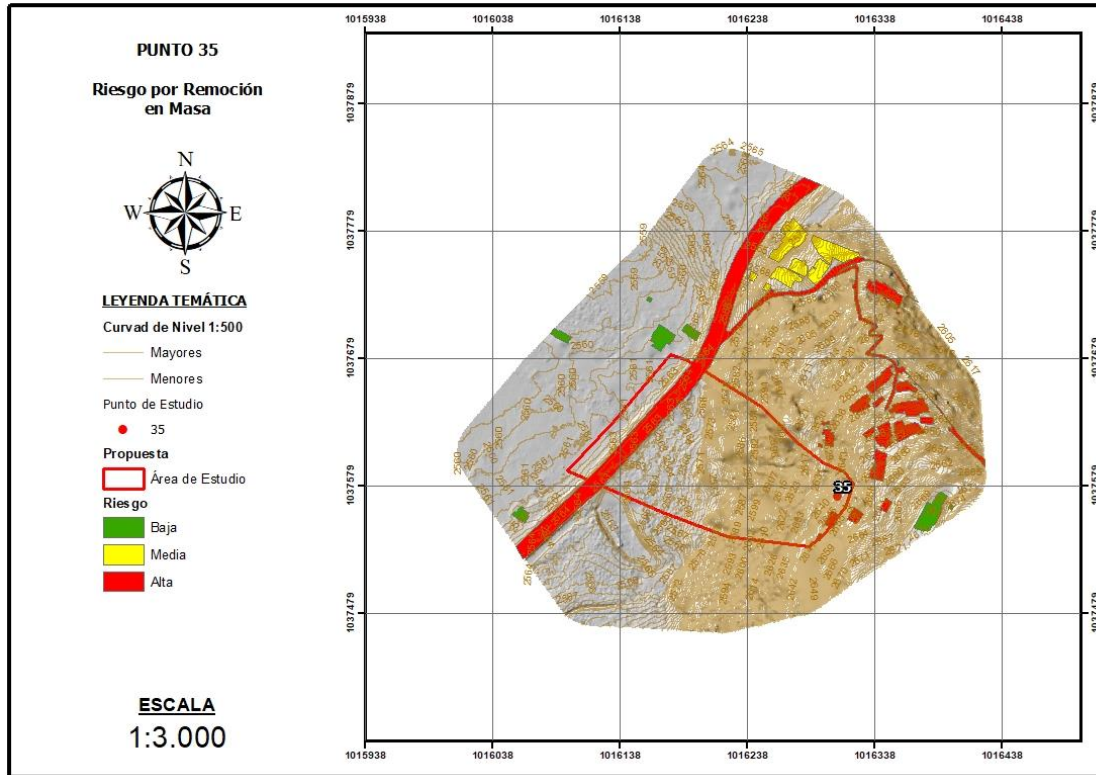


figura 3-70. Mapa de riesgo.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7. DEFINICIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN

Teniendo en cuenta los resultados de la evaluación de amenaza resulta necesario implementar obras de mitigación para garantizar la estabilidad local y mejorar la estabilidad general del área donde se ubica el proyecto, con el fin de obtener en el proyecto un nivel de riesgo bajo.

Se busca por tanto generar una reducción del nivel de amenaza por movimientos en masa, mediante intervenciones en el terreno tendientes a mejorar las condiciones de estabilidad, controlar las variaciones o incremento de humedad del terreno y reducir el efecto de los factores detonantes como el agua, sismo y sobrecargas que pueden actuar en las diferentes áreas del proyecto.

Con respecto a la reducción de la amenaza, las acciones a seguir están orientadas a mejorar las condiciones de estabilidad mediante el refuerzo del suelo con estructuras de contención, abatimiento de niveles piezométricos y bioingeniería. Adicionalmente, se requiere mitigar la acción de los factores detonantes, en este caso el agua mediante la implementación de obras de drenaje, con filtros, cunetas, disipadores entre otros.

Los factores de sismo y sobre cargas se considera en este caso que no son controlables dado que el primero es de origen natural con una acción constante y el segundo obedece a las cargas existentes de las viviendas construidas en el sector.

Con el fin de verificar los parámetros de resistencia del suelo al momento de la falla, se implementan tres modelos verificados mediante equilibrio límite a través de análisis con el software Slide, usando el método de Morgenstern & Price's variando los parámetros de resistencia en función de cada uno de los métodos optados para determinar la resistencia al corte del suelo.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO**3.7.1. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN****3.7.1.1. ALTERNATIVA N° 1**

La alternativa de mitigación N° 1, consiste en la implementación de medidas no estructurales sobre todo el área de trabajo, los cuales son:

- Protección de los taludes contra la erosión e infiltración por medio de filtros con trinchos de guaduas y cambio de vegetación, disipador en guadua y piedra pegada.

TRINCHOS DE GUADUA

Con el fin de generar la recuperación de la estabilidad local del área donde se presentaron los procesos morfodinámicos asociados a movimientos en masa puntuales de reconfiguración del talud con trinchos de guadua de 2.0 m de longitud total con espaciamiento transversal de 1.0 m. Los trinchos tienen una pendiente de 1.0 % a lo largo de todo el talud con el fin de recoger las aguas de lluvias y de escorrentía superficial y entregarlas a la zanja de coronación propuesta. Para hacer esta recolección, los trinchos presentan un contrapendiente de 1% con el fin de establecer como canal de agua, la parte interior del tablero. Adicionalmente, estos trinchos cuentan con una capa de material filtrante de 15 cm con el fin de controlar el flujo de agua por el sistema.



Figura 3-71. Ejemplo de implantación de obras de bioingeniería tipo estabilización viva con trinchos de guadua.

Fuente: <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/quadua/>

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Con el cambio de vegetación se crean trinchos vivos que contribuyen a la estabilidad local del movimiento en masa, trabajando en conjunto con un dissipador de energía vivo, es decir en guadua y piedra pegada a lo largo de la ladera.



Figura 3-72. Ejemplo de implantación de obras de bioingeniería tipo estabilización viva con trinchos de guadua.

Fuente: <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/gadua/>



Figura 3-73. Ejemplo de dissipador de energía en trinchos de guadua y piedra pegada.

Fuente: Manual de bioingeniería Universidad Católica Bogotá.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

PLAN DE REFORESTACIÓN

Debido al potencial de inestabilidad que presenta la masa del suelo, se considera el cambio del uso del suelo con la prohibición de todo tipo de actividad de construcción sobre la superficie del suelo para llevarlo de manera posterior a la implementación de un plan de reforestación que garantice la mitigación de la estabilidad del talud y prevenga problemas asociados a la erosividad del suelo.

De acuerdo con las condiciones encontradas en los taludes, con relación a la humedad, tipo de material y pendiente del talud y a la recomendación de realizar trinchos con guadua se propone la siembra de las siguientes especies, de arriba hacia abajo, para tener diferentes tipos de raíces, adecuadas para la retención de suelos y prevención de la erosión, con un mejor aspecto paisajístico. Por lo antes expuesto se propone la siembra alterna de plántula amargoso y uva camaronera con las siguientes características:

- ✓ Amargoso (Ageratina aristeii.)

Especie	Nombre común	Características	Especificaciones técnicas
<i>Ageratina aristeii</i>	Amargoso	Arbusto de 4 m de altura y 2 m de diámetro de copa. Especie pionera, propia de matorrales altoandinos, bordes de bosque y vegetación paramuna. Crece rápidamente en sitios húmedos y bien iluminados. Aguanta bien el encharcamiento. Semillas dispersadas por el viento. Una especie muy apropiada para plantar en proyectos de restauración ecológica en zonas de páramo y en humedales de clima frío. Fauna asociada: Ramas consumidas por el venado de cola blanca (<i>Odocoileus virginianus</i>). Flores asiduamente visitadas por insectos, por ejemplo, moscas y mariposas (p. ej. <i>Altinote trinacria</i>).	 <p>Se puede sembrar a 1 o 2 m de distancia, como una especie de sotobosque</p>

Figura 3-74. Amargoso (*Ageratina aristeii*).
Fuente: Tropicos.org, Missouri Botanical Garden.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

✓ Uva camaronera, uva de monte (Mocleania rupestris)

<p><i>Mocleania rupestris</i></p>	<p>Uva camaronera, uva de monte</p>	<p>Arbusto de 3 m de altura y hasta 5 m de copa. Pionera; inductor pre-climático importante para repoblar parches, ya que, además, sus frutos hacen parte de la dieta de varias especies de aves andinas, especialmente de la torcaza collareja. Restauración de focos de erosión severa en sustratos pesados y puntos húmedos. La cera que recubre los frutos se usa industrialmente para fabricar barnices y betunes y tradicionalmente para fabricar velas. Las hojas se usan para condimentar carnes</p>	
-----------------------------------	-------------------------------------	--	---

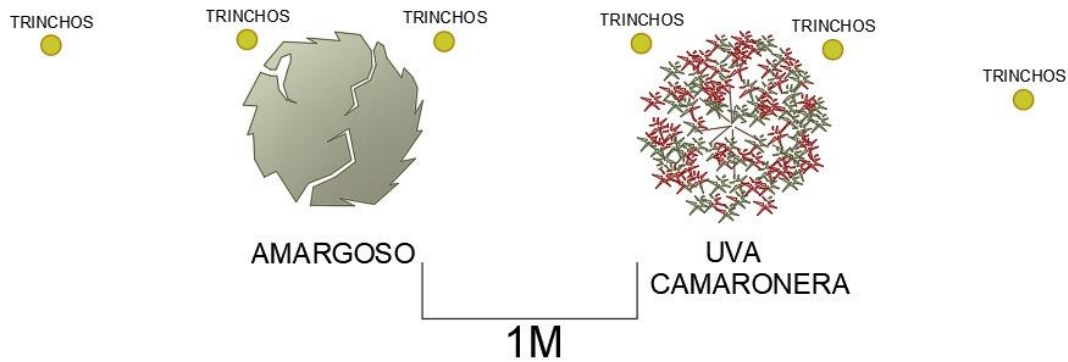


Figura 3-75. Maní forrajero (*Arachis pintoi*).

Fuente: Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. Consultado el 27 de octubre de 2022.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.1.1.1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se presenta a continuación los análisis de estabilidad en condición estática y pseudo estática para la implantación de las medidas de mitigación de la Alternativa N° 1. En el caso del perfil 1, cabe resaltar que el menor factor de seguridad se presenta justo en la localización de la casa.

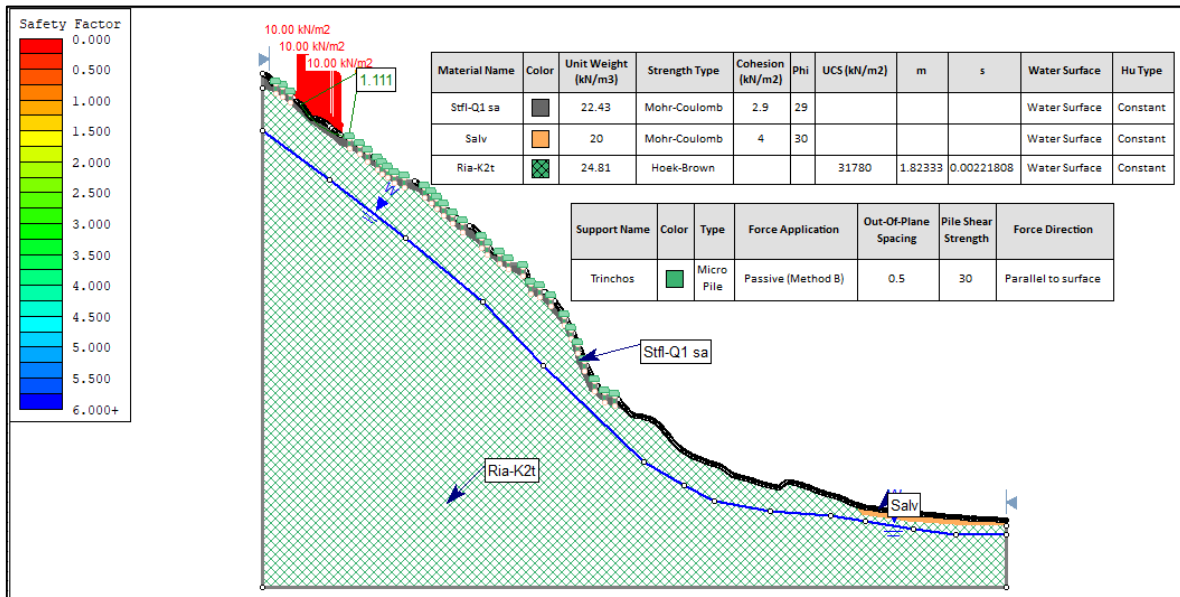


Figura 3-76. Condición Estática Alternativa No. 1 – Perfil 1.
Fuente: Propia.

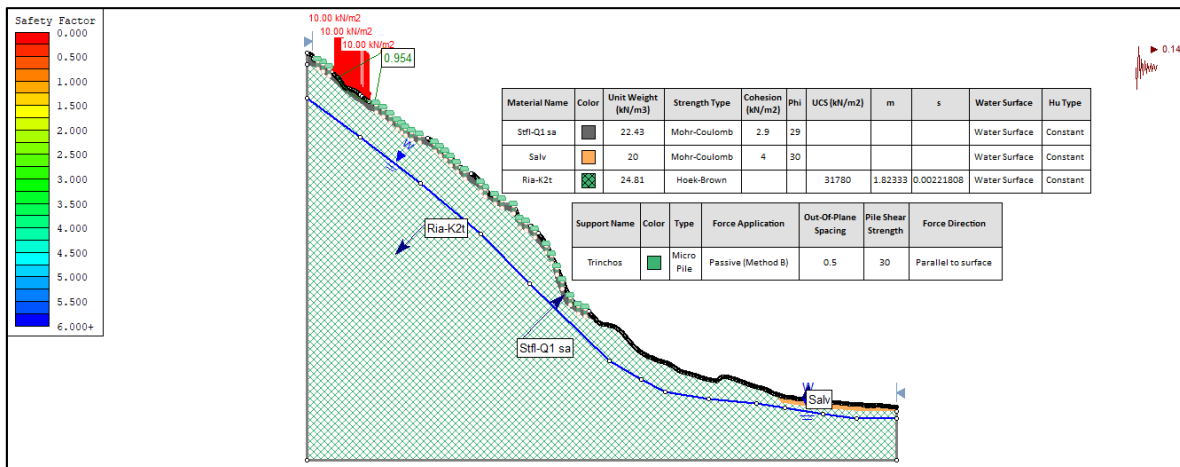


Figura 3-77. Condición Pseudo-Estáticos Alternativa No.1 – Perfil 1.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

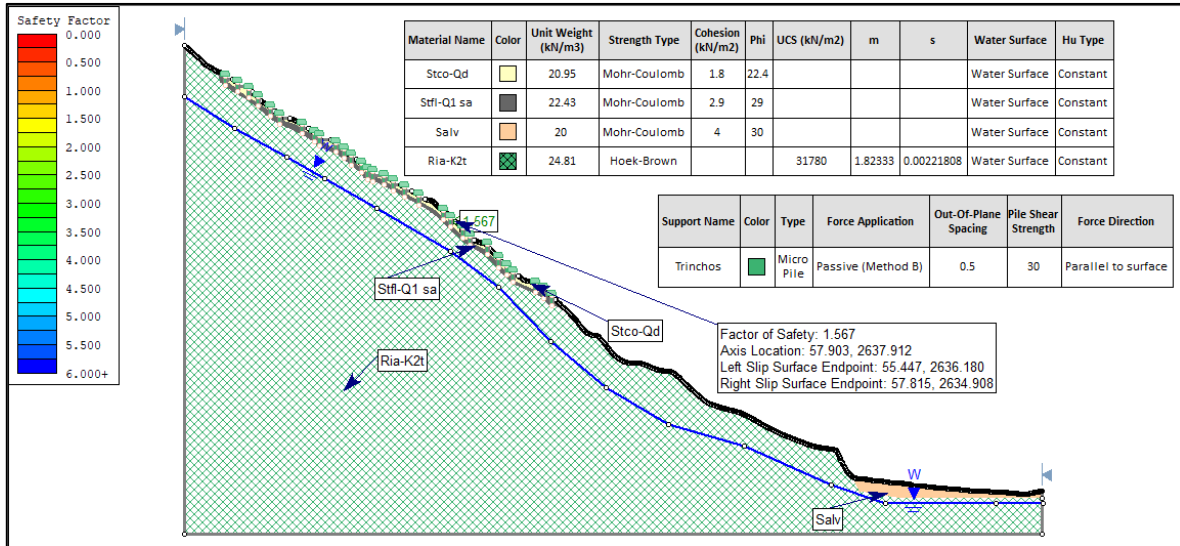


Figura 3-78. Condición Estática Alternativa No. 1 – Perfil 2.
Fuente: Propia.

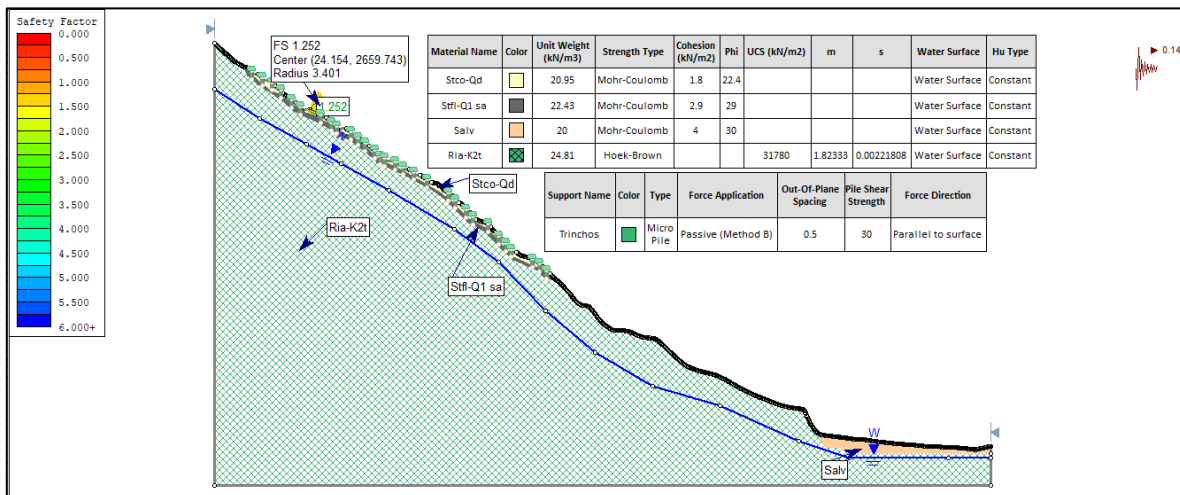


Figura 3-79. Condición Pseudoestática Alternativa No. 1 – Perfil 2.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

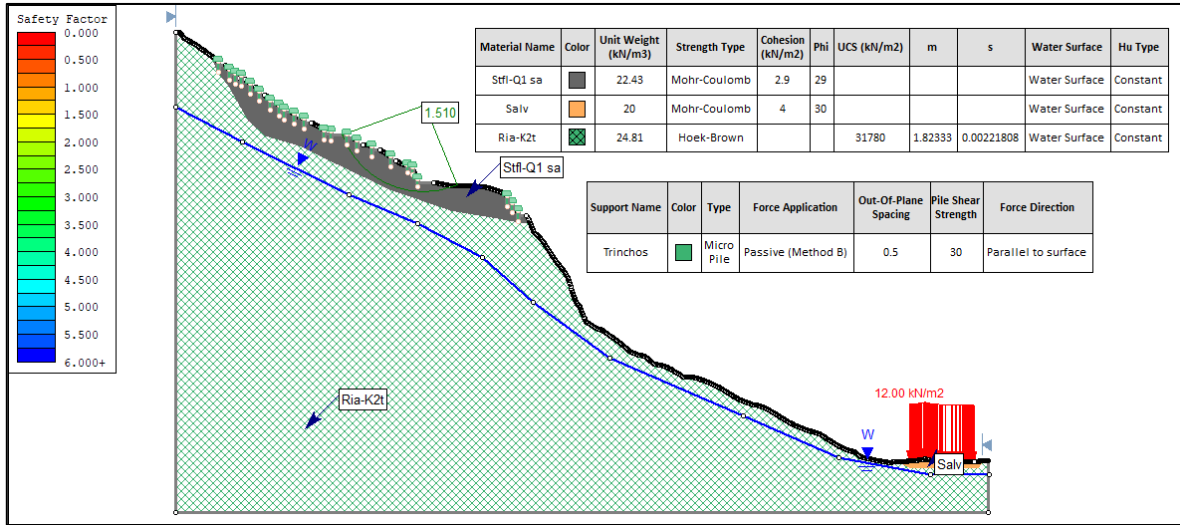


Figura 3-80. Condición Estática Alternativa No. 1 – Perfil 3.
Fuente: Propia.

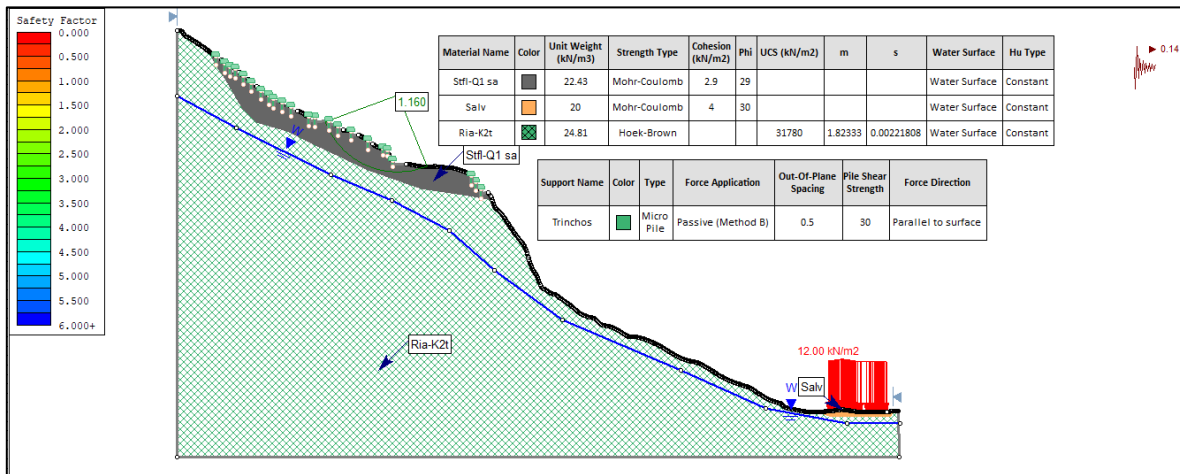


Figura 3-81. Condición Pseudoestática Alternativa No. 1 – Perfil 3.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.1.2. ALTERNATIVA N° 2

Otra manera para mitigar la inestabilidad de las áreas en las cuales se presentaron procesos morfodinámicos locales y se evidencia la presencia de materiales transportados (Stco-Qd), es a partir de medidas estructurales con elementos de anclaje, como son las mallas flexibles de protección contra deslizamientos superficiales, con el fin de reducir los riesgos asociados a la remoción en laderas inestables. Los bajos niveles de deflexión del sistema hacen posible instalar barreras muy cerca de cualquier tipo de infraestructura como objeto de protección, lo cual permite ahorrar cualquier construcción adicional. Estos elementos funcionarían de manera adicional como un mejoramiento al sistema de drenaje de manera superficial del talud.

La resistencia, longitud y espaciamiento de los elementos de estabilización tipo pernos se presenta a continuación, y las indicaciones para determinar la resistencia a la tensión son propuesta por la FHWA (2015) cumpliendo los factores de seguridad para elemento verticales. De esta forma:

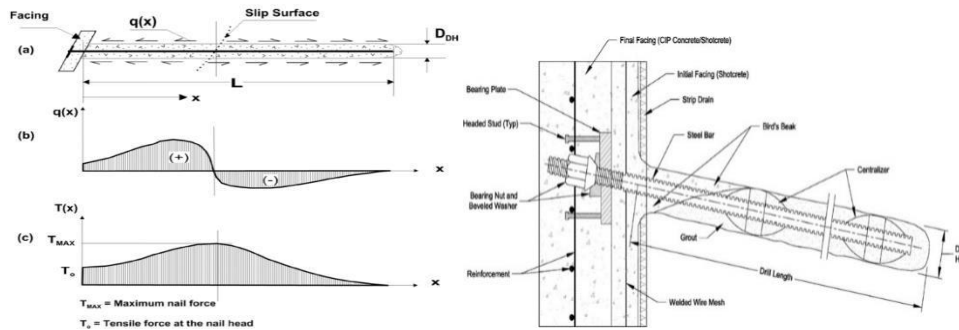


Figura 3-13.Componentes de los pernos y mecanismos de transferencia de esfuerzo.
Fuente: Propia.

Tabla 3-81 Factores de seguridad para elementos permanentes

ESTÁTICO		
Condición	FSP	FST
Temporal	2	1,8
Permanente	2	1,8

Fuente: FHWA, 2015

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-82 Condiciones iniciales para los elementos permanentes tipo pernos

Consideraciones Iniciales		
Sobrecarga qs	5	kPa
Espaciamiento vertical	2	m
Espaciamiento horizontal	1	m
Inclinación	0	°
Longitud total	6	m
Acero barra	420	Mpa
Barra	CA 50	

Fuente: Propia.

El pre-dimensionamiento de la estructura cumple con los Factores de Seguridad de acuerdo con el FHWA para pernos permanentes. Se debe resaltar, que el cálculo de diseño de estos pernos se basó en la estática básica. A continuación, se presenta la implantación de la estructura en el punto de análisis con el fin de comprobar la estabilidad global. En el anexo se encuentra la memoria de cálculo.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

PLANILLA DE CÁLCULO - PERNOS (MÉTODO DR. ALDO)					
$i =$	30	Espac. Vertical Superior $S_s =$	2,50 m	$\theta_{cr} =$	57,30
$\phi =$	29	Espac. Vertical Típico $S_v =$	1,00 m	L =	109,95
c = (kPa)	1,8	Espac. Vertical Inferior $S_i =$	1,00 m	$\Psi =$	1,92
H = (m)	54,144	Espac. Horizontal Típico $S_h =$	2,00 m	S =	51,95
$\alpha = (^\circ)$	0	Nº de Grampos	N = 20 un.	P =	1097,99
$\delta = (^\circ)$	0	Verif. Distribución pernos →	ERRADO		0,04
$\gamma = (\text{kN/m}^3)$	20,95				
q = (kPa)	5				
Lg _i (m)	H _i (m)		Fmax / F.S.	10,4720	CARGA BARRA (kN)
Lg1 = 6	H1 = 51,644	Lu1	4,1696 T1	43,6636	43,66
Lg2 = 6	H2 = 49,144	Lu2	4,2582 T2	44,5915	44,59
Lg3 = 6	H3 = 46,644	Lu3	4,3468 T3	45,5194	45,52
Lg4 = 6	H4 = 44,144	Lu4	4,4354 T4	46,4473	46,45
Lg5 = 6	H5 = 41,644	Lu5	4,5240 T5	47,3752	47,38
Lg6 = 6	H6 = 39,144	Lu6	4,6126 T6	48,3031	48,30
Lg7 = 6	H7 = 36,644	Lu7	4,7012 T7	49,2311	49,23
Lg8 = 5	H8 = 34,144	Lu8	3,7898 T8	39,6870	39,69
Lg9 = 5	H9 = 31,644	Lu9	3,8784 T9	40,6149	40,61
Lg10 = 5	H1 = 29,144	Lu1	3,9670 T1	41,5428	41,54
Lg11 = 5	H2 = 26,644	Lu2	4,0557 T2	42,4707	42,47
Lg12 = 5	H3 = 24,144	Lu3	4,1443 T3	43,3986	43,40
Lg13 = 5	H4 = 21,644	Lu4	4,2329 T4	44,3265	44,33
Lg14 = 4	H5 = 19,144	Lu5	3,3215 T5	34,7824	34,78
Lg15 = 4	H6 = 16,644	Lu6	3,4101 T6	35,7103	35,71
Lg16 = 4	H7 = 14,144	Lu7	3,4987 T7	36,6382	36,64
Lg17 = 4	H8 = 11,644	Lu8	3,5873 T8	37,5661	37,57
Lg18 = 4	H9 = 9,144	Lu9	3,6759 T9	38,4940	38,49
Lg19 = 4	H9 = 6,644	Lu9	3,7645 T9	39,4219	39,42
Lg20 = 4	H10 = 4,144	Lu10	3,8531 T10	40,3498	40,35
$\emptyset_{\text{FURO}} = (\text{mm})$	100			$\Sigma T_i =$	840,13
Q _s = (kPa)	50			$\Sigma T_i / S_h =$	420,07
F.S. =	1,5			FS =	2,234
Fmax = (KN/m)	15,7				
Diam. Barra =(mm)	25				
f _{yk} = (MPa)	500				
Flim. = (KN)	220,8932				

Figura 3-82. Dimensionamiento de los pernos.
Fuente: Propia.

Este sistema de pernos ancla una malla de tipo TECCO G45/2 la cual está fabricada con acero de alta resistencia. Este sistema se utiliza para estabilizar cualquier tipo de talud, ya sea roca o en suelos. Dado que se utiliza esta tecnología, su sistema intrínseco se encuentra acoplado con el SPIDER, el cual asegura los desprendimientos superficiales que

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

se puedan presentar. A continuación, se presenta un esquema sintetizado del sistema malla-pernos.

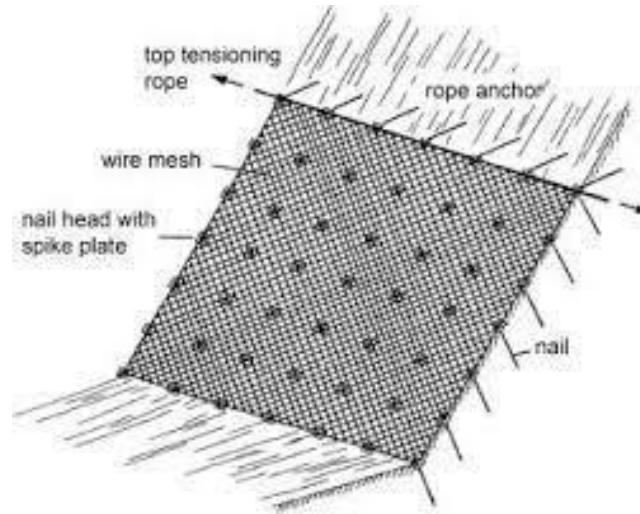


Figura 3-83. Sistema malla-pernos
Fuente: Propia

De igual forma, se presentan las características de la malla tipo TECCO G45/2:

Tipo de malla utilizada	TECCO G45/2
Tipo de placa Spike utilizada	Placa Spike del sistema P25
Resistencia de la malla a los esfuerzos paralelos al talud	Z_R [kN] = 10
Resistencia de la malla a la presión en la dirección del anclaje	D_R [kN] = 80
Resistencia de la malla a cortante en la dirección del anclaje	P_R [kN] = 40
Elongación longitudinal en ensayo a tracción directa	δ [%] < 6

Figura 3-84. Características de la malla TECCO 645/2
Fuente: Propia

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

PLAN DE REFORESTACIÓN

Debido al potencial de inestabilidad que presenta la masa del suelo, se considera el cambio del uso del suelo con la prohibición de todo tipo de actividad de construcción sobre la superficie del suelo para llevarlo de manera posterior a la implementación de un plan de reforestación que garantice la mitigación de la estabilidad del talud y prevenga problemas asociados a la erosividad del suelo.

De acuerdo con las condiciones encontradas en los taludes, con relación a la humedad, tipo de material y pendiente del talud y a la recomendación de realizar trinchos con guadua se propone la siembra de las siguientes especies, de arriba hacia abajo, para tener diferentes tipos de raíces, adecuadas para la retención de suelos y prevención de la erosión, con un mejor aspecto paisajístico. Por lo antes expuesto se propone la siembra alterna de plántula de Amargoso y Uva de monte con las siguientes características:

- ✓ Amargoso (Ageratina aristeii)

Especie	Nombre común	Características	Especificaciones técnicas
<i>Ageratina aristeii</i>	Amargoso	<p>Arbusto de 4 m de altura y 2 m de diámetro de copa.</p> <p>Especie pionera, propia de matorrales altoandinos, bordes de bosque y vegetación paramuna. Crece rápidamente en sitios húmedos y bien iluminados. Aguanta bien el encharcamiento. Semillas dispersadas por el viento. Una especie muy apropiada para plantar en proyectos de restauración ecológica en zonas de páramo y en humedales de clima frío.</p> <p>Fauna asociada: Ramas consumidas por el venado de cola blanca (<i>Odocoileus virginianus</i>). Flores asiduamente visitadas por insectos, por ejemplo, moscas y mariposas (p. ej. <i>Altinote trinacria</i>).</p>	 <p>Se puede sembrar a 1 o 2 m de distancia, como una especie de sotobosque</p>

Figura 3-85. Amargoso (*Ageratina aristeii*).
Fuente: Tropicos.org, Missouri Botanical Garden.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

✓ Uva camaronera, uva de monte (Macleania rupestris)

<p><i>Macleania rupestris</i></p>	<p>Uva camaronera, uva de monte</p>	<p>Arbusto de 3 m de altura y hasta 5 m de copa. Pionera; inductor pre-climático importante para repoblar parches, ya que, además, sus frutos hacen parte de la dieta de varias especies de aves andinas, especialmente de la torcaza collareja. Restauración de focos de erosión severa en sustratos pesados y puntos húmedos. La cera que recubre los frutos se usa industrialmente para fabricar barnices y betunes y tradicionalmente para fabricar velas. Las hojas se usan para condimentar carnes</p>	
-----------------------------------	-------------------------------------	--	---

Figura 3-86. Uva camaronera, uva de monte (Macleania rupestris).
Fuente: Tropicos.org, Missouri Botanical Garden.

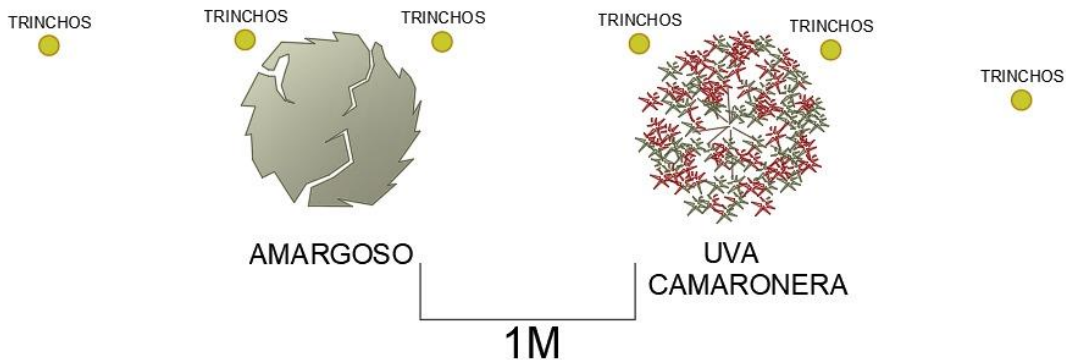


Figura 3-87. Revegetalización propuesta
Fuente: Manual de Bioingeniería, 2013.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.1.2.1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se presenta a continuación los análisis de estabilidad en condición estática y pseudo estática para la implantación de las medidas de mitigación de la Alternativa No. 2. (Para mayor detalle Anexo Fase III - Definición de Obras de Mitigación - 01)

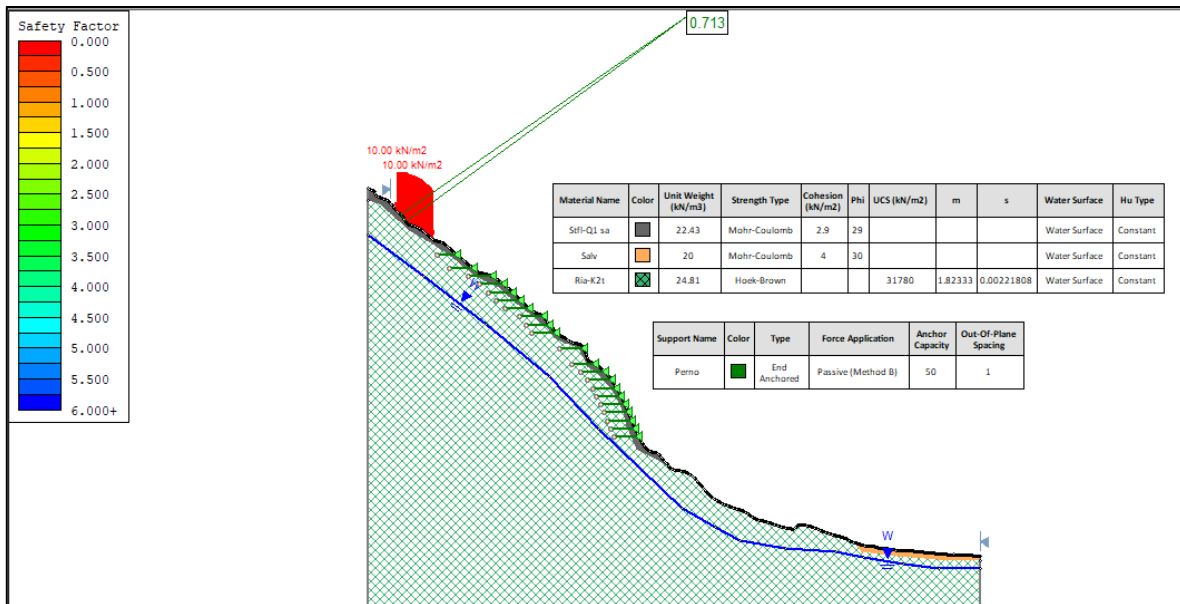


Figura 3-88. Condición Estática Alternativa No. 2 – Perfil 1.
Fuente: Propia.

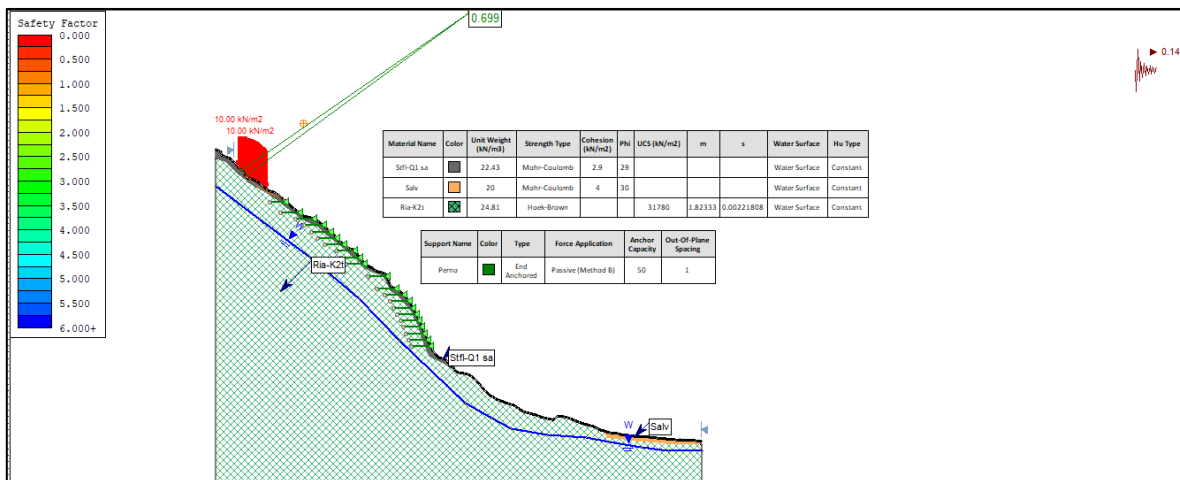


Figura 3-89. Condición Pseudo-Estáticos Alternativa No.2 – Perfil 1.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

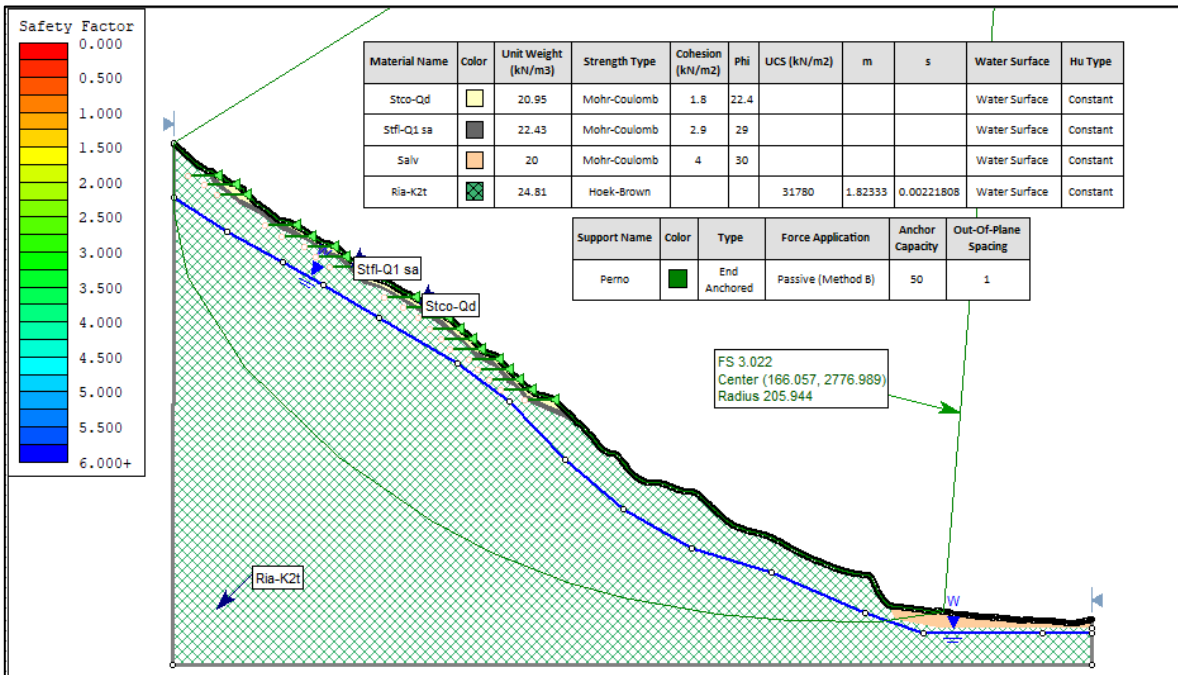


Figura 3-90. Condición Estática Alternativa No. 2 – Perfil 2.
Fuente: Propia.

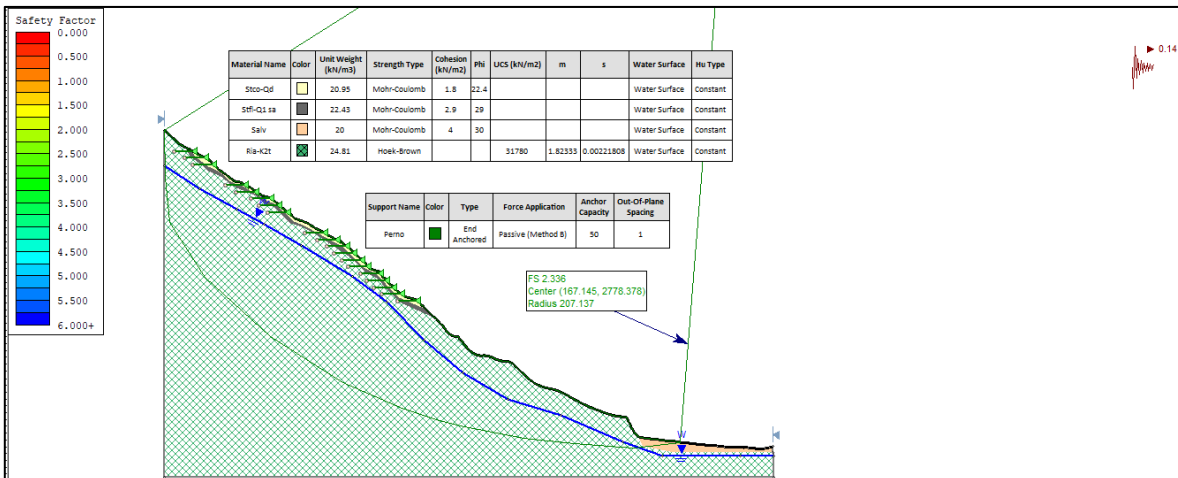


Figura 3-91. Condición Pseudoestática Alternativa No. 2 – Perfil 2.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

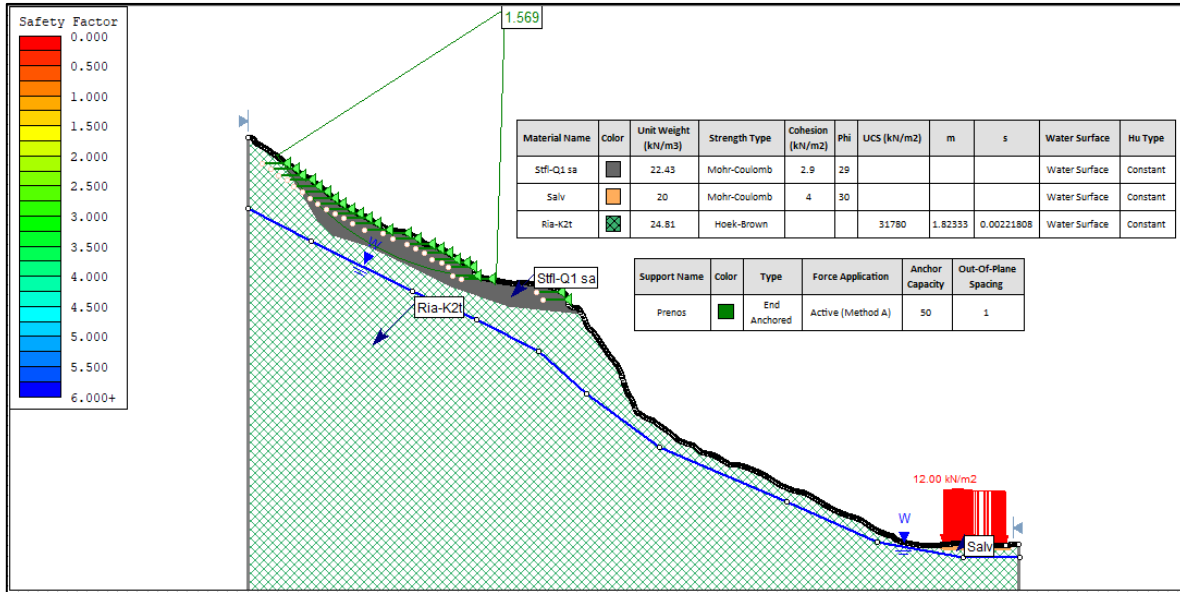


Figura 3-92. Condición Estática Alternativa No. 2 – Perfil 3.
Fuente: Propia.

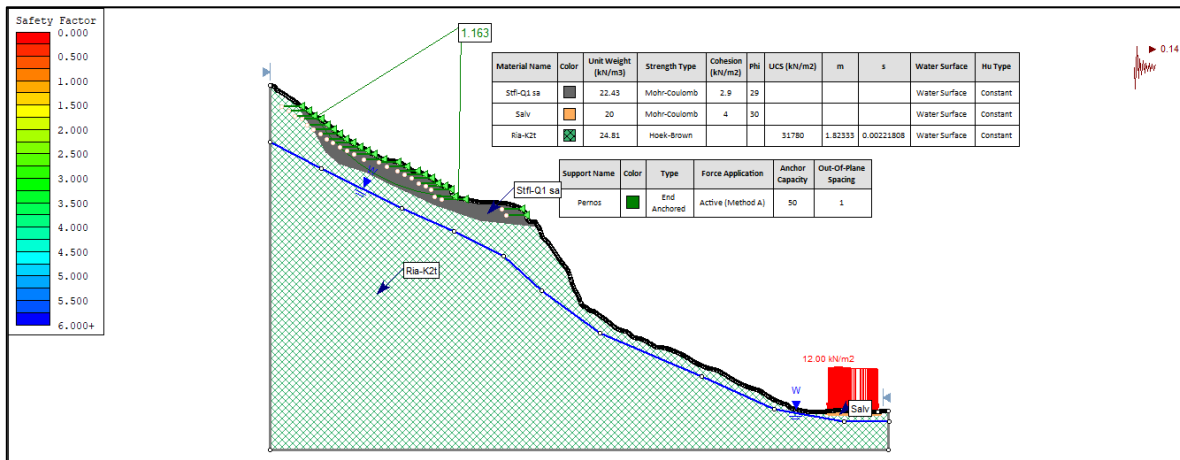


Figura 3-93. Condición Pseudoestática Alternativa No. 2 – Perfil 3.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.2. EVALUACIÓN MULTICRITERIOS

A partir del método de estimación por el Análisis de Procesos Jerárquicos (AHP) que consiste en utilizar el juicio de expertos para ayudar en la toma de decisiones debido a que se basa en múltiples criterios de decisión; este método fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty y el propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un Modelo Jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas.

El fundamento del proceso descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por diferentes especialistas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Estos pesos ponderados logran medir la contribución de cada elemento en la obtención de la calificación de un objetivo y meta. A continuación, se presenta la descripción de los procesos AHP.

3.7.2.1. COMPONENTES A CONSIDERAR

Teniendo en cuenta los componentes del proyecto se definen para los mismos unos criterios con base a los cuales se desarrollará el análisis de las alternativas. Como se aprecia en la tabla siguiente, para cada componente se definieron unos principios que rigen el análisis por componente.

Para definir los criterios de análisis por componentes, se partió del diagnóstico de sitios inestables realizado por los profesionales en las zonas de estudio, el cual se incluye además en el informe Geotécnico de la etapa de Factibilidad del proyecto.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Tabla 3-83. Análisis de criterios.

COMPONENTES PARA CONSIDERAR	N°	CRITERIOS PARA ANALIZAR
Estructuras	1	Relación costo beneficio de la estructura
	2	Desempeño de la estructura ante cargas cíclicas
	3	Mantenimiento de la estructura
Predial	1	N° de predios y áreas requeridas
	2	N° de unidades sociales
	3	Impactos socioeconómicos
Social	1	Percepción ciudadana sobre el proyecto
	2	Fortalecimiento de la participación ciudadana
	3	Percepción ciudadana de las alternativas
	4	Mejoramiento de las condiciones de seguridad vial
	5	Conservación de las condiciones ambientales
Ambiental	1	Afectación de la flora
	2	Afectación de la Fauna
	3	Afectación del componente agua
	4	Afectación del componente suelo
	5	Alteración del componente aire
Redes Húmedas	1	Evaluación de Cunetas existentes en las áreas de estudio
	2	Desempeño de las Estructuras Hidráulicas existentes
	3	Mantenimiento de las estructuras hidráulicas
Geotecnia	1	Material a movilizar
	2	Riesgos en la implementación de la construcción
	3	Aprovechamiento de estructuras existentes

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.2.1.1. ESTRUCTURAS

- Relación costo beneficio de la estructura

Este indicador mide los beneficios con su respectivo costo en la construcción del proyecto objeto, su objetivo es evaluar los beneficios que pueden tener las variables de la obra.

El análisis de costo-beneficio es el proceso de analizar las decisiones de la obra a construir. Cuando una decisión está bajo consideración, el costo de una opción es restado del beneficio de este.

- Desempeño de la estructura ante cargas cíclicas

Este indicador mide el desempeño de la estructura del proyecto objeto a largo plazo durante su vida útil en función de una serie de factores, los cuales inciden en su resistencia, factores como calidad del material lo que afecta la resistencia a la fluencia y la compresión de los materiales, la capacidad portante del suelo, tipo de falla de los pilotes, cargas cíclicas de diseño y actuantes.

- Mantenimiento de la estructura

Este indicador mide el conjunto de actividades necesarias para garantizar que la obra realizada mantenga el nivel de prestaciones para el que ha sido proyectada, con arreglo a los criterios de la presente Instrucción.

El objetivo es garantizar que las condiciones de servicio no disminuyan durante la vida útil del proyecto por debajo de un cierto umbral, vinculado a las características de resistencia mecánica, durabilidad, funcionalidad y, en su caso, estéticas.

3.7.2.1.2. PREDIAL

- N° de predios y áreas requeridas

Este indicador mide la cantidad de predios que se requieran para cada alternativa.

- N° de unidades sociales

Este indicador mide la cantidad de predios en los que se presenta servicios sociales. Son predios de gestión especial por los impactos en los grupos sociales que puede presentar la afectación.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

➤ Impactos socioeconómicos

Este indicador mide el impacto respecto a los beneficios que el proyecto objeto generará a la comunidad.

3.7.2.1.3. SOCIAL

➤ Percepción ciudadana sobre el proyecto

Este indicador mide las apreciaciones o sugerencias de las comunidades, a través de la percepción a nivel de seguridad, ambiental y de movilidad, estableciendo el porcentaje de aceptabilidad o rechazo del proyecto por medio de una encuesta.

➤ Fortalecimiento de la participación ciudadana

Este indicador mide la participación ciudadana mediante encuestas del proyector para la participación de los proyectos a implementar.

➤ Percepción ciudadana de las alternativas

Este indicador mide las apreciaciones o sugerencias de las comunidades, a través de la percepción a nivel de las alternativas a implementar en el lugar de estudio, estableciendo el porcentaje de aceptabilidad o rechazo del proyecto por medio de una encuesta.

➤ Mejoramiento de las condiciones de seguridad vial

Este indicador mide las apreciaciones o sugerencias de las comunidades, a través de la percepción a nivel de seguridad vial, como los afecta o como los beneficia la ejecución del proyecto objeto.

➤ Conservación de las condiciones ambientales

Este indicador mide las apreciaciones de la comunidad de las condiciones ambientales que el proyecto objeto les generará.

3.7.2.1.4. AMBIENTAL

➤ Afectación de la flora

Este indicador mide las posibles consecuencias que se encuentren en el proyector que afecte los árboles en el área de influencia directa del proyecto, se tiene en cuenta la

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

vegetación, laterales, espacio público, controles ambientales, zonas verdes de los barrios aledaños a la avenida y algunas zonas de borde permeables paralelos al sistema vial de la ciudad, que de acuerdo a la característica de las obras van a ser afectados por el desarrollo lineal del proyecto de manera significativa, por lo cual indicador se estructura realizando el análisis del número de árboles afectados.

➤ Afectación de la fauna

Este indicador mide las posibles consecuencias que se encuentren en el proyectador que afecte la fauna en el área de influencia directa del proyecto, se tiene en cuenta la vegetación, controles ambientales, zonas verdes de los barrios aledaños a la avenida para no tener afectación de la fauna.

➤ Afectación del componente agua

Este indicador mide los cuerpos de agua existentes en el proyecto objeto, lo cual es necesario tener en cuenta al momento realizar la estructura, las intervenciones deberán garantizar la mitigación de las amenazas y de los riesgos por la autoridad competente y/u originador del proyecto, y aplicar las disposiciones de orden ambiental y las normas de compensación que estime la Secretaría Distrital de Ambiente.

➤ Afectación del componente suelo

Este indicador mide la afectación del componente del suelo donde la **contaminación del suelo** supone la alteración de la superficie terrestre con sustancias químicas que resultan perjudiciales para la vida en distinta medida, poniendo en peligro los ecosistemas y también salud de la población.

➤ Alteración del componente aire

Este indicador mide la afectación del componente del aire; donde la contaminación del aire supone la alteración de la superficie, que resultan perjudiciales para la vida en distinta medida, poniendo en peligro los ecosistemas y también salud de la población.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.2.1.5. REDES HÚMEDAS

- Evaluación de Cunetas existentes en las áreas de estudio.

Este indicador mide la evaluación de estructuras hidráulicas existentes para así desarrollar el proyecto objeto con mayor precaución.

- Desempeño de las Estructuras Hidráulicas existentes

Este indicador analiza el desempeño que han tenido las estructuras hidráulicas durante el tiempo de ejecución del proyecto estudio.

- Mantenimiento de las estructuras hidráulicas

Este indicador mide el conjunto de actividades que se han realizado en las estructuras hidráulicas para que el nivel de prestaciones para el que ha sido proyectada, con arreglo a los criterios de la presente.

3.7.2.1.6. GEOTECNIA

- Material para movilizar

Este indicador relaciona el costo beneficio de las alternativas dispuestas para el proyecto objeto, evaluando cantidades de retiro y disposición final.

- Riesgos en la implementación de la construcción

Este indicador mide los posibles riesgos a futuro de la implementación de proyecto objeto, donde evaluara todas estructuras existentes y relacionadas en el área.

- Aprovechamiento de estructuras existentes

Este indicador mide el potencial de reutilizar o manejar recursos existentes aledaños al proyecto que puedan generar un mejor costo beneficio como el tiempo de ejecución.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.2.2. PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS (PESO RELATIVO)

3.7.2.2.1. COMPONENTES

Tabla 3-84. Ponderación de componentes

COMPONENTES	% CRITERIO
Estructuras	10%
Predial	15%
Ambiental	25%
Redes Húmedas	10%
Social	20%
Geotecnia	20%
TOTAL	100%

Fuente: Propia.

3.7.2.2.2. CRITERIOS

Tabla 3-85. Ponderación de criterios

COMPONENTES	CRITERIOS	PONDERACIÓN (PESO RELATIVO)
Estructuras	Relación costo beneficio de la estructura	60%
	Desempeño de la estructura ante cargas cíclicas	0%
	Mantenimiento de la estructura	40%
	Sub Total	100%
Predial	N° de predios y áreas requeridas	20%
	N° de unidades sociales	30%
	Impactos socioeconómicos	50%
	Sub Total	100%
Ambiental	Afectación de la flora	0%
	Afectación de la fauna	40%
	Afectación del componente agua	20%
	Afectación del componente suelo	30%
	Alteración del componente aire.	10%
Sub Total	100%	
Redes Húmedas	Implementación de cunetas en las áreas de estudio	40%
	Desempeño de las Estructuras Hidráulicas	50%
	Mantenimiento de las estructuras hidráulicas	10%
	Sub Total	100%
Social	Percepción ciudadana sobre el proyecto	30%
	Fortalecimiento de la participación ciudadana	20%
	Percepción ciudadana de las alternativas	30%
	Mejoramiento de las condiciones de seguridad vial	0%
	Conservación de las condiciones ambientales	20%
Sub Total	100%	
Geotecnia	Facilidad de implementación	100%
	Riesgos en la implementación de la construcción	0%
	Aprovechamiento de estructuras existentes	0%
	Sub Total	100%

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.2.3. CALIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

La calificación de los componentes y los criterios obedece al conocimiento de los diferentes especialistas de cada uno de los ejes temáticos, en el tipo de obras planteadas y las preferencias para la implantación desde cada área, por lo cual en una escala de 1 a 9 (números impares), los especialistas marcan una preferencia o no en comparación con la otra alternativa propuesta, de acuerdo a su evaluación de experto, considerando que 1 implica que NO tiene preferencia sobre la alternativa y 9 SI tiene una fuerte preferencia sobre la alternativa.

Tabla 3-86. Indicador de preferencia sobre las alternativas

ESCALA	INDICADOR
1	No tiene preferencia sobre la alternativa
3	Tiene una preferencia leve sobre la alternativa
5	Prefiere la alternativa
7	Tiene una preferencia moderada sobre la alternativa
9	Tiene una fuerte preferencia sobre la alternativa

Fuente: Propia.

Tabla 3-87. Clasificación de las alternativas para cada uno de los criterios

COMPONENTES	CRITERIOS	Ponderación (Peso relativo)	Indicador		Ponderado	
			ALT 1	ALT 2	ALT 1	ALT 2
Estructuras	Relación costo beneficio de la estructura	60%	9	7	5.4	4.2
	Desempeño de la estructura ante cargas cíclicas	0%	1	2	0	0
	Mantenimiento de la estructura	40%	5	3	2	1.2
	Sub Total	100%	15	12	7.4	5.4
Predial	N° de predios y áreas requeridas	20%	9	7	1.8	1.4
	N° de unidades sociales	30%	1	0	0.3	0
	Impactos socioeconómicos	50%	5	5	2.5	2.5
	Sub Total	100%	15	12	4.6	3.9
Ambiental	Afectación de la flora	0%	3	1	0	0
	Afectación de la fauna	40%	9	5	3.6	2
	Afectación del componente agua	20%	9	3	1.8	0.6
	Afectación del componente suelo	30%	5	5	1.5	1.5
	Alteración del componente aire.	10%	3	2	0.3	0.2
	Sub Total	100%	29	16	7.2	4.3
Redes Húmedas	Implementación de cunetas en las áreas de estudio	40%	8	5	3.2	2
	Desempeño de las Estructuras Hidráulicas	50%	5	3	2.5	1.5
	Mantenimiento de las estructuras hidráulicas	10%	3	3	0.3	0.3
	Sub Total	100%	16	11	6	3.8
Social	Percepción ciudadana sobre el proyecto	30%	7	5	2.1	1.5
	Fortalecimiento de la participación ciudadana	20%	5	5	1	1
	Percepción ciudadana de las alternativas	30%	5	3	1.5	0.9
	Mejoramiento de las condiciones de seguridad vial	0%	1	0	0	0
	Conservación de las condiciones ambientales	20%	7	7	1.4	1.4
	Sub Total	100%	25	20	6	4.8

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

COMPONENTES	CRITERIOS	Ponderación (Peso relativo)	Indicador		Ponderado	
			ALT 1	ALT 2	ALT 1	ALT 2
Geotecnia	Facilidad de implementación	100%	9	7	9	7
	Riesgos en la implementación de la construcción	0%	3	5	0	0
	Aprovechamiento de estructuras existentes	0%	2	1	0	0
	Sub Total	100%	14	13	9	7

Fuente: Propia.

3.7.2.4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN A IMPLEMENTAR

A continuación, se obtiene la matriz de Ponderaciones Globales de los componentes y criterios, en la cual se determina y resume el porcentaje (%) de cada componente y criterio, con relación a la valoración total. La alternativa de mayor porcentaje en la calificación es la escogida como medida de mitigación a implementar.

Tabla 3-88. Ponderación global.

ALTERNATIVAS	ESTRUCTURAS	PREDIAL	AMBIENTAL	REDES HÚMEDAS	SOCIAL	GEOTECNIA	Ponderación Global
ALT. 1	55.56%	55.56%	64.44%	59.26%	55.56%	51.85%	57.4%
ALT. 2	44.44%	44.44%	35.56%	40.74%	44.44%	48.15%	42.6%
Ponderación de Criterios	10%	15%	25%	10%	20%	20%	100.00%
	100.00%						

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.3. DISEÑO DE DETALLE DE ALTERNATIVA SELECCIONADA

Una vez realizada la evaluación multicriterio, la alternativa de mitigación seleccionada es la No. 1, la cual consiste en la implementación de medidas no estructurales y estructurales sobre el área de estudio, las cuales se muestran a continuación: (Para mayor detalle ver Anexo Fase III - Definición de Obras de Mitigación – Planos de diseño)

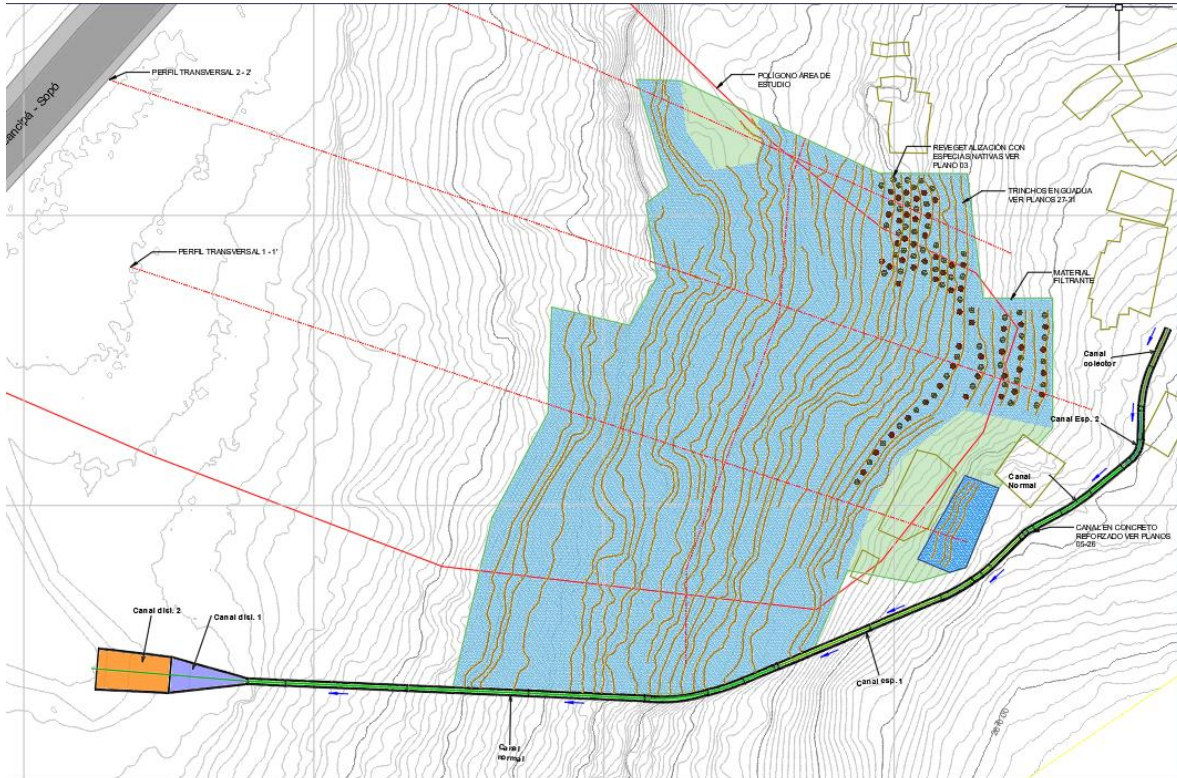


Figura 3-94. Implantación de obras.
Fuente: Propia.

3.7.3.1. DISEÑO GEOTÉCNICOS

3.7.3.1.1. TRINCHOS DE GUADUA

Con el fin de generar la recuperación de la estabilidad local del área donde se presentaron los procesos morfodinámicos asociados a movimientos en masa puntuales, se deben instalar y consiste en la instalación de diques de control y la reconfiguración del talud con trinchos de guadua de 2.00 m de longitud total. A continuación, se presenta la vista en perfil, frontal y en 3D de los trinchos propuestos, con las pendientes propuestas y los detalles de

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

diseño. Es necesario aclarar que, dado que los trinchos son elementos, cuyo proceso constructivo se realiza normalmente siguiendo las curvas de nivel, es posible esperar separaciones variables, desde 1.0 a 8.0 m, dependiendo de la distancia entre curvas. Asimismo, la disposición en planta seleccionada se basó en los análisis de estabilidad, en los cuales a posición de los trinchos es concordante con la encontrada en planta para cada uno de los tres perfiles analizados.

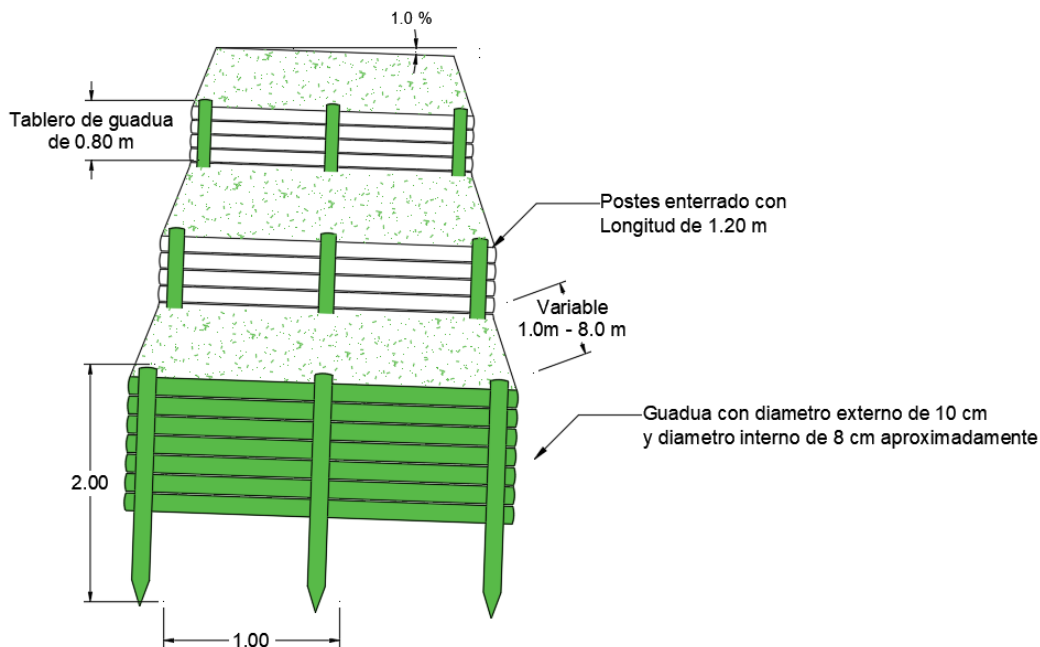


Figura 3-95. Detalle de los trinchos (vista frontal)
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

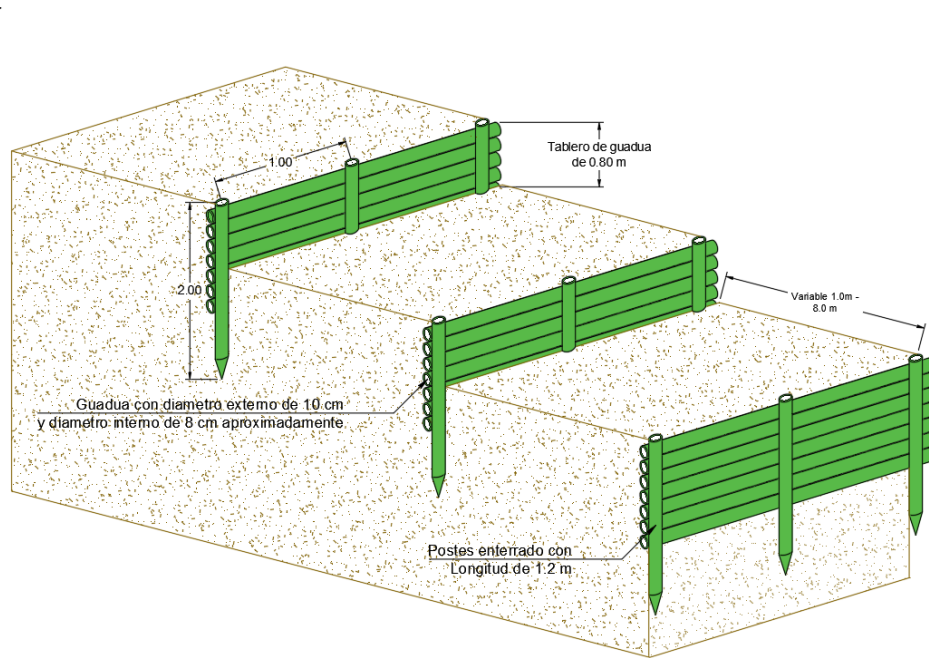


Figura 3-96. Detalle de los trinchos (Vista lateral)
Fuente: Propia.

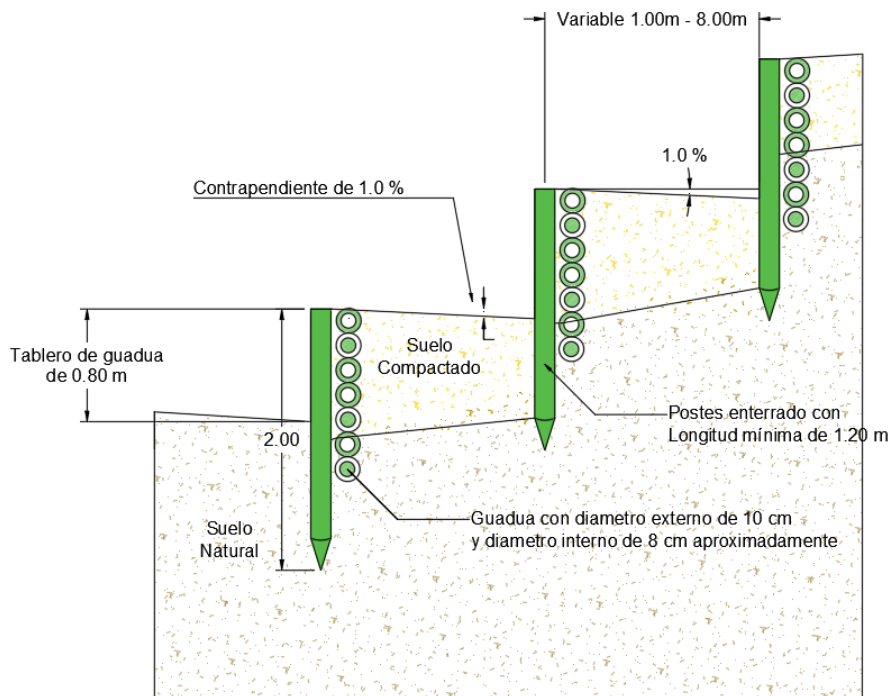


Figura 3-97. Detalle de los trinchos (Vista de perfil)
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.3.1.2. PLAN DE REFORESTACIÓN

De acuerdo con las condiciones encontradas en los taludes, con relación a la humedad, tipo de material y pendiente del talud y a la recomendación de realizar trinchos con guadua, se propone la siembra de las siguientes especies, de arriba hacia abajo, para tener diferentes tipos de raíces, adecuadas para la retención de suelos y prevención de la erosión, con un mejor aspecto paisajístico.

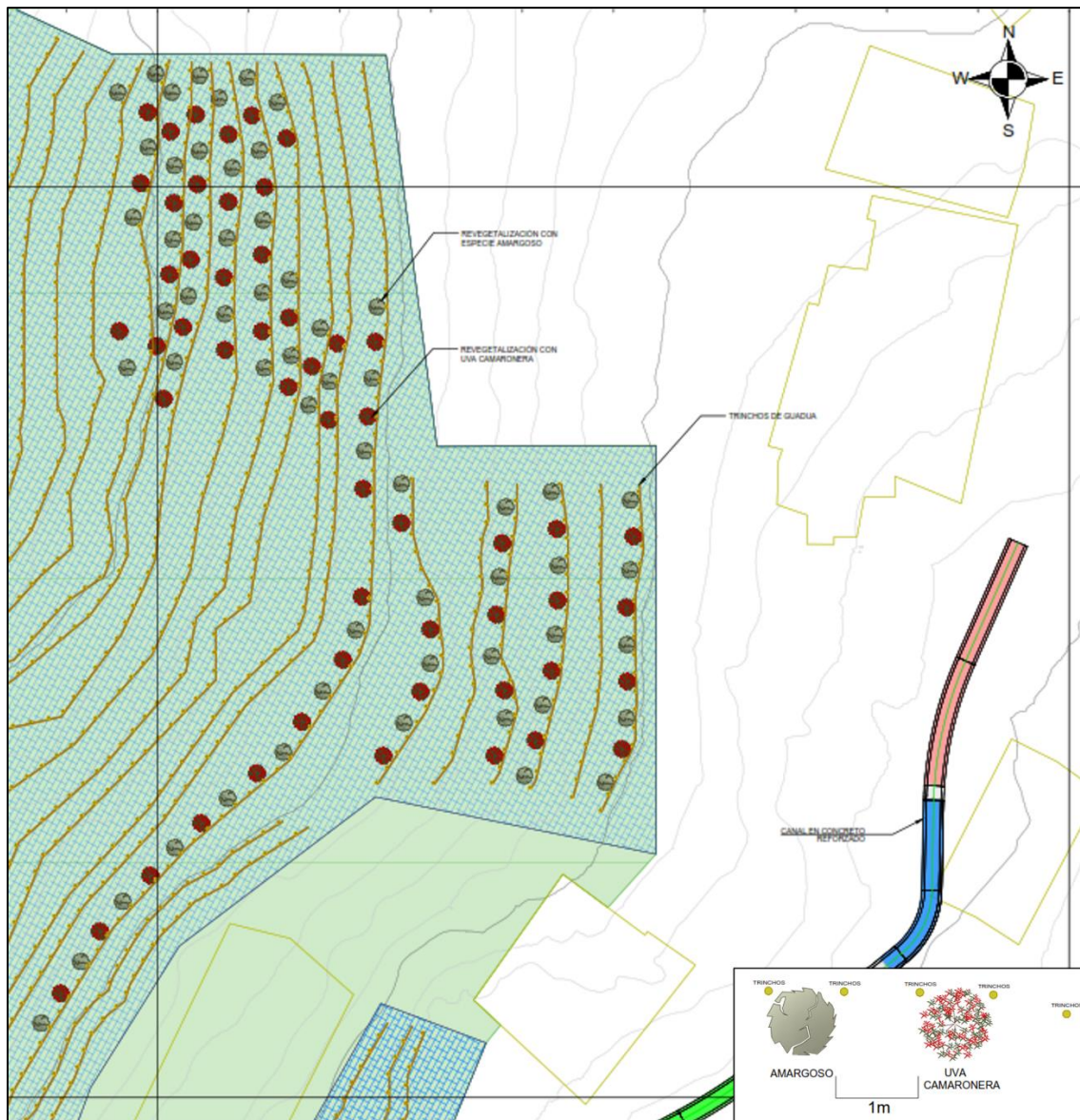


Figura 3-98. Plan de Reforestación.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.3.2. DISEÑO ESTRUCTURAL

Se presenta el diseño estructural para la obra de mitigación escogida.

3.7.3.2.1. REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES

En el área objeto de estudio, se requirieron desde el área hidráulica el diseño de secciones de canales de coronación, este diseño se adelantó para dos tipos de canales y siguiendo las recomendaciones geotécnicas e hidráulicas para las mismas. (Para mayor detalle ver Anexo Fase III - Definición de Obras de Mitigación – Memorias de Cálculo)

3.7.3.2.2. TIPOLOGIA DE LAS OBRAS

En este punto se realizaron los diseños de dos tipos de canales, el primero con sección V y el segundo con sección rectangular.

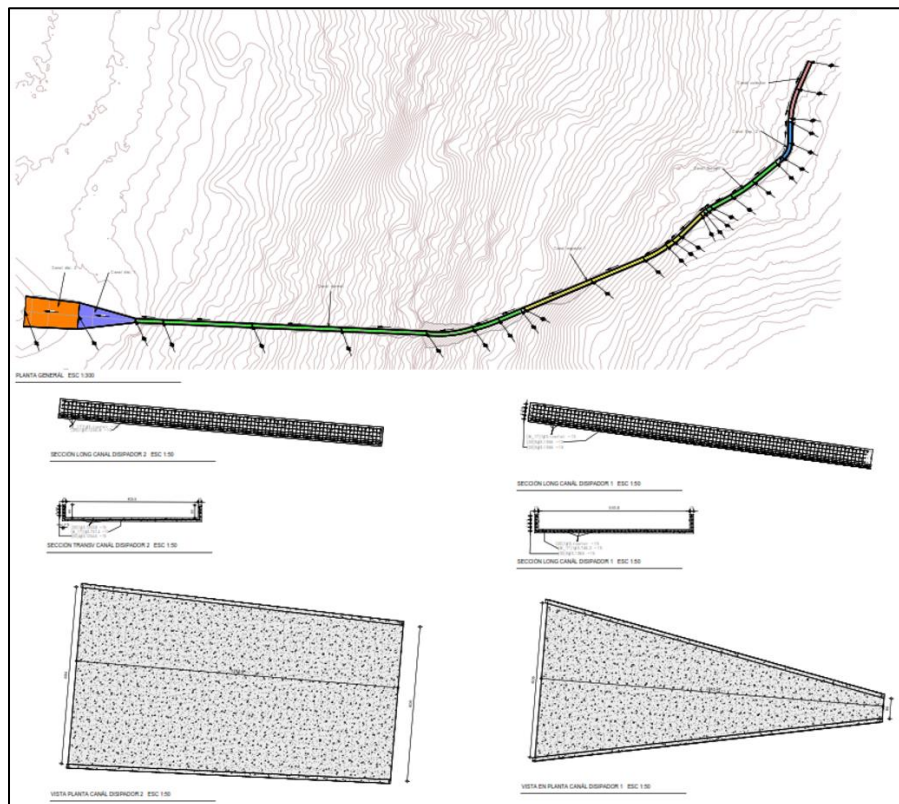


Figura 3-99. Canales.
Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.4. AMENAZA VULNERABILIDAD Y RIESGO CON OBRAS PROPUESTAS

Para el análisis de amenaza por movimientos en masa, previamente se realizó la identificación de la geología, la geomorfología, las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, y los procesos morfodinámicos existentes. Esta zonificación también consideró un modelo geológico - geotécnico, teniendo en cuenta los resultados de investigación del subsuelo, las observaciones de campo, la implementación de la alternativa de mitigación con la cual se aumentan los factores de seguridad como se puede ver a continuación y con lo cual se recategoriza la amenaza por movimientos en masa en las áreas adyacente a la proyección de obras, tal como se observa en la siguiente figura.

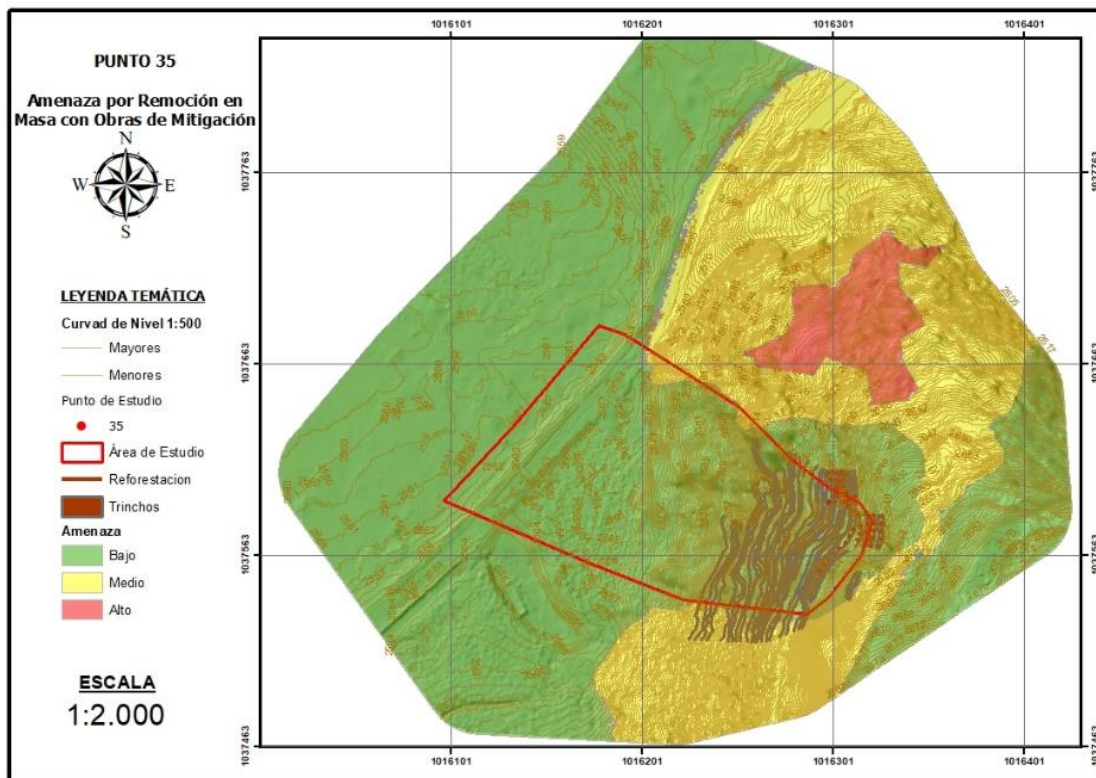


Figura 3-100. Condición de amenaza por movimientos en masa con las áreas de procesos morfodinámicos mitigados con las obras de mitigación para la alternativa seleccionada.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

3.7.5. PRESUPUESTO

Se realizó un presupuesto para la alternativa seleccionada, obteniendo como resultado un valor total de **\$ 744.601.306,00** (Setecientos cuarenta y cuatro millones, seiscientos un mil, trescientos seis pesos).

En el Anexo Fase III - Presupuesto, se presentan:

- Análisis de Precios Unitarios (APU) y Cantidades de Obra.
- Especificaciones Técnicas y Procesos Constructivos.
- Presupuesto.
- Programación de Obra.

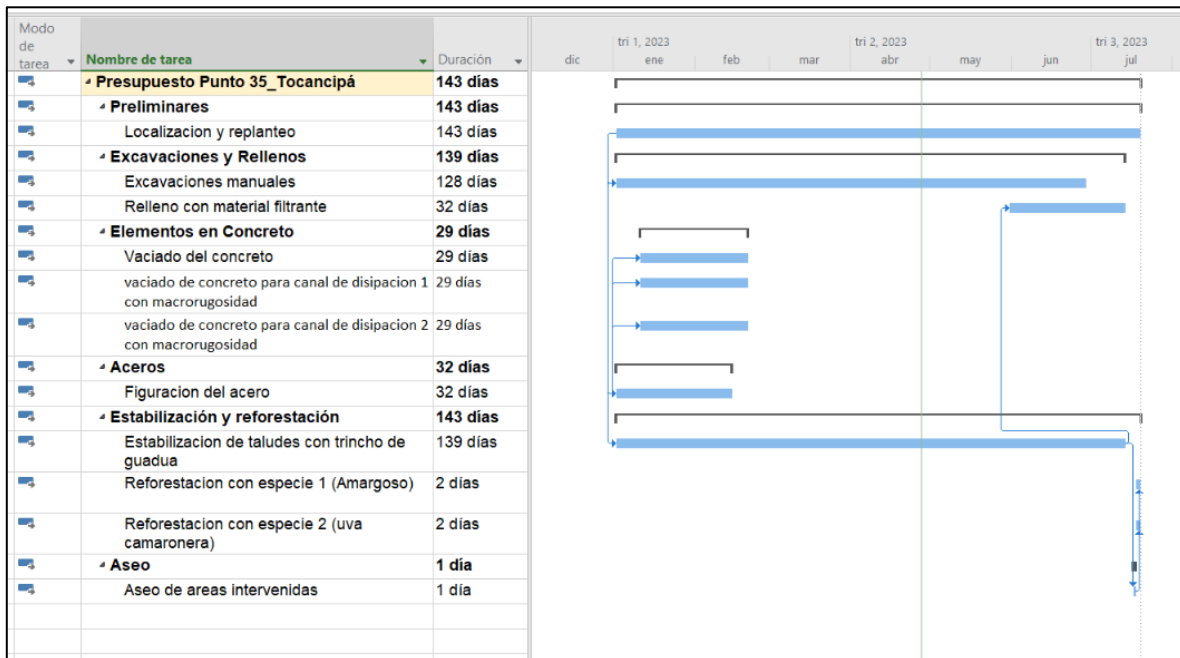


Figura 3-101. Programación de obra para la alternativa seleccionada.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

ITEM		APU	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<p>ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE INGENIERÍA NECESARIOS PARA EL CONOCIMIENTO Y LA REDUCCIÓN DEL RIESGO EN SITIOS CRÍTICOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ Y OTRAS CUENCAS PRIORIZADAS EN JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA</p> <p>Contrato No. 1633 de 2022</p> <p>Tocancipá - P35</p>							
1 Preliminares							
1,1		APU 1	Localización y replanteo con elementos de precisión.	m ²	6701,38	\$ 12.159	\$ 81.482.079
2 Excavaciones y rellenos							
2,1		APU 2	Excavaciones varias en material común seco a mano, incluye sobrantes a una distancia menor a 5K.	m ³	1239,34	\$ 50.689	\$ 62.820.905
2,2		APU 3	Relleno con material filtrante de 3/4"	m ³	930,32	\$ 101.673	\$ 94.588.425
3 Elementos en concreto							
3,1		APU 4	Vaciado armado y vibrado de concreto de 21 MPa para construcción de canalización de aguas lluvia, incluye suministro de materiales, preparación, formaleta, acarreo, vaciado y curado de concreto	m ³	85,24	\$ 700.118	\$ 59.678.058
3,2		APU 5	Vaciado armado y vibrado de concreto de 21 MPa para construcción de canalización de aguas lluvia, incluye suministro de materiales, preparación, formaleta, acarreo, vaciado y curado de concreto con pegue de rajon para generar macrorugosidad de n=0.07 de canal disipador	m ³	10,03	\$ 707.754	\$ 7.098.773
3,3		APU 6	Vaciado armado y vibrado de concreto de 21 MPa para construcción de canalización de aguas lluvia, incluye suministro de materiales, preparación, formaleta, acarreo, vaciado y curado de concreto con pegue de rajon para generar macrorugosidad de n=0.1 de canal disipador	m ³	15,23	\$ 715.389	\$ 10.895.374
4 Aceros							
4,1		APU 7	Suministro, figuración, armado y fijación de acero Fy=420MPa	Kg	6365,9	\$ 9.305	\$ 59.234.700
5 Estabilización y reforestación							
5,1		APU 8	Estabilizacion de taludes con trincho de guadua.	ml	2769,64	\$ 77.275	\$ 214.023.931
5,2		APU 9	Reforestación con especie 1 (Amargoso incluye tierra negra, fertilizante y excavación)	Und	58,00	\$ 6.804	\$ 394.632
5,3		APU 10	Reforestación con especie 2 (uva camaronera incluye tierra negra, fertilizante y excavación)	Und	53,00	\$ 12.804	\$ 678.612
6 Aseo							
6,1		APU 11	Aseo de áreas intervenidas(incluye cargue y retiro de sobrantes a unas distancia de 5km)	Ha	0,67	\$ 436.518	\$ 292.527
Total Costos Directos						\$	591.188.016
Administrativos (17%)						\$	100.501.963
Imprevistos (3%)						\$	17.735.640
Utilidades (5%)						\$	29.559.401
IVA 19%						\$	5.616.286
TOTAL						\$	744.601.306

Figura 3-102. Presupuesto para la alternativa seleccionada.

Fuente: Propia.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

4. CONCLUSIONES

En el municipio de Tocancipá, vereda Canavita, predio Patiño, afloran rocas sedimentarias de la formación Labor-Tierna (K2t) y depósitos consolidados a poco consolidados del Cuaternario.

Las unidades aflorantes en el área de estudio para propósitos ingenieriles se clasificaron en unidades de roca y unidades de suelos. La unidad de roca se clasificó como intermedia y las unidades de suelo se clasificaron teniendo en cuenta su origen y características ingenieriles en suelos transportados y antrópicos, principalmente.

La unidad de roca intermedia arenisca de la formación Labor-Tierna (Ria-K2t) aflora hacia el sector este del área, de acuerdo con la composición litológica predominan las areniscas de grano medio a grueso. El grado de fracturamiento de estas rocas varía de fracturada a poco fracturada, el cual se corrobora con las escasas discontinuidades que se localizan en el macizo, de igual manera se definió que la roca esta moderadamente meteorizada, por lo tanto, se estableció un rango de valor GSI para esta unidad entre 40 y 50, considerando así, que el macizo es de calidad regular.

Las unidades de suelo se clasificaron en: suelo transportado de flujo de lodo (Stfl-Q1sa), suelo transportado coluvial antiguo (Stco) y suelo transportado coluvial deslizado (Stco-Qd). Estas unidades tienen una granulometría heterogénea, que varía de fina a gruesa.

Las obras propuestas (trinchos de guadua y plan de reforestación) desde el punto de vista geotécnico cumplen con los requisitos de estabilidad. Dado que se trata de una masa deslizante de poca profundidad, fueron implementadas obras de estabilización de tipo superficial, pues la roca se encuentra prácticamente expuesta. De esta forma, se contrarrestó la amenaza hasta alcanzar un nivel bajo en la zona de proposición de obras.

Las subunidades geomorfológicas del municipio de Tocancipá, vereda Canavita, predio Patiño, están representadas en ambientes de origen denudacional y fluvial. El ambiente denudacional está relacionado a procesos exógenos con una intensa meteorización con posterior erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que moldean y remodelan las unidades preexistentes dejando remanentes de las geoformas morfoestructurales y creando nuevas geoformas por la acumulación de sedimentos. Las subunidades geomorfológicas

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

de origen denudacional identificadas son: cono y lóbulo de solifluxión (Dco) y laderas onduladas escarpadas (Dloe).

La subunidad geomorfológica de origen fluvial corresponde a una planicie (Lp), cuyo origen está relacionado a procesos erosivos de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación en zonas aledañas a dichas corrientes o cuencas restringidas.

Se identificaron procesos de remoción en masa donde actúan procesos morfométricos de reptación, erosión laminar y deslizamientos rotacionales en los taludes. Estos deslizamientos ocurren sobre depósitos coluviales, que cubren discordantemente rocas de la formación Labor- Tierna.

Para el análisis hidrológico realizado, se puede concluir que en la zona de estudio se presentan valores de precipitación anual de aproximadamente 818.50 mm/año, siendo magnitudes bajas del fenómeno en comparación con otras áreas del departamento. Asimismo, la dinámica intra-anual de precipitaciones en la zona de estudio es de carácter bimodal, alcanzando las precipitaciones más altas en los meses de abril, mayo y noviembre. Adicionalmente, las temperaturas en el área considerada varían desde 4 hasta 22 °C aproximadamente, alcanzando las mayores temperaturas a inicio y final de año, y las menores temperaturas hacia mitad de año.

Por otro lado, la cuenca hidrográfica en estudio se clasifica como una cuenca muy pequeña, con un terreno fuertemente accidentado, de forma casi redonda a oval y con amenaza ante avenidas torrenciales muy alta.

Se propone entonces la construcción de un canal que recoja la escorrentía superficial generada por las aguas lluvias de un área aferente de 1.25 ha, para el cual el diseño hidrológico calculó flujos de hasta 0.29, 0.33 y 0.37 m³/s, para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años respectivamente, respondiendo a los requerimientos que diferentes disciplinas consideren.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda ejecutar obras de construcción entre los meses de diciembre y febrero y entre julio y septiembre. Esto debido al régimen bimodal de precipitaciones de la región, el cual indica que los menores valores de lluvia ocurren en los

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

meses previamente descritos. Problemas de ejecución de construcción, así como de seguridad se pueden presentar en las épocas restantes del año, debido al aumento de la escorrentía superficial tanto dentro como fuera de los cauces de estudio.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

5. RECOMENDACIONES

Para el seguimiento de las obras se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Reconocimiento visual periódico de la zona: inspecciones detalladas a la zona, las cuales se deberán intensificar en períodos de lluvia. Medición de movimientos horizontales y verticales: durante la construcción se deben colocar puntos de control topográfico en algunos puntos sobre los taludes, los cuales se deben controlar por un período de no menos de seis (6) meses con periodicidad mensual.
- Se recomienda a la comunidad, la protección y el buen uso de las obras propuestas para su buen funcionamiento y durabilidad; en cuanto a la disposición de los espacios libres, se recomienda la adecuación de jardines y zonas verdes.
- Se recomienda realizar un monitoreo o seguimiento durante la ejecución de las excavaciones para la realización de las obras correctivas y una vez se hayan ejecutado las mismas.
- Verificación de la calidad de los materiales (acero, concreto, rellenos, etc.) a utilizar durante la construcción de las obras de mitigación, contemplando que cumplan con las condiciones establecidas en los diseños o las normas correspondientes, las cuales están indicadas en los planos de obras y detalles constructivos.
- Después de un sismo se debe observar el suelo alrededor de las obras, para determinar la posible presencia de grietas, hundimientos, deslizamientos o cualquier anomalía en el terreno que pueda afectar las obras.
- Se recomienda durante el proceso constructivo de los trinchos, tener especial cuidado en mantener la pendiente lateral con el fin de llegar a la zanja de coronación, y mantener de igual forma la contrapendiente de los trinchos.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- Observar desde el exterior el estado general de las obras, daños en pantallas, antepechos, etc., así como el estado de las construcciones vecinas, estableciendo si las vías de acceso y de evacuación son seguras.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

6. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Municipal De Tocancipá. (08 de Abril de 2022). Mapa Zonificación AVR. Tocancipá, Colombia.

Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR. (2018). *Informe técnico DGOAT No.068*. Dirección de Gestión del Ordenamiento Ambiental y Territorial.

Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR. (2022). *Página web de la CAR*. Obtenido de Repositorio Datos Geográficos: <https://datosgeograficos.car.gov.co/search?categories=pomcas>

Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR. (2022). *Página web de la CAR*. Obtenido de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCAS): <https://www.car.gov.co/vercontenido/40>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2022). *IDEAM*. Obtenido de Consulta de datos hidrometeorológicos: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (2022). *Cartografía Básica*. Obtenido de Portal Datos Abiertos (Cartografía y Geografía): geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac

Servicio Geológico Colombiano – SGC. (2022). *Página web del SGC*. Obtenido de Mapa Geológico Colombiano: https://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Mapa_Geologico_Colombiano_2020/

Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR. (2021). *Informe técnico DGOAT No.068*. Dirección de Gestión del Ordenamiento Ambiental y Territorial.

Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR. (2022). *Página web de la CAR*. Obtenido de Repositorio Datos Geográficos: <https://datosgeograficos.car.gov.co/search?categories=pomcas>

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR. (2022). Página web de la CAR. Obtenido de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCAS): <https://www.car.gov.co/vercontenido/40>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2022). IDEAM. Obtenido de Consulta de datos hidrometeorológicos: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (2022). Cartografía Básica. Obtenido de Portal Datos Abiertos (Cartografía y Geografía): geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac

Servicio Geológico Colombiano – SGC. (2022). Página web del SGC. Obtenido de Mapa Geológico Colombiano: https://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Mapa_Geologico_Colombiano_2020/

DECRETO 252 DEL 21 DE JUNIO DE 2007. Alcaldía Mayor de Bogotá, "Por medio del cual se adopta la Operación Estratégica Nuevo Usme • Eje de integración Llanos y el Plan de Ordenamiento Zonal de Usme."

DECRETO DISTRITAL 438 DEL 28 DE SEPTIEMBRE DE 2009. "Por el cual se adopta el Plan Parcial "Tres Quebradas", ubicado en la Operación Estratégica Nuevo Usme- Eje de Integración Llanos".

CARVAJAL J.H. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá, D. C. 2012.

CARVAJAL J.H. Zonificación geomorfológica de la Sabana de Bogotá. Volumen I: "Características Geomorfológicas de la Sabana de Bogotá". Proyecto Compilación y Levantamiento de la información Geomecánica. INGEOMINAS. Bogotá, D. C. 2005.

CARVAJAL J.H. Mapa Geomorfológico de la Sabana de Bogotá. Plancha 246-II-D. Escala 1:25.000. INGEOMINAS. Bogotá, D. C. 2004.

IDIGER. Geoportal Capas Normativas
IDIGER

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

<http://idiger.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=fa4b277533584c3a95a9208b4d542e19>, consultado diciembre 19 de 2018 y 09 de junio de 2019.

MONTOYA A., DIANA y REYES T., GERMAN. Geología de la Sabana de Bogotá. Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS. Subdirección de Geología Básica. Bogotá, D. C. 2005a.

MONTOYA A., DIANA y REYES T., GERMAN. Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá. Escala 1:100.000. Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS. Bogotá, D. C. 2005b.

Secretaría de Hacienda. Departamento Administrativo de Planeación. Diagnóstico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá, D.C. Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C. Abril de 2004.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - SGC - Movimientos en masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Publicación Geológica Multinacional No. 4. Bogotá, D. C. 2007.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - SGC - Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (Escala detallada). Bogotá, D. C. 2016.

RESOLUCIÓN 227 DE JULIO DE 2006. "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la ejecución de estudios detallados de amenaza y riesgo por Movimientos en masa para proyectos urbanísticos y de construcción de edificaciones en Bogotá D.C.". Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría Distrital de Gobierno - Dirección de Prevención y Atención de Emergencias -DPAE. Bogotá, D. C. 2006.

VERSTAPPEN H., VAN ZUIDAM, R. The ITC System of Geomorphologic Survey. ITC Publication.

Barreto Ruiz, L. F., & Morales Villamil, P. A. (2017). Comparación de metodologías para el cálculo de la evapotranspiración real, a partir de diferentes métodos de estimación como una herramienta para la toma de decisiones en la agricultura urbana, en el barrio Hierbabuena (Villavicencio, Meta). Universidad Santo Tomás.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- Campos Aranda, D. F. (1998). Procesos del ciclo hidrológico (3rd ed.). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- GONZÁLEZ G., Álvaro J. (1999) Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. X jornadas geotécnicas de la ingeniería Colombiana.
- Castro, L. M., & Carvajal Escobar, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. Ingeniería de Recursos Naturales y Del Ambiente, 9, 15–25. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434002>
- Díaz Garnica, V. C. (2019). Determinación de las áreas de amenaza por avenidas torrenciales, mediante análisis multicriterio para efectuar la amenaza en la cuenca alta del Río Negro, Departamento de Cundinamarca [Universidad Militar Nueva Granada]. <https://geoportal.igac.gov.co/es/contenido/datos-abiertos-agrologia>
- Echeverri-Díaz, J., Coronado-Hernández, Ó. E., Gatica, G., Linfati, R., Méndez-Anillo, R. D., & Coronado-Hernández, J. R. (2022). Sensitivity of Empirical Equation Parameters for the Calculation of Time of Concentration in Urbanized Watersheds. Water (Switzerland), 14(18). <https://doi.org/10.3390/w14182847>
- Elizondo Cordero, G. E. (2018). Ajuste del número de curva mediante optimización en HEC-HMS en la microcuenca La Vega, El Valle del Cauca, Colombia. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Eslava, J., Parra, A., & Villalba, M. (1985). Las temperaturas máximas del aire en Colombia y su pronóstico. In *Atmósfera 4*. *Atmósfera 4*.
- Heras, R. (1976). Hidrología y recursos hidráulicos. In Centro de Estudios Hidrográficos. Centro de Estudios Hidrográficos.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2022). Atlas Climatológico de Colombia. Atlas Interactivo.
- Instituto Nacional de Vías. (2009). Manual de Drenaje para Carreteras. Ministerio de Transporte.
- López Lineros, M., Estévez Gualda, J., & Giráldez Cervera, J. V. (2014). Nuevos métodos de control de calidad de la información requerida para el análisis y la predicción hidrológica. Universidad de Córdoba.
- Phoon, K. K. (Ed.). (2008). Reliability-based design in geotechnical engineering: computations and applications. CRC Press.

CONSORCIO MITIGACIÓN DEL RIESGO

- Lux Cardona, B. (2016). Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas. Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/>
- Mesa Sanchez, O. J., & Botero, B. A. (2001). Errores detectados al estimar escorrentía directa, mediante algunos métodos de hidrogramas unitarios sintéticos. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 8.
- Montealegre Bocanegra, J. E. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia.
- Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 201–222.
- U.S. Soil Conservation Service. (1972). National engineering handbook section 4.
- Vargas, R., & Diaz-Granados, M. (1998). Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia.
- Vargas-Garay, L., Torres-Goyeneche, O. D., & Carrillo-Soto, G. A. (2019). Evaluación del modelo de hidrograma unitario SCS en la determinación de caudales máximos en cuencas de Norte de Santander. *Respuestas*, 24(1), 6–13. <https://doi.org/10.22463/0122820X.1323>
- Vega, E. C., & Jara, J. C. (2009). Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (costa y región andina) del Ecuador. *Eng. Agríc*, 29(3), 390–403.
- Vélez Upegui, J. J., & Botero Gutiérrez, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la Quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*, 78(165), 58–71.
- Little, A. L., Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1960). Discussion of “Computer Analysis of Slope Stability”. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 86(6), 95–98.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.
- Hadj-Hamou, T., & Kavazanjian Jr, E. (1985). Seismic stability of gentle infinite slopes. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(6), 681-697.