PRESERVAR
CONSORCIO

INCOPLAN S.A.
INGENIERIA CONSULTORIA Y PLANEACION

PAVIMENTOS & GEOTECNIA

CONTRATO DE CONSULTORÍA
No. CIN-1104-2025

REALIZAR ESTUDIOS Y DISEÑOS DETALLADOS E INTEGRALES CON PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUE PERMITAN LA CORRECTA INVERSIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN, EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C

ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA

SIERRA MORENA

Entidad:	FONDO DE DESARROLLO LOCAL DE CIUDAD BOLÍVAR
Consultor:	CONSORCIO PRESERVAR
NIT:	902.019.627-3
Contrato:	CIN-1104-2025
Localización:	Ciudad Bolívar, Bogotá D.C.

BOGOTÁ D.C.
OCTUBRE DE 2026

HOJA DE CONTROL

Contrato:	CIN-1104-2025 - REALIZAR ESTUDIOS Y DISEÑOS DETALLADOS E INTEGRALES CON PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, QUE PERMITAN LA CORRECTA INVERSIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN, EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C
Cliente:	FONDO DE DESARROLLO LOCAL DE CIUDAD BOLÍVAR
Consultor:	CONSORCIO PRESERVAR - NIT: 902.019.627-3
Referencia:	Proceso FDLCB-CMA-004-2025
Folios:	300

ÍNDICE DE ENVÍOS Y MODIFICACIONES

REVISIÓN No.	FECHA	SECCIÓN MODIFICADA	OBSERVACIONES
RV1	07/10/2026	N/A	Entrega final
RV2	14/10/2026	Diseño de medidas y descripción del proyecto	Ajuste a los planos estructurales SMV-E-01 a SMV-E-03; obras complementarias SMV-E-04 a SMV-E-06

REVISIÓN Y APROBACIÓN

	CARGO	NOMBRE / FIRMA
Elaboró	Especialista	
Revisó	Residente de Consultoría	Roberto Jurado Montoya
Aprobó	Director de Proyecto	Francisco Montes Buritica

TABLA DE CONTENIDO

1 GENERALIDADES 15
1.1 OBJETIVO 16
1.2 ALCANCE Y LIMITACIONES 16
1.3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO 17
1.4 LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA DE LOS POLÍGONOS (SEGÚN PRIORIZACIÓN) 18
1.4.1 POLÍGONO 1 – PORVENIR DE LA ESTANCIA II 18
1.4.2 POLÍGONO 5 – ARBORIZADORA ALTA – CANDELARIA LA NUEVA 19
1.4.3 POLÍGONO 4 – SIERRA MORENA III – CORTE VIAL 20
1.5 NORMATIVIDAD APLICABLE 22
1.6 METODOLOGÍA GENERAL 23
2 INSUMOS BÁSICOS 25
2.1 CARTOGRAFÍA BASE Y TOPOGRAFÍA 25
2.1.1 INFORMACIÓN TÉCNICA Y METODOLOGÍA 25
2.1.2 LEVANTAMIENTO DE DATOS Y CARTOGRAFÍA 45
2.1.3 DATOS OBTENIDOS POR CADA PRODUCTO Y SUBPRODUCTO 45
2.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 46
2.2.1 METODOLOGÍA 46
2.2.2 ANTECEDENTES 49
2.2.3 GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL 51
2.2.4 CONDICIONES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DE DETALLE DEL SITIO DE ESTUDIO 60
2.2.5 CONCLUSIONES 78
2.3 COMPONENTE DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO. 79
2.4 EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL 80
2.4.1 METODOLOGÍA 80
2.4.2 DEFINICIÓN AREAS DE APORTE O SUBCUENCAS 81
2.4.3 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS REGISTROS HIDROCLIMATOLÓGICOS 81
2.4.4 LLUVIAS CRITICAS O DE DISEÑO 84
2.4.5 RELACIONES ENTRE LA LLUVIA ANUAL Y LA LLUVIA CRÍTICA QUE DISPARA LOS MOVIMIENTOS EN MASA 84
2.4.6 APLICACIÓN PARA EL PRESENTE ESTUDIO 85
2.4.7 CALCULO CAUDALES DE ESCORRENTÍA 87
2.4.8 PERÍODOS DE RETORNO DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PROYECTADAS 87
2.4.9 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 88
2.4.10 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA 89
2.4.11 PROCEDIMIENTO CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO 90
2.4.12 MODELACIÓN HIDRÁULICA 90
2.5 EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA 95
2.5.1 GENERALIDADES 95
2.5.2 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS 96
2.5.3 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 96
2.6 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA PARA LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 97
3 ESTUDIOS DETALLADOS 98
3.1 INVENTARIO DETALLADO 98

3.1.1 INVENTARIO DEL PROCESO MORFODINÁMICO 98
3.1.2 CARGAS ACTUANTES 101
3.1.3 AFECTACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA Y DE LAS REDES DE SERVICIOS 101
3.1.4 ESTRUCTURAS AFECTADAS 102
3.1.5 ESTRUCTURAS EXISTENTES Y GEOMETRÍA DEL TALUD 102
3.1.6 CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO Y ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD 103
3.2 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA 104
3.2.1 PLAN DE EXPLORACIÓN. 104
3.2.2 EXPLORACIÓN DIRECTA 109
3.2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO 116
3.2.4 EXPLORACIÓN INDIRECTA 116
3.3 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO 119
3.3.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 119
3.3.2 DEFINICIÓN DE SECCIONES DE ANÁLISIS 145
3.3.3 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA PARA LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 148
3.3.4 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 151
3.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 155
3.4.1 SOFTWARE Y MÉTODOS UTILIZADOS 155
3.4.2 CONDICIONES DE AMENAZA PRECEDENTE 156
3.4.3 CONDICIONES DE AMENAZA 157
3.5 ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA POR MOVIMIENTOS EN MASA. 173
3.5.1 GENERALIDADES DE LOS SECTORES OBJETO DE ESTUDIO - CONTEXTO SOCIAL Y FISICO – BARRIO SIERRA MORENA 174
3.5.2 EVALUACIÓN DE LA FRAGILIDAD 179
3.5.3 INTENSIDAD DEL EVENTO 180
3.5.4 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA 181
3.5.5 CATEGORIZACION Y ZONIFICACION DE LA VULNERABILIDAD 181
3.6 ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA. DEFINICIÓN DEL RIESGO 181
3.6.1 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR EL RIESGO 182
3.6.2 EVALUACIÓN DE RIESGO 182
4 DISEÑO DE MEDIDAS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO 183
4.1 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CON OBRAS 183
4.1.1 ESCENARIOS Y MODELOS DE ANÁLISIS 183
4.1.2 ETAPA DE CONDICIÓN ACTUAL 184
4.1.3 ETAPA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN 186
4.1.4 ETAPA CON OBRAS 187
4.2 DISEÑO ESTRUCTURAL – OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO 189
4.2.1 ANÁLISIS DE INGENIERÍA DEL REVESTIMIENTO Y LOS ANCLAJES PASIVOS DEL CORTE VIAL 189
4.2.2 VERIFICACIONES DE DISEÑO 197
4.2.3 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS Y DE CONTROL 215
4.2.4 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN 216
4.3 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES 228

4.3.1 TRINCHOS EN GUADUA Y PROTECCIÓN DE LA FRANJA SUPERIOR 228
4.3.2 PLAN DE MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE SIERRA MORENA III - CORTE VIAL 235
5 ANÁLISIS PREDIAL Y URBANO 246
5.1 ALCANCE 246
5.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 246
5.2.1 LOCALIZACIÓN 246
5.2.2 IDENTIFICACIÓN DE PREDIOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO 246
5.2.3 INFORMACIÓN JURÍDICA 249
5.2.4 INFORMACIÓN URBANÍSTICA 251
5.2.5 INFORMACIÓN NORMATIVA 255
5.2.6 ANÁLISIS DE COSTOS 255
6 PRESUPUESTOS, PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y PROGRAMACIÓN DE OBRA 258
6.1 MEMORIAS DE CÁLCULO ESTRUCTURAL 258
6.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN 258
6.3 PRESUPUESTO Y CANTIDADES DE OBRA 258
6.4 PROGRAMACIÓN DE OBRA 258
7 INSUMOS PARA TRAMITES PERMISOS 259
7.1 INVENTARIO FORESTAL 259
7.2 ESTUDIO AMBIENTAL 261
7.2.1 ALCANCE 261
7.2.2 NORMATIVIDAD APLICABLE 261
7.2.3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 268
7.3 ÁREA DE ESTUDIO 269
7.3.1 ÁREA DE INTERVENCIÓN 271
7.4 DETERMINANTES AMBIENTALES 272
7.4.1 SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE - SDA 272
7.4.2 SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL ARBOLADO URBANO (SIGAU) 273
7.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 273
7.5.1 DESCRIPCIÓN SITUACIÓN ACTUAL 273
7.5.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA 275
7.5.3 PROCESO CONSTRUCTIVO Y ACTIVIDADES DE OBRA 276
7.5.4 CRONOGRAMA DE OBRA 281
7.5.5 CANTIDADES DE MATERIALES 281
7.5.6 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 282
7.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN 284
7.6.1 ÁREA DE INFLUENCIA E INTERVENCIÓN 284
7.7 EVALUACIÓN AMBIENTAL 295
7.7.1 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES 295
7.8 DEMANDA DE RECURSOS NATURALES 306
7.8.1 RECURSO AGUA 306
7.8.2 RECURSO SUELO 306
7.9 PROGRAMAS DE MANEJO AMBIENTAL 307

7.10 CONCLUSIONES 340
8 ANEXOS 342
9 PLANOS 344

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general de los sectores de estudio en la Localidad de Ciudad Bolívar. 18
Figura 2. Polígono Porvenir de La Estancia II. 19
Figura 3. Polígono Arborizadora Alta – Candelaria la Nueva. 20
Figura 4. Polígono Sierra Morena III – Corte vial. 22
Figura 5. Base puntos GNSS, GPS-1 y GPS-2. 25
Figura 6. Posicionamiento puntos GPS-1 y GPS-2. 26
Figura 7. Captura Inclusión se Antenas Hi Target página NOA. 27
Figura 8. Captura Página Sirgas Coordenadas Semanales Antenas ABCC y BOGA. 28
Figura 9. Esquema vectorial de posicionamiento. 29
Figura 10. Cambio de época GPS-1. 30
Figura 11. Posicionamiento GPS Bases. 31
Figura 12. Especificaciones Antenas GPS Hi Target V-200. 32
Figura 13. Punto de amarre vertical. 33
Figura 14. Circuitos de Nivelación. 34
Figura 15. Nivelación de LZ19-003-Z4 a GPS-1. 35
Figura 16. Nivelación Circuito GPS-1. 35
Figura 17. Circuito GPS-1. 36
Figura 18. Ejemplo Cartera Formulada en Excel. 37
Figura 19. Actividades de Nivelación. 38
Figura 20. Esquema Poligonal y Coordenadas Finales. 40
Figura 21. Nube de puntos Levantamiento. 41
Figura 22. Plano Topográfico. 42
Figura 23. Levantamiento de Detalles con Estación Total (Serie 1). 43
Figura 24. Levantamiento de Detalles con Estación Total. 44
Figura 25. Mapa geológico Regional, con ubicación de los sitios de estudio y sus alrededores. 52
Figura 26. Mapa geomorfológico Regional, con ubicación de los sitios de estudio y sus alrededores. 54
Figura 27. Fotointerpretación de las aerofotografías Nos.164-165-166; Vuelo C- 2717; escala 1: 20.300; año 1987. 58
Figura 28. Aerofotografías Nos.164 y 166 (imágenes pares para la fotointerpretación); Vuelo C- 2717; escala 1: 20.300; año 1987. 59
Figura 29. Localización de la exploración geotécnica. 62
Figura 30. Línea LSSM-1 — Tomografía de refracción sísmica (Vp). 68
Figura 31. Línea LSSM-1 — Espectro ReMi, ajuste de dispersión y perfil Vs. 68
Figura 32. Perfil esquemático del grado de meteorización de una masa rocosa con las características propias de los horizontes que la constituyen. 71
Figura 33. Mapa y perfiles geológicos. Fuente: Elaboración propia. 73
Figura 34. Ilustración por fotografías de los afloramientos rocosos del sitio de estudio. 74
Figura 35. Ilustración por fotografías de los depósitos coluviales (Qc) antiguos y subrecientes (Qcr). 75
Figura 36. Mapa geomorfológico del sitio de estudio, correspondiente a Sierra Morena. 76

Figura 37. Ilustración en fotografía de las subunidades/elementos geomorfológicos del sitio de estudio. 76
Figura 38. Ilustra en fotografía del proceso de morfodinámico/caída de detritos presente en el sitio de estudio. 78
Figura 39. Coberturas de la tierra 2017 y 2026 Sierra Morena. 80
Figura 40. Planta de localización de la zanja de coronación o canal de aguas lluvias proyectado, con el área aportante de escorrentía superficial. 81
Figura 41. Estación climatológica ordinaria del IDIGER 82
Figura 42. Distribución de las Precipitaciones medias mensuales en la estación meteorológica Colegio Sierra Morena del IDIGER. Período 2000-2026 83
Figura 43. Distribución de las Precipitaciones máximas en 24 horas mensuales multianuales en la estación meteorológica Colegio Sierra Morena. Período 2000-2026. 83
Figura 44. Porcentaje mensual de la lluvia máxima acumulada en 60 días, con relación a la lluvia anual y umbrales críticos que definen la ocurrencia de movimientos en masa. 86
Figura 45. Porcentaje mensual de la lluvia máxima acumulada en 30 días, con relación a la lluvia anual y umbrales críticos que definen la ocurrencia de movimientos en masa. 87
Figura 46. Planta de la zanja de coronación o canal proyectado de aguas lluvias en la modelación hidráulica unidimensional, con el abscisado en el programa Hec Ras. 92
Figura 47. Perfil longitudinal de la zanja de coronación o canal proyectado de aguas lluvias en la modelación hidráulica unidimensional, con el nivel de agua para el caudal máximo de 10 años de retorno. 92
Figura 48. Esquema con los componentes del cálculo hidráulico de los escalones de disipación 94
Figura 49. Ilustración de los procesos morfodinámicos que afectan el talud de corte vial de la Diagonal 75B Sur (Sierra Morena – Corte vial): zona de desprendimiento, trayectoria, lóbulo del deslizamiento y matriz fina. 99
Figura 50. Escarpe de caída de rocas y dirección del movimiento sobre el talud de corte vial, en vista de ortomosaico (Sierra Morena – Corte vial). 100
Figura 51. Esquema de Apique en terreno natural. 104
Figura 52. Esquema de Apique Barreno en pavimento existente. 105
Figura 53. Esquema de Barreno en terreno natural. 105
Figura 54. Esquema de Sondeo en terreno natural. 106
Figura 55. Esquema de una excavación tipo Trinchera. 107
Figura 56. Localización de la exploración geotécnica. 108
Figura 57. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Apique). 110
Figura 58. Muestras extraídas en el Apique 1. 110
Figura 59. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Trincheras). 111
Figura 60. Muestras extraídas en la Trinchera 1. 111
Figura 61. Muestras extraídas en la Trinchera 2. 112
Figura 62. Muestras extraídas en la Trinchera 3. 112
Figura 63. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Barreno 1). 113
Figura 64. Muestras extraídas en el Barreno 1. 113
Figura 65. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Barreno 2). 114
Figura 66. Muestras extraídas en el Barreno 2. 114
Figura 67. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Sondeo). 115
Figura 68. Muestras extraídas en el sondeo 1. 116
Figura 69. Esquema de líneas sísmicas. 118
Figura 70. Localización de la línea sísmica ejecutada. 118

Figura 71. Perfil de espesores de los estratos por sondeo (profundidad hacia abajo; el color de cada estrato corresponde al material en la tabla de resultados y la roca se distingue con trama)..... 121
Figura 72. Propiedades índice en función de la profundidad: a) límites de Atterberg (LP, IP, LL) y humedad natural; b) porcentaje que pasa el tamiz No. 200, con el umbral del 50 % que separa suelos granulares de finos..... 124
Figura 73. Carta de plasticidad de Casagrande; los puntos se agrupan por material. 125
Figura 74. Revisión del potencial de expansión en función del límite líquido: a) Chen; b) Norma IS 1498. 126
Figura 75. Revisión del potencial de expansión en función del índice de plasticidad: a) Chen; b) Norma IS 1498. 127
Figura 76. N_{60} corregido en función de la profundidad, por sondeo (escala común 0–6 m; abscisas hasta 50 golpes); puntos agrupados por material. 132
Figura 77. Módulo de elasticidad E_s ($E_s = k \cdot N_{1,60}$; Tabla C10.4.6.3-1) en función de la profundidad, por material de suelo..... 133
Figura 78. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra). 135
Figura 79. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Depósito de coluvión (Qc). 135
Figura 80. Índices de carga puntual Is50 medidos en el sondeo SSM-1 y las trincheras, y resistencia a la compresión inconfinada estimada qu = k·Is50 (k = 22,5; ISRM 20 a 25), para la Formación Guaduas (K2E1gm). La línea discontinua marca la mediana de Is50 de la unidad. 140
Figura 81. Envolvente de resistencia τ – σ' del macizo (Hoek-Brown)..... 142
Figura 82. Localización de las secciones de análisis geotécnico sobre ortomosaico. Sierra Morena III - Corte vial. 147
Figura 83. Espectro elástico de diseño de la zona Cerros (Decreto 523 de 2010, 5% de amortiguamiento). 151
Figura 84. Ubicación del Polígono 4 – Sierra Morena III – Corte Vial en la Zona Geotécnica Cerros A (zonificación geotécnica regional)..... 152
Figura 85. Zonificación geotécnica de detalle – condición actual, Sierra Morena III – Corte Vial..... 154
Figura 86. Amenaza por movimientos en masa urbano (cartografía oficial POT, IDIGER) sobre el área de estudio – Sierra Morena III (corte vial)..... 157
Figura 87. Análisis en condición estática – Sección A-A'..... 159
Figura 88. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición estática - Sección A-A'..... 160
Figura 89. Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza por movimientos en masa- condición normal actual..... 161
Figura 90. Análisis en condición pseudoestática – Sección A-A'. 162
Figura 91. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición pseudoestática- Sección A-A'..... 162
Figura 92. Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza por movimientos en masa- condición extrema sin obra..... 163
Figura 93. Desprendimiento documentado en el talud de corte de la Diagonal 75 Sur, sector Sierra Morena III. a) Vista general del sector, con los bloques acumulados sobre la berma y las barreras de canalización dispuestas en el borde de la calzada. b) Detalle de la cicatriz de arranque y de los bloques de arenisca acumulados al pie del talud..... 164
Figura 94. Escenario modelado en RocFall 4.0 y trayectorias calculadas de los bloques, sección A-A′. 167
Figura 95. Distribución de la localización horizontal de los puntos de detención de los bloques, sección A-A′. 168
Figura 96. Envolvente de energía cinética total de los bloques a lo largo del perfil, sección A-A′..... 168
Figura 97. Análisis en condición normal (construcción) Sección A-A′..... 170
Figura 98. Análisis en condición normal (obra definitiva) Sección A-A′..... 170

Figura 99. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición estática (Obra) - Sección A-A′. 170
Figura 100. Análisis en condición extrema (construcción) - Sección A-A′..... 171
Figura 101. Análisis en condición extrema (Obra) - Sección A-A′..... 171
Figura 102. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición pseudoestática (Obra)- Sección A-A′. 172
Figura 103. Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza por movimientos en masa- condición con obras. 173
Figura 104. Predios objeto de análisis de Vulnerabilidad..... 177
Figura 105. Infraestructural vial Diagonal 75 Sur. 178
Figura 106. Redes EAAB (La red Sanitaria, de conformidad con la Información suministrada, se encuentra en mal estado, pozos marcados en morado. Escarpe en rojo y viaje del proceso en naranja). 179
Figura 107. Análisis de estabilidad - Estático seco (Sección A)..... 184
Figura 108. Análisis de estabilidad - Estático saturado (Sección A) 185
Figura 109. Análisis de estabilidad - Pseudoestático seco (Sección A)..... 185
Figura 110. Análisis de estabilidad - Pseudoestático saturado (Sección A) 186
Figura 111. Análisis de estabilidad – etapa durante la construcción (Estático seco (Ru = 0)) (Sección A) 187
Figura 112. Análisis de estabilidad – etapa durante la construcción (Pseudoestático seco (Ru = 0)) (Sección A)..... 187
Figura 113. Análisis de estabilidad – obra (Estático seco (Ru = 0)) (Sección A) 188
Figura 114. Análisis de estabilidad – obra (Pseudoestático seco (Ru = 0)) (Sección A) 188
Figura 115. Detalle tipo del anclaje pasivo y del revestimiento del corte vial. Esquema sin escala. 196
Figura 116. Mallas adoptadas en vista frontal, representadas sobre una misma porción de la cara del corte para permitir la comparación de densidades. 197
Figura 117. Esquema de despliegue de las cuatro zonas de sostenimiento sobre el frente del corte vial, con las longitudes, las mallas y las separaciones entre zonas. Esquema sin escala. 197
Figura 118. Modelo de equilibrio límite del corte vial en condición con obras, con los materiales, los elementos de soporte por zona, las sobrecargas de 15,00 kN/m² en la corona y en el pie, y el factor de seguridad estático obtenido. 204
Figura 119. Verificación de la pantalla anclada por el método Soil Nail – Zona IV. 211
Figura 120. Verificación de la pantalla anclada por el método Soil Nail – Zonas II y III. 213
Figura 121. Verificación de la pantalla anclada por el método Soil Nail – Zona I. 215
Figura 122. Sección típica de sostenimiento inicial- sección A-A'. 218
Figura 123. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A'. 219
Figura 124. Isométrico de instalación de anclajes. 221
Figura 125. Isométrico de instalación de anclajes (Nota: El concreto lanzado solo aplica para la parte baja del talud)..... 221
Figura 126. Isométrico de instalación de malla de acero 222
Figura 127. Isométrico de instalación de anclajes de cable de sostenimiento de malla de acero 222
Figura 128. Planta de localización e implantación general de obras. 223
Figura 129. Planta de localización general de anclajes por zonas. 224
Figura 130. Corte general A-A con la distribución de anclajes de las Zonas I a IV..... 224
Figura 131. Distribución de anclajes y revestimiento con concreto lanzado de la Zona IV. 225
Figura 132. Planta de localización de drenes subhorizontales..... 226
Figura 133. Disposición de drenes y lloraderos en la Zona IV – vista frontal esquemática. 227

Figura 134. Detalles del dren subhorizontal y del lloradero en el concreto lanzado. 227
Figura 135. Fotografía de referencia de trinchos de bioingeniería. 229
Figura 136. Vista frontal del trincho en guadua. 230
Figura 137. Sección típica del trincho en guadua. 231
Figura 138. Planta de trinchos en la franja superior. 232
Figura 139. Detalle de amarre poste – tablero. 233
Figura 140. Anclaje del biomanto en la corona. 233
Figura 141. Traslapos y disposición de ganchos del biomanto. 234
Figura 142. Esquema de partes del inclinómetro y de la medición del desplazamiento acumulado. 237
Figura 143. Esquema de un piezómetro de tubo abierto. 238
Figura 144. Modelo geológico-geotécnico con la disposición del inclinómetro, del piezómetro y de los puntos de control respecto de la obra proyectada. Sierra Morena III - Corte vial. 240
Figura 145. Localización de la instrumentación geotécnica propuesta sobre ortomosaico. Sierra Morena III - Corte vial. 241
Figura 146. Localización del área de estudio. 246
Figura 147. Identificación Catastral de Predios 248
Figura 148. Predios en Información gráfica SIGDEP – DADEP 252
Figura 149. Franja Predio 2 253
Figura 150. Predio Catastral AAA0020LISK (ID 2) – sobre gráfica SIGDEP 254
Figura 151. Área e Estudio en Plano Urb. Sierra Morena CB 58/4-06Los predios 254
Figura 152. Predios RUPI 1268-418 254
Figura 153. Mediana del valor de referencia de terreno UAECD 257
Figura 154. Localización general de los sectores de estudio en la Localidad de Ciudad Bolívar 269
Figura 155. Polígono Sierra Morena III. 271
Figura 156. Estructura Ecológica Principal (Dec 555 de 2021). 272
Figura 157. Verificación de individuos arbóreos presentes en el área de intervención. 273
Figura 158. Ilustración de los procesos morfodinámicos que afectan el talud de corte vial de la Diagonal 75B Sur (Sierra Morena – Corte vial): zona de desprendimiento, trayectoria, lóbulo del deslizamiento y matriz fina. 274
Figura 159. Escarpe de caída de rocas y dirección del movimiento sobre el talud de corte vial, en vista de ortomosaico (Sierra Morena – Corte vial) 275
Figura 160. Sección típica de sostenimiento inicial- sección A-A'. 278
Figura 161. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A' 279
Figura 162. Ubicación del Polígono 4 – Sierra Morena III – Corte Vial en la Zona Geotécnica Cerros A (zonificación geotécnica regional). 283
Figura 163. Zonificación geotécnica de detalle – condición actual, Sierra Morena III – Corte Vial 284
Figura 164. Mapa y perfiles geológicos. 285
Figura 165. Mapa geomorfológico del sitio de estudio. 286
Figura 166. Amenaza por remoción en Masa 287
Figura 167. Amenaza por Inundación 287
Figura 168. Amenaza por incendios 288
Figura 169. Clasificación del suelo 288
Figura 170. Condiciones climáticas promedio de Ciudad Bolívar 289
Figura 171. Concentración PM10 290
Figura 172. Concentración PM2.5 291

Figura 173. Concentración O3 291
Figura 174. Concentración NO2 292
Figura 175. Concentración SO2 292
Figura 176. Concentración CO 293
Figura 177. Cuenca Hidrográfica 294

ÍNDICE DE TABLAS

TOC \h \z \c "Tabla" Tabla 1. Coordenadas geográficas del polígono Porvenir de la Estancia II. 18
Tabla 2. Coordenadas geográficas del polígono Arborizadora Alta – Candelaria la Nueva. 20
Tabla 3. Coordenadas geográficas del polígono Sierra Morena III – Corte vial. 21
Tabla 4. Tiempos de rastreo estáticos. 27
Tabla 5. Coordenadas Geocéntricas (Cartesianas) SIRGAS-CON 28
Tabla 6. Coordenadas Planas Cartesianas y Geográficas 05-05-2026 29
Tabla 7. Coordenadas Planas Cartersianas y Geográficas 01 - 01 - 2018 30
Tabla 8. Cotas geométricas Deltas Levantamiento. 35
Tabla 9. Especificaciones Nivel Electrónico Leica DNA10. 39
Tabla 10. Personal Profesional Topografía 40
Tabla 11. Especificaciones Estación Total. 45
Tabla 12. Fuentes de información secundaria. 47
Tabla 13. Vuelos y número de aerofotografías seleccionadas para el proyecto 56
Tabla 14. Resumen e ilustración de la información temática obtenida en el sitio de Sierra Morena-Corte vial. 61
Tabla 15. Resumen e ilustración de la información de las perforaciones ejecutadas 63
Tabla 16. Resumen de las características del material encontrado en las investigaciones. 63
Tabla 17. Coordenadas de los extremos de las líneas sísmicas (MAGNA-SIRGAS Ciudad Bogotá). 67
Tabla 18. Línea LSSM-1 — Perfil de velocidad de onda de corte. 68
Tabla 19. Síntesis de resultados por línea. 69
Tabla 20. Escala de grados de meteorización de un macizo rocoso (perfil general). 72
Tabla 21. Coberturas de la tierra año 2017. 79
Tabla 22. Coberturas de la tierra año 2026. 80
Tabla 23. Ecuación de las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia IDF en el sitio del proyecto Sierra Morena, según la EAAB. 84
Tabla 24. Coeficientes de Escorrentía propuestos 90
Tabla 25. Coeficientes de escorrentía obtenidos para el área aportante a la zanja de coronación o canal 90
Tabla 26. Cálculo de los caudales máximos de escorrentía superficial esperados en la zanja de coronación o canal proyectado, para diversos períodos de retorno 90
Tabla 27. Resumen de los resultados de la modelación hidráulica unidimensional de la zanja de coronación o canal de aguas lluvias, con los parámetros hidráulicos y geométricos más relevantes, para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno. 93
Tabla 28. Parámetros hidráulicos básicos diseño escalones de disipación, para el caudal máximo de 10 años de retorno. 94
Tabla 29. Características geométricas e hidráulicas de los escalones de disipación, proyectados para el caudal máximo de 10 años de retorno. 95

Tabla 30. Inventario de antecedentes técnicos del sector de Sierra Morena III – Corte vial. 100
Tabla 31. Cargas y sobrecargas actuantes adoptadas para el inventario y los análisis de estabilidad. . 101
Tabla 32. Elementos del área de influencia y redes de servicios inventariados. 101
Tabla 33. Estructuras afectadas documentadas en los diagnósticos técnicos. 102
Tabla 34. Estructuras existentes y geometría del talud inventariadas. 102
Tabla 35. Clasificación del movimiento en masa según SGC (2017) / PMA: GCA (2007). 103
Tabla 36. Escala de velocidad de los movimientos en masa. 103
Tabla 37. Exploración ejecutada. 108
Tabla 38. Relación de la cantidad de ensayos de laboratorio ordenados del sector Sierra Morena. 116
Tabla 39. Coordenadas de líneas sísmicas. 118
Tabla 40. Tipos de materiales (estratos) identificados. 120
Tabla 41. Clasificación de los materiales según su origen (SGC, 2017). 122
Tabla 42. Grado de meteorización (Geological Society 1970 / Dearman 1974) por material, asignado a partir de la clase del estrato y de la descripción de campo. 122
Tabla 43. Clasificación SUCS, propiedades índice (rangos mínimo–máximo) y potencial expansivo por material de suelo. 123
Tabla 44. Potencial de expansión en función del límite líquido (LL, %). 125
Tabla 45. Potencial de expansión en función del índice de plasticidad (IP, %). 126
Tabla 46. Coeficiente de presión de poros Ru de la condición actual, calculado con la Ecuación 2 a partir de la superficie freática registrada en el sondeo SSM-1 (7,00 m) y ponderado por el espesor de cada unidad. 128
Tabla 47. Coeficiente de presión de poros Ru adoptado en cada escenario de análisis. 129
Tabla 48. Peso unitario total (γ) y saturado (γsat) y coeficiente de presión de poros Ru por material. 130
Tabla 49. Parámetros de resistencia por material de suelo. 132
Tabla 50. Constantes elásticas por material de suelo (Tabla C10.4.6.3-1, CCP-14). 133
Tabla 51. Valores de entrada para la clasificación manual de suelos en GEO5®. 134
Tabla 52. Rangos de parámetros estimados por GEO5® para los materiales de suelo del sitio. 134
Tabla 53. Contraste de la envolvente de resistencia al corte: valor adoptado frente al rango estimado por GEO5®. 136
Tabla 54. Recobro y RQD registrados en el sondeo SSM-1, Formación Guaduas. 137
Tabla 55. Clasificación de resistencia de la roca intacta a partir de la resistencia a la compresión inconfinada (Bieniawski, 1974). 137
Tabla 56. Resistencia de la roca intacta por unidad: índice de carga puntual Is50, qu estimado y clasificación. 137
Tabla 57. Descripción de la calidad del macizo rocoso en función del índice de calidad de la roca RQD (Deere, 1964). 137
Tabla 58. RQD medido por unidad y calidad del macizo rocoso. Valores del registro de perforación del sondeo SSM-1. 138
Tabla 59. Correlación de la exploración geofísica (línea LSSM-1, sector Sierra Morena) con el modelo geológico-geotécnico. 138
Tabla 60. Nomenclatura de variables 139
Tabla 61. Valoraciones RMR adoptadas (CCP-14, Tabla 10.4.6.4-1) 140
Tabla 62. Resistencia al corte del macizo por esfuerzo normal (Hoek-Brown) 142
Tabla 63. Resumen de la clasificación y propiedades índice por material de suelo 143
Tabla 64. Resumen de parámetros de resistencia y deformación de diseño por material de suelo 144
Tabla 65. Resumen del macizo rocoso (resistencia de la roca intacta desde la Tabla resumen) 144

Tabla 66. Resumen de parámetros por material para el ingreso a los modelos de estabilidad (Slide). .. 145
Tabla 67. Coordenadas de los extremos de las secciones de análisis. Sierra Morena III - Corte vial. 147
Tabla 68. Exploración geotécnica directa de soporte. Sierra Morena III - Corte vial. 148
Tabla 69. Líneas sísmicas de refracción de soporte. Sierra Morena III - Corte vial. 148
Tabla 70. Zona de respuesta sísmica del polígono de estudio (fuente: geoservicio oficial IDIGER, Mapa 2 del Decreto 523 de 2010). 148
Tabla 71. Coeficientes sísmicos de la zona Cerros (Decreto 523 de 2010, Tabla 3). 149
Tabla 72. Coeficiente sísmico pseudoestático K_{ST} para a_{max} = 0.18 g (NSR-10, Tabla H.5.2-1). 149
Tabla 73. Sobrecarga vial adoptada en los análisis de estabilidad (NSR-10, numeral H.5.1.2). 150
Tabla 74. Escenarios de análisis de estabilidad y factores de seguridad admisibles. 150
Tabla 75. Zonificación geotécnica de detalle – Sierra Morena III – Corte Vial. 152
Tabla 76. Descripción de las amenazas en Sierra Morena III. 158
Tabla 77. Categorización de la amenaza por Rangos de Factor de Seguridad (FS), para la condición normal y extrema. 158
Tabla 78. Anchos de franjas de amenaza alta para las condiciones normales. 160
Tabla 79. Anchos de franjas de amenaza alta para las condiciones extremas. 163
Tabla 80. Consideraciones adoptadas para la modelación de caída de bloques y su sustento en el reconocimiento del sector, sección A-A′. 165
Tabla 81. Parámetros de la zona fuente adoptados en el análisis de trayectorias, sección A-A′. 166
Tabla 82. Análisis de sensibilidad al ángulo de fricción de la berma y la calzada. Los demás parámetros se mantienen constantes. El pie del corte se localiza en la progresiva 72,3 m y el borde de la calzada en la progresiva 76,6 m. 166
Tabla 83. Coeficientes de restitución, ángulo de fricción y rugosidad adoptados por tramo del perfil, sección A-A′. 167
Tabla 84. Resultados del análisis de trayectorias de caída de bloques, sección A-A′. 168
Tabla 85. Escenarios de análisis y coeficientes de presión de poros adoptados. 183
Tabla 86. Modelos de análisis de las etapas durante la construcción y con obras. 183
Tabla 87. Factores de seguridad - Condición actual. 184
Tabla 88. Factores de seguridad – etapa durante la construcción. 186
Tabla 89. Factores de seguridad – etapa con obras. 188
Tabla 90. Secciones de análisis del corte vial de Sierra Morena III. 189
Tabla 91. Escenarios de análisis y coeficientes de presión de poros. 190
Tabla 92. Factores de seguridad de aceptación. 190
Tabla 93. Parámetros de los materiales del modelo geológico-geotécnico. 191
Tabla 94. Materiales declarados en el modelo de estabilidad en condición con obras. 192
Tabla 95. Configuración del sostenimiento por zonas. 193
Tabla 96. Parámetros comunes de ingreso al modelo. 194
Tabla 97. Elementos de soporte declarados en el modelo de equilibrio límite. 195
Tabla 98. Características de la barra y de la platina de reparto. 195
Tabla 99. Resumen del chequeo de los tres modos de falla del anclaje. 202
Tabla 100. Resumen de las verificaciones de diseño. 202
Tabla 101. Cantidades unitarias y por unidad de superficie de talud, por zona. 205
Tabla 102. Controles mínimos durante la construcción. 228
Tabla 103. Cantidades de obra de la franja superior. 235
Tabla 104. Composición de la red de instrumentación propuesta. Sierra Morena III - Corte vial. 236

Tabla 105. Coordenadas y características de los instrumentos propuestos. Sierra Morena III - Corte vial. 241
Tabla 106. Frecuencias mínimas de lectura por instrumento y etapa. 242
Tabla 107. Precisión de lectura y umbrales de alerta. Sierra Morena III - Corte vial. 243
Tabla 108. Niveles de alerta, comportamiento observado y acciones asociadas. 244
Tabla 109. Información Catastral. 247
Tabla 110. Otros Datos Catastrales 249
Tabla 111. Información Jurídica 251
Tabla 112. Información Urbanística 252
Tabla 113. Valor de Terreno/M2 256
Tabla 114. Valor Terreno Predio 6 257
Tabla 115. Costo Daño Emergente Predio 6 257
Tabla 116. Costo Total Predio 6 257
Tabla 117. Tratamientos silviculturales propuestos por individuo 259
Tabla 118. Marco normativo 261
Tabla 119. Coordenadas geográficas del polígono Sierra Morena III. 269
Tabla 120. Registro fotográfico recorrido 13 de abril de 2026. 271
Tabla 121. Cronograma de obra. 281
Tabla 122. Cantidades de materiales 281
Tabla 123. Zonificación geotécnica de detalle – Sierra Morena III. 284
Tabla 124. Identificación de actividades constructivas. 296
Tabla 125. Identificación de posibles impactos 296
Tabla 126. Identificación de posibles impactos 298
Tabla 127. Rangos 300
Tabla 128. Matriz de impactos 301

1 GENERALIDADES

La Localidad de Ciudad Bolívar, ubicada en el suroriente del Distrito Capital de Bogotá, concentra una de las mayores densidades de asentamientos en zonas de ladera del país. Su configuración topográfica, con pendientes que en muchos sectores superan el 45%, junto con la naturaleza de los materiales geológicos predominantes —suelos arcillosos residuales, depósitos coluviales y materiales poco consolidados—, la exposición a periodos intensos de precipitación y la intensa ocupación informal de las laderas, generan condiciones de alta susceptibilidad a los procesos de remoción en masa. Estos fenómenos, que incluyen caídas de suelo, deslizamientos, flujos y reptaciones, han ocasionado históricamente afectaciones a la población, a la infraestructura urbana y a las redes de servicios públicos, constituyendo una problemática prioritaria de gestión del riesgo para las autoridades distritales y locales.
En respuesta a esta situación, el Fondo de Desarrollo Local de Ciudad Bolívar, en el marco del proyecto de inversión N°2238 del programa “Gestión del Riesgo de Desastres para un Territorio Seguro” —contemplado en el artículo 47 del Plan de Desarrollo Local “Ciudad Bolívar Camina Segura” (Acuerdo No. 077 de 2024)—, adelantó mediante Concurso de Méritos el Proceso de Contratación FDLCB-CMA-004-2025, mediante el cual se adjudicó al Consorcio Preservar (NIT: 902.019.627-3) el **Contrato de Consultoría No. CIN-1104-2025**, cuyo objeto es “Realizar estudios y diseños detallados e integrales con planteamiento de medidas de reducción de riesgo por movimientos en masa, que permitan la correcta inversión y ejecución de obras de mitigación, en la Localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D.C.”. El contrato tiene un plazo de cuatro (4) meses y un valor de **$847.562.630,00** (equivalente a 595,4075 SMLMV para el año de suscripción).

El presente documento corresponde al informe de **Estudios Detallados de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa**, elaborado por el Consorcio Preservar en cumplimiento de las obligaciones contractuales. Su desarrollo se rige por los Términos de Referencia adoptados mediante la Resolución No. 111 del 10 de mayo de 2022 del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER), que establecen los lineamientos metodológicos para la elaboración de estudios de esta naturaleza en el Distrito Capital, y por las demás normas técnicas y legales de orden nacional y distrital aplicables.

El informe integra los resultados de las investigaciones de campo y de laboratorio, los análisis de estabilidad de taludes, la evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo por movimientos en masa, así como las propuestas de medidas de reducción del riesgo —tanto estructurales como no estructurales— y los diseños definitivos de las obras de mitigación requeridas. Todo ello orientado a proveer a la entidad contratante y a las comunidades de Ciudad Bolívar de los insumos técnicos necesarios para la correcta inversión y ejecución de intervenciones que incrementen la seguridad territorial y reduzcan la vulnerabilidad de la población ante los fenómenos de remoción en masa.

En razón a la diversidad de condiciones geológicas, geomorfológicas y de riesgo presentes en cada sector de intervención, y con el fin de facilitar la consulta, el seguimiento técnico y la futura ejecución de las obras, los resultados del presente contrato se organizaron en **tres (3) documentos independientes**, uno por cada sitio de análisis, así:

Documento 1. Estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa – Sector **Porvenir de la Estancia II** (Calle 62k 75f – 09 s).

Documento 2. Estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa – Sector **Arborizadora Alta – Candelaria la Nueva**.

Documento 3. Estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa – Sector **Sierra Morena** – **Corte vial.**

Cada documento contiene la totalidad de los componentes técnicos aplicables al respectivo sector: estudios básicos, evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, propuesta de medidas de reducción, diseños de obras de mitigación, plan de monitoreo y seguimiento, conclusiones y recomendaciones, y

anexos de soporte. El presente documento corresponde al **01.** Sector **Porvenir de la Estancia II** (Calle 62k 75f – 09 s).

El documento se estructura en diez capítulos: el Capítulo 1 presenta las generalidades del estudio (objetivo, alcance, localización, normatividad y metodología general); el Capítulo 2 describe los estudios básicos realizados (cartografía, topografía, geología, geomorfología, exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio, hidrología e hidrogeología); el Capítulo 3 presenta la evaluación de la amenaza por movimientos en masa; el Capítulo 4 desarrolla el análisis de vulnerabilidad; el Capítulo 5 expone la evaluación del riesgo y la zonificación resultante; el Capítulo 6 formula las medidas de reducción del riesgo; el Capítulo 7 contiene los diseños de las obras de mitigación; el Capítulo 8 describe el plan de monitoreo y seguimiento; y los Capítulos 9 y 10 presentan las conclusiones, recomendaciones y bibliografía. Los anexos complementan el informe con registros de campo, memorias de cálculo, planos y demás soportes técnicos.

1.1 OBJETIVO

El presente estudio tiene como objetivo principal realizar los estudios y diseños detallados e integrales con planteamiento de medidas de reducción de riesgo por movimientos en masa, que permitan la correcta inversión y ejecución de obras de mitigación en la Localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D.C., en el marco del Contrato de Consultoría No. CIN-1104-2025 suscrito entre el Fondo de Desarrollo Local de Ciudad Bolívar (EL FONDO) y el Consorcio Preservar (NIT: 902.019.627-3).

De manera específica, el estudio busca:

a) Caracterizar las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y geotécnicas de los sectores críticos identificados en la Localidad de Ciudad Bolívar, susceptibles a procesos de remoción en masa.

b) Evaluar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en las áreas de interés, conforme a la Resolución 111 del 10 de mayo de 2022 del IDIGER y demás normativa distrital vigente.

c) Formular y diseñar las medidas de reducción de riesgo, incluyendo obras de mitigación (contención, drenaje y bioingenieria), medidas no estructurales y plan de monitoreo e instrumentación.

d) Elaborar los diseños definitivos de las obras de mitigación, incluyendo memorias de cálculo, planos, especificaciones técnicas, presupuesto y programación de obra, de acuerdo con los estándares técnicos y normativos aplicables.

e) Contribuir a la meta del proyecto de inversión N°2238 denominado “Gestión del Riesgo de Desastres para un Territorio Seguro” del Plan de Desarrollo Local “Ciudad Bolívar Camina Segura”, adoptado mediante Acuerdo No. 077 de 2024.

1.2 ALCANCE Y LIMITACIONES

El alcance del presente contrato de consultoría comprende la realización integral de los estudios y diseños detallados para la ejecución de obras de mitigación de riesgos por movimientos en masa en sectores críticos de la Localidad de Ciudad Bolívar. Las actividades incluidas son:

- Levantamiento topográfico de detalle (escala 1:1000 o mayor) y elaboración de cartografía base a escala mínima 1:2000 en los sectores objeto de intervención.

- Estudios de geología regional y local, geomorfología, e inventario de movimientos en masa.
- Exploración del subsuelo mediante apiques manuales, sondeos mecánicos por percusión y/o rotación, y los ensayos de campo complementarios que se determinen necesarios según las condiciones particulares de cada sector de intervención.
- Ensayos de laboratorio de geotecnia (clasificación, propiedades índices, resistencia al corte, consolidación y permeabilidad).
- Análisis hidrológico e hidrogeológico de las cuencas de influencia, incluyendo determinación del nivel freático y condiciones de drenaje.
- Evaluación de amenaza (FS ≥ 1.5 estático, FS ≥ 1.05 pseudoestático, FS ≥ 1.3 con nivel freático), vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, y elaboración de mapas a escala 1:2000.
- Diseño definitivo de obras de mitigación estructurales y no estructurales, con memorias de cálculo, planos constructivos, especificaciones técnicas, cantidades de obra, presupuesto y programación.
- Plan de monitoreo e instrumentación geotécnica y plan de contingencia.

En cuanto a las **limitaciones**, se precisa que: (i) el Fondo de Desarrollo Local de Ciudad Bolívar se reserva el derecho de modificar la localización de los sitios inicialmente previstos en función de la ocurrencia de emergencias o cambios en las condiciones del terreno; (ii) los resultados y recomendaciones del presente estudio están circunscritos a las condiciones del subsuelo y del entorno detectadas durante el trabajo de campo; (iii) cualquier cambio significativo en las condiciones del terreno o en los usos del suelo posteriores a la fecha del estudio podría requerir una actualización de los diseños; y (iv) el plazo de ejecución del contrato es de cuatro (4) meses contados a partir del acta de inicio.

1.3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área objeto del presente estudio se localiza en la localidad de Ciudad Bolívar, correspondiente a la Localidad N.° 19 del Distrito Capital de Bogotá D.C., ubicada al sur de la ciudad. Esta localidad limita al norte con Bosa y Kennedy, al oriente con Tunjuelito, al sur con Usme y al occidente con el municipio de Soacha (Cundinamarca).

Desde el punto de vista geomorfológico, Ciudad Bolívar se emplaza sobre las estribaciones de los Cerros Surorientales, con altitudes que oscilan entre los 2.400 y 3.600 m s.n.m. y pendientes que pueden superar el 45%. Estas condiciones, sumadas a la presencia de suelos residuales arcillosos, depósitos coluviales y materiales poco consolidados, generan una **alta susceptibilidad a procesos de remoción en masa**, especialmente bajo condiciones de saturación y presión antrópica.

El presente estudio comprende cinco (5) sectores priorizados, localizados en zonas urbanas consolidadas y de expansión, correspondientes a los barrios Porvenir de la Estancia II, Lucero Alto, Sierra Morena III, Sierra Morena III – Corte vial y Arborizadora Alta – Candelaria La Nueva.

Los polígonos de estudio se distribuyen espacialmente entre las Calles 62k Sur y 75c Sur, y entre las Carreras 18 y 75h, en áreas caracterizadas por desarrollos residenciales, vías locales, equipamientos comunitarios y redes de servicios públicos, con predominio de ocupación en ladera.
En la siguiente figura se presenta la localización general de los polígonos analizados:

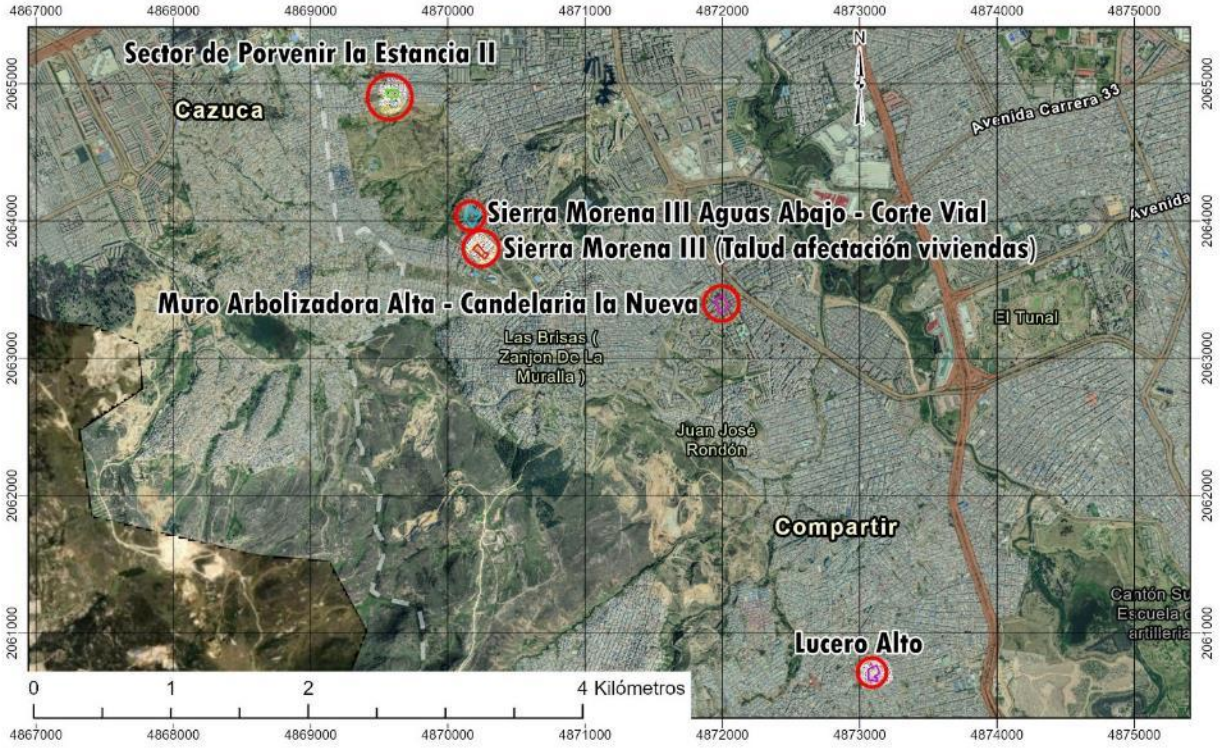


Figura 1. Localización general de los sectores de estudio en la Localidad de Ciudad Bolívar.
Fuente: *Elaboración propia con base en ortoimagen Bogotá–Soacha 2020 (IDECA).*

1.4 LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA DE LOS POLÍGONOS (SEGÚN PRIORIZACIÓN)

A continuación, se describe la localización específica de cada uno de los polígonos de estudio, junto con sus coordenadas geográficas.

1.4.1 POLÍGONO 1 – PORVENIR DE LA ESTANCIA II

El polígono correspondiente al sector Porvenir de la Estancia II se ubica en la localidad de Ciudad Bolívar, aproximadamente entre la Calle 62k Sur y la Calle 63 bis Sur, y entre la Carrera 75h y la Carrera 75b bis, en un sector urbano predominantemente residencial con desarrollos de densidad media, vías locales y presencia de equipamientos comunitarios.
La zona se emplaza sobre laderas características del sur de Bogotá, presentando condiciones topográficas que favorecen la ocurrencia de procesos de inestabilidad. En este sentido, se han identificado alertas asociadas a pérdida de banca en la corona de taludes y movimientos en masa en estado activo, principalmente de tipo caída de suelo, lo que evidencia la necesidad de evaluación y manejo geotécnico del sector. Las coordenadas geográficas de los vértices del polígono se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas del polígono Porvenir de la Estancia II.

Polígono	Vértice	Latitud	Longitud
Porvenir de la Estancia II	1	4,586924	-74,1765
Porvenir de la Estancia II	2	4,586914	-74,1763

Polígono	Vértice	Latitud	Longitud
Porvenir de la Estancia II	3	4,586896	-74,176
Porvenir de la Estancia II	4	4,586887	-74,1758
Porvenir de la Estancia II	5	4,586857	-74,1757
Porvenir de la Estancia II	6	4,586482	-74,1757
Porvenir de la Estancia II	7	4,586434	-74,1759
Porvenir de la Estancia II	8	4,586429	-74,1763

Fuente: Elaboración propia.

En la figura siguiente se presenta la localización específica del polígono:



Figura 2. Polígono Porvenir de La Estancia II.

Fuente: *Elaboración propia.*

1.4.2 POLÍGONO 5 – ARBORIZADORA ALTA – CANDELARIA LA NUEVA

El polígono localizado en el sector Arborizadora Alta – Candelaria La Nueva se ubica aproximadamente entre la Diagonal 68a Sur y la Calle 68c Sur, y entre la Carrera 44a y la Carrera 43b, dentro de un área urbana caracterizada por desarrollos residenciales y presencia de equipamientos barriales.

Este sector corresponde a una zona urbana consolidada, con predominio de vivienda, espacios públicos y equipamientos comunitarios, localizada en una franja de transición entre áreas de expansión urbana y sectores plenamente consolidados de la localidad. Las condiciones del entorno reflejan un alto grado de intervención antrópica, con una infraestructura urbana definida y una dinámica de ocupación estable.

Las coordenadas geográficas de los vértices del polígono se presentan en la Tabla 2, la cual permite establecer con precisión la delimitación espacial del área de estudio.

Tabla 2. Coordenadas geográficas del polígono Arborizadora Alta – Candelaria la Nueva.

Polígono	Vértice	Latitud	Longitud
Arborizadora Alta	1	4,572678	-74,1543
Arborizadora Alta	2	4,572848	-74,154
Arborizadora Alta	3	4,572895	-74,154
Arborizadora Alta	4	4,573548	-74,1543
Arborizadora Alta	5	4,573529	-74,1544
Arborizadora Alta	6	4,573711	-74,1545
Arborizadora Alta	7	4,57362	-74,1547
Arborizadora Alta	8	4,573432	-74,1548
Arborizadora Alta	9	4,573268	-74,1546
Arborizadora Alta	10	4,573033	-74,1545

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3 presenta la localización específica del polígono.



Figura 3. Polígono Arborizadora Alta – Candelaria la Nueva.

Fuente: *Elaboración propia; Ortoimagen Bogotá-Soacha 2020, GSD 8cm, cámara DMCIII - IDECA.*

1.4.3 POLÍGONO 4 – SIERRA MORENA III – CORTE VIAL

El polígono correspondiente al sector Sierra Morena III – Corte vial se localiza aproximadamente entre la Calle 75a Sur y la Diagonal 75 Sur, y entre la Carrera 73n y la Transversal 73i, en una zona urbana con predominio de vivienda y vías locales.

El área presenta características urbanas similares a las del sector Sierra Morena III, con desarrollos residenciales implantados sobre ladera y una red de vías locales que se articulan con el sistema vial de la

localidad. La intervención vial existente ha generado cortes en talud que pueden incidir en la estabilidad del terreno, por lo que se hace necesario su análisis desde el punto de vista geológico-geotécnico.

Las coordenadas geográficas de los vértices del polígono se presentan en la Tabla 3, a la cual se hace referencia para la delimitación espacial detallada del área de estudio.

Tabla 3. Coordenadas geográficas del polígono Sierra Morena III – Corte vial.

Polígono	Vértice	Latitud	Longitud
Sierra Morena – Corte vial	1	4,578399	-74,1705
Sierra Morena – Corte vial	2	4,578617	-74,1703
Sierra Morena – Corte vial	3	4,578784	-74,1703
Sierra Morena – Corte vial	4	4,578791	-74,1704
Sierra Morena – Corte vial	5	4,578878	-74,1706
Sierra Morena – Corte vial	6	4,578962	-74,1707
Sierra Morena – Corte vial	7	4,579125	-74,1707
Sierra Morena – Corte vial	8	4,579135	-74,1709
Sierra Morena – Corte vial	9	4,579154	-74,171
Sierra Morena – Corte vial	10	4,578978	-74,1711
Sierra Morena – Corte vial	11	4,578902	-74,171
Sierra Morena – Corte vial	12	4,578775	-74,1711
Sierra Morena – Corte vial	13	4,578696	-74,1711
Sierra Morena – Corte vial	14	4,578548	-74,1712
Sierra Morena – Corte vial	15	4,578462	-74,1711
Sierra Morena – Corte vial	16	4,578374	-74,171
Sierra Morena – Corte vial	17	4,578285	-74,1709
Sierra Morena – Corte vial	18	4,57817	-74,1708
Sierra Morena – Corte vial	19	4,578008	-74,1707
Sierra Morena – Corte vial	20	4,577987	-74,1707
Sierra Morena – Corte vial	21	4,578089	-74,1706
Sierra Morena – Corte vial	22	4,578201	-74,1706
Sierra Morena – Corte vial	23	4,57827	-74,1705

Fuente: Elaboración propia.

En seguida, se presenta la figura de la localización:



Figura 4. Polígono Sierra Morena III – Corte vial.

Fuente: *Elaboración propia; Ortoimagen Bogotá-Soacha 2020, GSD 8cm, cámara DMCIII - IDECA.*

1.5 NORMATIVIDAD APLICABLE

El presente estudio se desarrolla en el marco normativo vigente a nivel nacional, distrital y técnico, que se relaciona a continuación:

Marco Constitucional y Legal:

- Constitución Política de Colombia, artículos 1, 2, 51, 79 y 289, que establecen el deber del Estado de proteger a las personas y sus bienes ante riesgos naturales, garantizar el derecho a la vivienda digna y al medio ambiente sano.
- Ley 9 de 1989, artículo 56: Obligación de los municipios de prevenir y mitigar el riesgo de desastre en su jurisdicción, manteniendo actualizado el inventario de zonas con amenazas para asentamientos humanos.
- Ley 472 de 1998, artículo 4, literal l: Consagra el derecho colectivo a la seguridad y prevención de desastres previsibles técnicamente.
- Ley 1523 de 2012: Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD).
- Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto Nacional 1077 de 2015): Establece la obligación de realizar estudios básicos y detallados de amenaza y riesgo para la revisión de los POT y la expedición de licencias de urbanización y parcelación.
- Decreto Nacional 1077 de 2015, artículo 2.2.6.1.2.2.3, modificado por el Decreto 1203 de 2017: Los curadores urbanos y autoridades municipales deben revisar el cumplimiento del NSR-10, los estudios geotécnicos y de suelos en los proyectos sometidos a licencia.
- Resolución 1025 de 2021 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (modificatoria de la Resolución 0462 de 2017): Cuando los predios estén ubicados en zonas de amenaza y/o riesgo alto o medio de origen geotécnico o hidrológico, se deben adjuntar estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa.

- NSR-10 – Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: Título H (Estudios Geotécnicos) y demás títulos aplicables a los diseños de obras de mitigación.

Marco Distrital:

- Decreto Distrital 555 de 2021 y Acuerdo 007 de 2016 del IDIGER: Confieren al IDIGER las facultades para adoptar términos de referencia para estudios de amenaza y riesgo en Bogotá D.C.
- **Resolución No. 111 del 10 de mayo de 2022 – IDIGER**: Por la cual se adoptan los Términos de Referencia para la ejecución de estudios detallados de amenaza y riesgo por movimientos en masa para proyectos de urbanización o parcelación en Bogotá D.C. Esta resolución constituye el principal instrumento metodológico para el desarrollo del presente estudio.
- Decreto Distrital 555 de 2021, artículo 22: Establece la obligación de adelantar estudios de amenaza y riesgo previo al proceso de desarrollo de actuaciones urbanísticas.
- Plan de Desarrollo Local “Ciudad Bolívar Camina Segura”, Acuerdo No. 077 de 2024, artículo 47: Programa “Gestión del Riesgo de Desastres para un Territorio Seguro” – Proyecto de inversión N°2238.
- Acuerdo Distrital 637 de 2016 (que modifica el Acuerdo 257 de 2006): Define las funciones de la Secretaría Distrital de Gobierno y los Fondos de Desarrollo Local en materia de gestión del riesgo y gobernabilidad local.

Marco de Contratación:

- Ley 80 de 1993 (Estatuto General de Contratación), artículo 32: Define los contratos de consultoría como aquellos referidos a los estudios necesarios para la ejecución de proyectos de inversión.
- Ley 1150 de 2007 y Decreto 1082 de 2015: Normas que regulan la modalidad de selección por Concurso de Méritos aplicable al presente contrato (Proceso FDLCB-CMA-004-2025).

1.6 METODOLOGÍA GENERAL

La metodología general adoptada para el desarrollo del presente estudio se fundamenta en los Términos de Referencia establecidos en la Resolución No. 111 del 10 de mayo de 2022 del IDIGER, y comprende las siguientes fases:

Fase 1 – Recopilación y Análisis de Información Secundaria:

Revisión y análisis de estudios previos, cartografía base del IDECA e IGAC, información climatológica e hidrológica del IDEAM, registros históricos de movimientos en masa (DesInventar, SGC), planos de redes de servicios públicos (EAAB, ETB, Gas Natural) e informes del IDIGER para los sectores de interés. También se incluye la revisión del POT Distrital (Decreto 555 de 2021) y sus instrumentos complementarios para el análisis de usos del suelo y clasificación de amenaza.

Fase 2 – Trabajo de Campo:

Recorridos de reconocimiento geológico-geomorfológico, inventario de movimientos en masa existentes y levantamiento topográfico de detalle. Ejecución del programa de exploración del subsuelo (apiques, sondeos mecánicos por percusión en suelo blando y duro, perforaciones en roca y coluvión, ensayos CPTu con piezocono) con toma de muestras inalteradas para ensayos de laboratorio. Registro fotográfico sistemático y documentación de las condiciones de cada sector.

Fase 3 – Ensayos de Laboratorio:

Ejecución de ensayos de clasificación y propiedades índice (granulometría, límites de Atterberg, humedad, peso unitario), resistencia al corte (triaxial CU y CD, corte directo), consolidación unidimensional y

permeabilidad, de acuerdo con las normas INV y ASTM aplicables. Los resultados alimentarán el modelo geotécnico del terreno.

Fase 4 – Análisis y Modelación:

Elaboración del modelo geotécnico del terreno, definición de perfiles representativos y parámetros geomecánicos de diseño. Ejecución de análisis de estabilidad de taludes en condición estática (FS ≥ 1.5), pseudoestática (FS ≥ 1.05) y con nivel freático (FS ≥ 1.3) mediante métodos de equilibrio límite (Bishop, Spencer, Morgenstern-Price) y software especializado. Análisis hidrológico e hidrogeológico de las cuencas de aporte.

Fase 5 – Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo:

Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en categorías alta, media y baja a escala 1:2000. Identificación de elementos expuestos (infraestructura, edificaciones, población, redes de servicios públicos) y análisis cuantitativo de la vulnerabilidad física. Determinación del nivel de riesgo mediante la combinación de amenaza y vulnerabilidad, con elaboración de mapas y escenarios de riesgo.

Fase 6 – Diseño de Medidas de Reducción del Riesgo y Elaboración de Entregables:

Formulación y diseño definitivo de medidas estructurales (obras de contención y estabilización, drenaje superficial y subterráneo, protección y bioingenieria) y no estructurales (plan de monitoreo e instrumentación, sistema de alerta temprana, restricciones de uso del suelo). Elaboración de memorias de cálculo, planos constructivos, especificaciones técnicas, cantidades de obra, presupuesto de inversión y programación de obras. Análisis de costo-beneficio de las medidas propuestas. Todo lo anterior conforme a los estándares técnicos del NSR-10, las normas INV y los lineamientos del IDIGER para Bogotá D.C.

2 INSUMOS BÁSICOS

2.1 CARTOGRAFÍA BASE Y TOPOGRAFÍA

2.1.1 INFORMACIÓN TÉCNICA Y METODOLOGÍA

2.1.1.1 Exploración en la zona de trabajo

Se realizó una primera visita de exploración y se definieron tanto los sitios para materialización y geoposicionamiento de los vértices GPS por estático, como el área a levantar por métodos topográficos convencionales. Se realizó la inspección de la zona para la ubicación de los vértices NP's pertenecientes a la Red Geodésica de Control Vertical del IGAC de la cual se irían a amarrar los circuitos de nivelación geométrica y se seleccionó el vértice L19-003-Z4 de la EAAB dado que en la zona no se encontraron puntos IGAC.

2.1.1.2 Georreferenciación

El El trabajo consistió en darle coordenadas por sistema GNSS a los vértices denominados GPS-1 y GPS-2 como base de salida (punto y su señal de azimut) ubicados el primero frente al talud sobre la Diagonal 75 B S y el GPS-2 en la esquina suroriental del parque de Sierra Morena aledaño sobre la misma diagonal en el anden de la intersección con la transversal 73H,. Los puntos GPS base fueron posicionados en estático mediante antenas de primer orden GPS HI Target V-200 Sistema GNSS, RTK de Doble Frecuencia, cumpliendo los parámetros de precisión y tiempos de rastreo por el IGAC exigidos.



Figura 5. Base puntos GNSS, GPS-1 y GPS-2.

El sistema de referencia del proyecto es:

Datum: MAGNA_Ciudad de Bogotá
Proyección: Transversa Mercator

Falso Este: 92334.879
Falso Norte: 109320.965
Latitude_Of_Origen: 4.680486111
Central Meridian: -74.146591666
Scale_Factor: 1.000399803
Linear_Unit: Meter (1.0)
Época de referencia: 2018.0

2.1.1.2.1 Amojonamiento

Para garantizar la perdurabilidad de la georreferenciación en el tiempo, se fundieron e incrustaron placas de aluminio embebidas en el concreto existente, debidamente marcadas para facilitar su identificación de la siguiente manera:



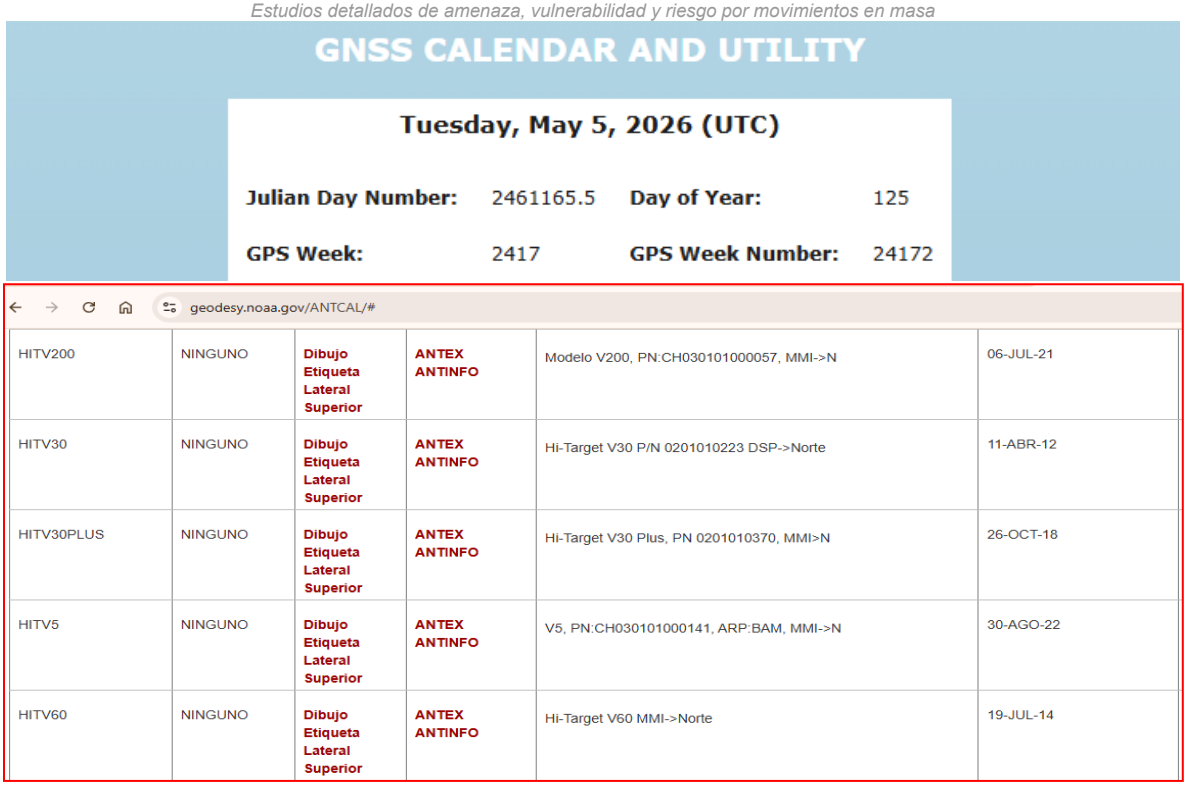
Figura 6. Posicionamiento puntos GPS-1 y GPS-2.
Fuente: elaboración propia.

2.1.1.2.2 Método de Posicionamiento GNSS Estático Relativo

La aplicación de esta metodología permite obtener precisiones de carácter geodésico sobre la superficie terrestre en la que se determinan posiciones de los puntos materializados en el proyecto con respecto a otro u otros puntos cuyas coordenadas rectangulares (X, Y, Z) son conocidas. Localizando los receptores GPS en cada uno de estos puntos que reciben las señales en tiempos simultáneos, permitiendo el registro de datos para que posteriormente se ejecute el cálculo por comparación de las pseudodistancias medidas y estimar así las coordenadas reales por observación.

2.1.1.2.3 Actividades de Campo

Para Para las actividades de georreferenciación el día 14 de abril de 2026 a las 9:45:57 am se posicionaron las antenas V-200 en los puntos GPS-1 con una duración de 2 horas 46 minutos 14 segundos y en el punto GPS-2 a las 9:24:15 pm con una duración de 3 horas 3 minutos 46 segundos. La distancia entre los dos puntos de la línea base es de 11.97 Kms a ABCC y a 12.15 kms de BOGA, cumpliendo con los tiempos de rastreo.



HITV200	NINGUNO	Dibujo Etiqueta Lateral Superior	ANTEX ANTINFO	Modelo V200, PN:CH030101000057, MMI->N	06-JUL-21
HITV30	NINGUNO	Dibujo Etiqueta Lateral Superior	ANTEX ANTINFO	Hi-Target V30 P/N 0201010223 DSP->Norte	11-ABR-12
HITV30PLUS	NINGUNO	Dibujo Etiqueta Lateral Superior	ANTEX ANTINFO	Hi-Target V30 Plus, PN 0201010370, MMI>N	26-OCT-18
HITV5	NINGUNO	Dibujo Etiqueta Lateral Superior	ANTEX ANTINFO	V5, PN:CH030101000141, ARP:BAM, MMI->N	30-AGO-22
HITV60	NINGUNO	Dibujo Etiqueta Lateral Superior	ANTEX ANTINFO	Hi-Target V60 MMI->Norte	19-JUL-14

Figura 7. Captura Inclusión se Antenas Hi Target página NOA.

El postproceso cumple con parámetros específicos para este tipo de trabajos como cálculo en coordenadas locales Ciudad Bogotá, época 2018.0, nivel de confianza del 95%, PDOP<4, RMS<2, precisión horizontal menor a 2.0 cms, longitud máxima para resolver ambigüedades, distancia entre puntos aproximada a 100 m, épocas de captura receptores 1 seg, cálculo por doble determinación, efemérides precisas IGS, el tiempo de rastreo para puntos estáticos debe cumplir con la formula:

$$T = 65 \text{ min} + (3 \text{ min } X (D-10)),$$

Donde T es tiempo de rastreo.
D es la distancia en kilómetros del punto a la estación permanente.

Tabla 4. Tiempos de rastreo estáticos.

TIEMPOS DE RASTREO					
GPS	DIRECCIÓN	TIEMPO RASTREO	TIEMPO DE RASTREO TEÓRICO		CUMPLE
			ABCC	BOGA	
GPS-1	Diag 75B S Transv 73L	1 h :52 m:24 s	1 h : 06 m: 00 s	1 h : 13 m: 00s	S I
GPS-2	Diag 75B S Transv 73H	1 h : 40 m:28 s	1 h : 06m: 00 s	1 h : 14 m: 00s	S I

Estas sesiones de GPS se realizaron controlando paulatinamente la buena recepción de satélites que en nuestro caso osciló de 15 satélites a más, por encima de las especificaciones de tiempos de rastreo en estático recomendadas.

2.1.1.2.4 Procesamiento de Datos GNSS

Como preparación para el proceso de los datos GNSS se debe contar con los siguientes archivos:

- Archivos rinex tanto de las antenas base estaciones continuas del IGAC y los archivos rinex de las antenas posicionados en los deltas que son antenas Hi Target V-200.
- Registros de los rastreos de las estaciones MAGNA_ECO de ABCC y BOGA de Bogotá que son suministrados por el IGAC, en la página Mapas de Colombia, Geodesia.
- Efemérides Precisas de IGS en la página de la NASA
- Coordenadas Geocéntricas X,Y,Z de las estaciones continuas MAGNA_ECO suministradas por SIRGAS-CON.
- El Marco de referencia para el procesamiento de los datos es IGS2008, que se obtiene de las soluciones de las coordenadas X, Y, Z.

La red SIRGAS-CON es procesada semanalmente: las posiciones de las estaciones son calculadas diariamente y las siete soluciones diarias correspondientes a una semana GPS son combinadas en una solución semanal.

Las soluciones individuales semanales generadas por los Centros de Procesamiento y las combinaciones semanales calculadas por los Centros de Combinación se encuentran disponibles en: ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/www (www = semana GPS).

Tabla 5. Coordenadas Geocéntricas (Cartesianas) SIRGAS-CON

Punto	X	Y	Z
BOGA	1744517.109	-6116050.903	512581.219
ABCC	1739437.966	-6117252.371	515065.185

Fuente: Página Soluciones Semanales Sirgas

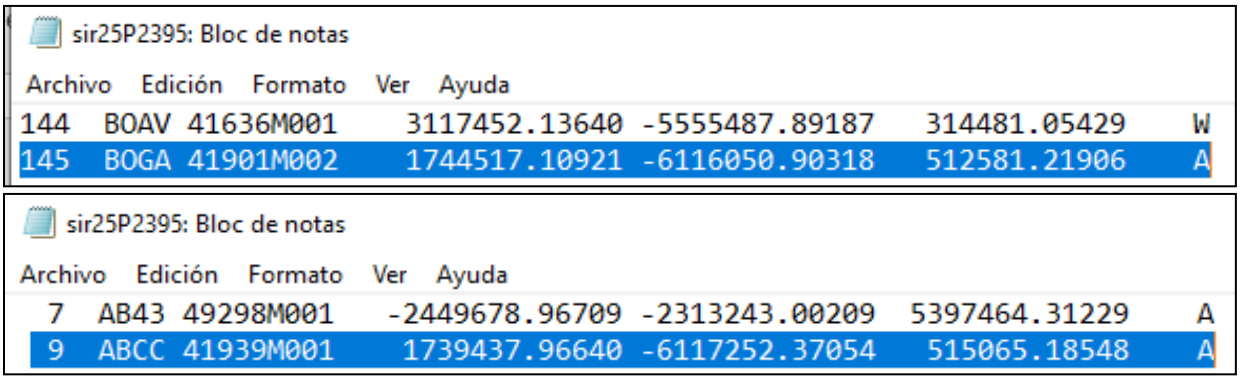


Figura 8. Captura Página Sirgas Coordenadas Semanales Antenas ABCC y BOGA.

2.1.1.2.5 Resultados del Cálculo GNSS

Se presentan tablas y estadísticas procedentes del software utilizado con información del postproceso, muestran un reporte de calidad proveniente del software de cálculo GNSS, se puede evidenciar que todos los puntos cumplen con la calidad esperada toda vez que están por debajo de los 3 cms en Posición y Altura, sin embargo, en cuanto altura se toma la cota geométrica producto de la nivelación de precisión. El cálculo de altura ortométrica con altura Elipsoidal, no se tiene en cuenta debido a que todos los puntos fueron nivelados con cota geométrica, en un circuito cerrado desde el punto certificado por la EAAB.

2.1.1.2.6 Esquemas de Determinación

Los vectores resultantes del posicionamiento GNSS entre ABCC, BOGA y nuestra base GPS-1, GPS-2 se muestra de manera general y detallada, en el siguiente esquema.

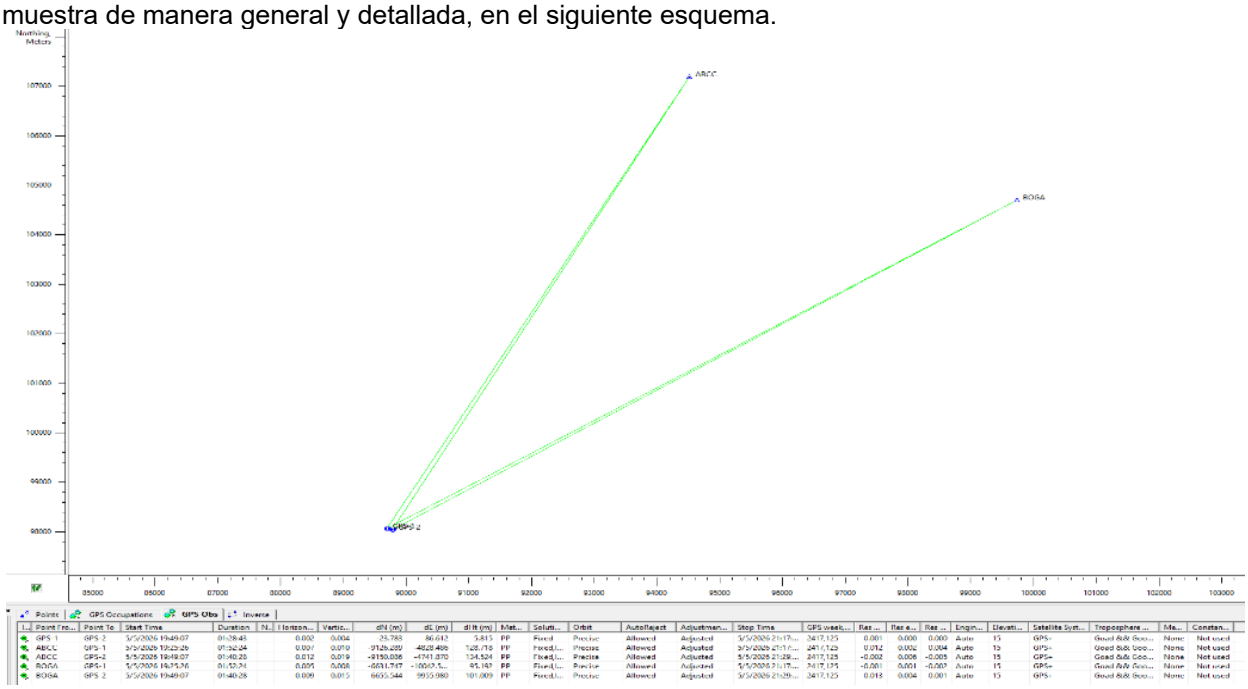


Figura 9. Esquema vectorial de posicionamiento.

2.1.1.2.7 Coordenadas Finales GNSS

Las coordenadas finales época actual resultado del cálculo efectuado en las observaciones simultáneas sobre los satélites observados son:

Tabla 6. Coordenadas Planas Cartesianas y Geográficas 05-05-2026

COORDENADAS EPOCA ACTUAL						
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)
ABCC	107191.448	94518.146	2550.494	4°39'40.44998"N	74°07'36.92014"W	2576.154
BOGA	104696.894	99732.254	2583.464	4°38'19.26152"N	74°04'47.81876"W	2609.673
GPS-1	98065.147	89689.658	2678.894	4°34'43.45992"N	74°10'13.51248"W	2704.867
GPS-2	98041.363	89776.271	2684.703	4°34'42.68604"N	74°10'10.70368"W	2710.682

Fuente: Postproceso

2.1.1.2.8 Cambio de Época

Las coordenadas deben llevarse a la época cartográfica actual 2018.0, para lo cual actualmente no se requiere cálculo de velocidades, para ello se usa el programa Magna Sirgas Pro 5.1. de la página del IGAC, solo requiere saber la fecha de posicionamiento y la fecha de la época cartográfica deseada, como se muestra aquí para GPS-1.

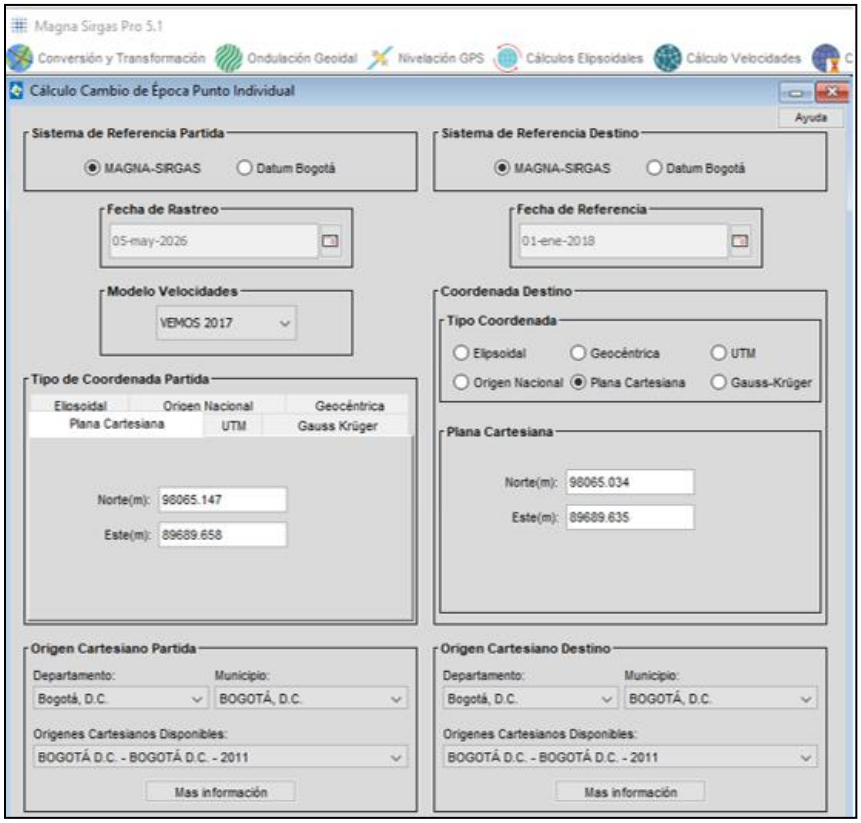


Figura 10. Cambio de época GPS-1.

2.1.1.2.9 Coordenadas Finales

Tabla 7. Coordenadas Planas Cartersianas y Geográficas 01 - 01 - 2018

COORDENADAS MAGNA CIUDAD DE BOGOTA – EPOCA 2018.0						
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)
GPS-1	98991.708	89008.203	2650.032	4°35'13.61274"N	74°10'35.61279"W	2675.866
GPS-2	98962.102	88896.527	2666.582	4°35'12.64914"N	74°10'39.23436"W	2692.414

Fuente: Postproceso

2.1.1.2.10 Reseña Fotográfica Posicionamiento



Figura 11. Posicionamiento GPS Bases.

2.1.1.2.11 Equipo Utilizado – Georreferenciación

En las bases tenemos equipos Hi Target V-200, que son equipos de alta precisión, con sistema GNSS RTK, robustos, livianos, rápidos, compatible con otros receptores, cuyas especificaciones técnicas son:

Especificaciones Técnicas

Características GNSS	Especificaciones	
Señales GNSS	Canales	800+
	GPS	L1 / L2 / L5 / L2C
	BDS	B1 / B2 / B3 / B1C / B2a
	GLONASS	L1 / L2 / L3
	Galileo	E1 / E5 AltBOC / E5a / E5b / E6
	SBAS	L1 / L5
	QZSS	L1 / L2 / L5 / L6
	IRNSS	L5
Rendimiento de Medición y Precisiones	Medición estática GNSS de alta precisión	**Horizontal:**2.5mm + 0.1ppm RMS | **Vertical:** 3.5mm + 0.4ppm RMS
	Estáticos y estáticos rápidos	**Horizontal:**2.5mm + 0.5ppm RMS | **Vertical:**5mm + 0.5ppm RMS
	Postproceso cinemático (PPK/ Stop & Go)	**Horizontal**: 8mm + 1ppm RMS | **Vertical**: 15mm + 1ppm RMS **Tiempo de inicialización**: Normalmente 10 minutos para la base y 5 minutos para el rover **Fiabilidad de la inicialización**: Normalmente >99.9%
	Código diferencial	**Horizontal**: ±0.25m+1ppm RMS **Vertical**: ±0.5m+1ppm RMS | **SBAS**: 0.5m (H), 0.85m (V)
	Tiempo real cinemático(RTK)	**Horizontal**: 8mm+1ppm RMS | **Vertical**: 15mm+1ppm RMS **Tiempo de inicialización**: Normalmente <10s **Fiabilidad de la inicialización**: Normalmente >99.9%
	Tiempo para alcanzar la primera solución fija	**Entre** 30s-45s | **Reconexión de señal:** < 2 s
	Hi-Fix	**Horizontal:** RTK+10mm / minuto RMS | **Vertical:** RTK+20mm / minuto RMS
	Medición de inclinación	2,5 cm de precisión bajo la circunstancia de una inclinación inferior a 30°
Comunicación	Comunicación	**Bluetooth:** 4.2 / 2.1+EDR, 2.4GHz **Wi-Fi:** Frecuencia 2.4GHz, admite 802.11a / b / g / n
	Radio UHF interno	**Frecuencia:** 410-470MHz | **Canales:** 116 (16 ajustable) **Potencia de transmisión:** 0.5W / 1W / 2W ajustable **Admite múltiples protocolos de comunicación:** HI-TARGET, TRIMTALK450S, TRIMMARK III, TRANSEOT, SATEL-3AS, etc.
Característica Física	Batería interna	Interno 7.4V / 6800mAh batería de litio recargable RTK Rover (Red) : 12 horas | **Estático:** hasta 15 horas
	Alimentación externa	**Consumo de energía:** 4.2W | **Dimensión (Ancho × Alto):** 132mm×67mm **Recargar:** Cargadores de smartphone estándar o bancos de energía externos. **Peso:** ≤0.8kg (batería incluida) **Almacenamiento de datos:** 8GB ROM almacenamiento interno
Panel de Control	LEDs	LEDs de estado información de satélite/ señal/ batería
	Botón físico	1
Ambiente	Protección contra agua y polvo	IP67
	Choque y vibración	Soporta una caída natural de 2m sobre el concreto
	Humedad	100%, libre de condensación
	Temperatura de operación	-30℃~+70℃
	Temperatura de almacenamiento	-40℃~+80℃
Interfaz de I/O	1 × USB puerto, Type C	
	1 × SMA antena conector	
Formato de Datos	Tasa de actualización	1Hz-20Hz.
	Formato de datos estáticos	GNS, Rinex
	Modelo de red	VRS, FKP, MAC; soporta NTRIP protocolo
	CMR& RTCM	CMR, RTCM 2.x, RTCM 3.0, RTCM 3.2
	Salida de ASCII	NMEA-0183

Figura 12. Especificaciones Antenas GPS Hi Target V-200.

Fuente: elaboración propia.

2.1.1.3 Nivelación geométrica

2.1.1.3.1 Metodología

La determinación de alturas se realizó por etapas mediante mediciones de desniveles utilizando un nivel electrónico Leica DNA10 observando incrementos o disminuciones parciales de altitud por el método BF (vista atrás - vista adelante) de forma continua en ida y regreso, controlando el posible error cambio a

cambio y cumplir con la precisión según IDU de 8mm √ K y según EAAB de 8mm √ K, siendo K la distancia de la sección medida en kilómetros.

Una vez explorada la zona se encontró que el punto más cercano con cota certificada corresponde a un punto de la EAAB denominado L12-002-Z3 ubicado en la Calle 6 con Carrera 5 cuyas coordenadas y altura m.s.n.m. se muestran en la siguiente gráfica y se procede con las mediciones que sirven de amarre al Datum vertical oficial del país, midiendo los vértices (Incrustaciones) de la red geodésica y los deltas de la poligonal en circuitos diferentes.



Figura 13. Punto de amarre vertical.
Fuente: Geoportal EAAB

Para el traslado de cota ¨Nivelación¨ dada la distancia del punto al sitio del proyecto se efectuó la nivelación en dos (2) circuitos, en diferentes fechas, inicialmente del punto L19-003-Z4 sobre la Transversal 60 al punto denominado GPS-1 en un circuito cerrado de 945 m, ubicado en la intersección de la transversal 73I con transversal 73B, el segundo circuito desde dicha intersección hasta el GPS-1 del proyecto y un tercer circuito partiendo de GPS-1 recorriendo D-1, D-2, D-3, D-4, D-4A, D-5 y GPS-1.



CIRCUITO-1 **CIRCUITO-2**

Figura 14. Circuitos de Nivelación.

Se efectuó nivelación geométrica topográfica de primer orden con un error aceptado según ecuación, e=n√k, donde e es el error de cierre permisible o tolerancia entre la ida y el regreso (nivelación y contra nivelación), n es igual a 1 mm según EAAB y 8mm según IDU y k la distancia nivelada en kilómetros.

Para el procedimiento en campo se utilizó el método de nivelación geométrica sencilla controlada, vista adelante y vista atrás. Las lecturas fueron realizadas de forma equidistante es decir con armada instrumental en un punto medio con el fin de evitar descompensación del peso de las mediciones. Para evitar errores sistemáticos en el giro de las miras durante el avance, se utilizó nivel de burbuja manual y trípode para garantizar la verticalidad de las miras en cada lectura.

Adicionalmente se realizó a partir de GPS-1 la nivelación de la rasante de los pozos del costado norte o de la parte baja del proyecto:

Los datos levantados fueron consignados en cartera electrónica en el sentido de ida y de regreso. Estos datos fueron procesados en Excel donde internamente el equipo programa una hoja de cálculo para verificación del error de cierre y ajuste. (Ver carpeta de archivos de nivelación). Las siguientes imágenes describen el recorrido para el traslado de cota y el circuito de la manzana del proyecto Buenos Aires, los datos tomados y cierres están en los anexos y cuadros de Excel respectivos:

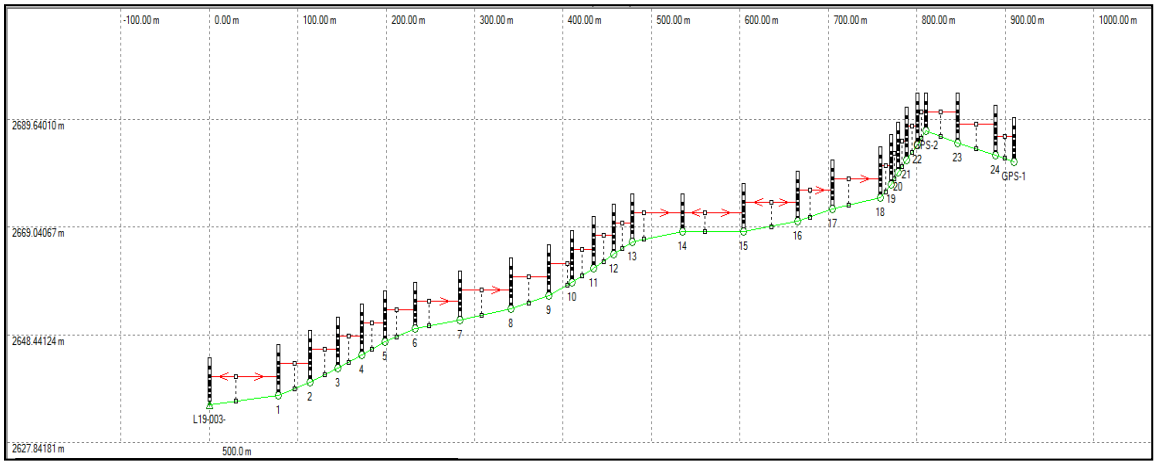


Figura 15. Nivelación de LZ19-003-Z4 a GPS-1.

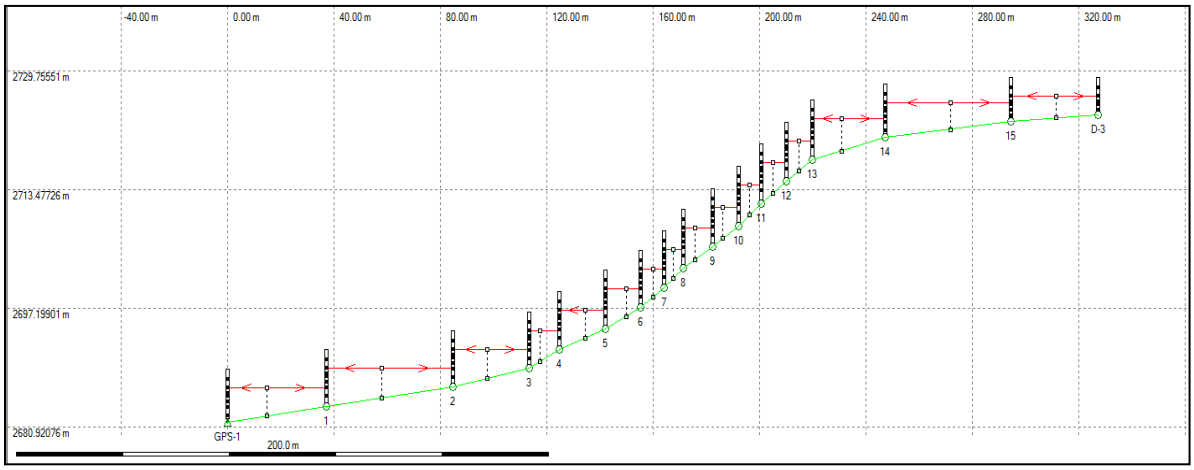


Figura 16. Nivelación Circuito GPS-1.

Los dos (2) circuitos de nivelación cumplen a satisfacción la tolerancia requerida con cierres por debajo de 1.0 mm/km, las cotas de todos los deltas de la poligonal son:

Tabla 8. Cotas geométricas Deltas Levantamiento.

RESUMEN GENERAL DE COTAS DELTAS LEVANTAMIENTO	
PUNTO	**COTA**
GPS-1	2681.5526
GPS-2	2687.4031
DEL-2	2723.6976

NIVELACIÓN GPS-1 a D-2
POR TRAMOS DE KILÓMETRO

GPS-1						2681.5526
GPS-1		2.3007			2683.8533	14.77
	1			0.1385		22.3
	1					2683.715
	1	2.8032			2686.5180	20.79
	2			0.0787		27
	2					2686.4393
	2	2.6897			2689.1290	12.72
	3			0.2260		15.92
	3					2688.9030
	3	2.9916			2691.8946	3.89
	4			0.4310		7.24
	4					2691.4636
	4	2.9692			2694.4328	9.77
	5			0.0750		7.76
	5					2694.3578
	5	2.9272			2697.2850	7.67
	6			0.0605		5.52
	6					2697.2245
	6	2.9442			2700.1687	4.72
	7			0.1666		4.17
	7					2700.0021
	7	2.8102			2702.8123	3.43
	8			0.1872		3.53
	8					2702.6251
	8	3.0551			2705.6802	4.63
	9			0.0828		6.50
	9					2705.5974
	9	2.9757			2708.5731	3.92
	10			0.0807		6.01
	10					2708.4924
	10	3.1616			2711.6540	4.06
	11			0.1499		4.37
	11					2711.5041
	11	3.1322			2714.6363	4.29
	12			0.0685		5.17
	12					2714.5678
	12	2.9967			2717.5645	4.78
	13			0.0727		4.77
	13					2717.4918
	13	3.2017			2720.6935	11.12
	14			0.1268		16.32
	14					2720.5667
	14	3.1088			2723.6755	24.62
	15			0.9328		22.72
	15					2722.7427
	15	2.0152			2724.7579	46.84
D-3				1.0603		38.09
D-3						2723.6976

Figura 17. Circuito GPS-1.

NIVELACIÓN L19-003 a GPS-1
POR TRAMOS DE KILÓMETRO

L19-003						2635.0650
L19-003	1.9550			2637.0200	29.75	
1			0.1122		47.92	
1						2636.908
1	2.5942			2639.5020	18.91	
2			0.2050		17.51	
2						2639.2970
2	2.9243			2642.2213	16.6	
3			0.2046		14.53	
3						2642.0167
3	2.7083			2644.7250	12.04	
4			0.0853		15.36	
4						2644.6397
4	2.5675			2647.2072	11.17	
5			0.1500		14.77	
5						2647.0572
5	2.6548			2649.7120	13.18	
6			0.1127		21.2	
6						2649.5993
6	2.0379			2651.6372	15.6	
7			0.2862		35.07	
7						2651.3510
7	2.2181			2653.5691	23.88	
8			0.2233		35.07	
8						2653.3458
8	2.7817			2656.1275	20.37	
9			0.1979		22.78	
9						2655.9296
9	2.5409			2658.4705	20.87	
10			0.0440		5.05	
10						2658.4266
10	2.9276			2661.3542	11.35	
11			0.1287		13.28	
11						2661.2255
11	2.7328			2663.9583	10.87	
12			0.1753		11.31	
12						2663.7830
12	2.7454			2666.5284	10.06	
13			0.2571		11.31	
13						2666.2713
13	2.2769			2668.5482	13.20	
14			0.3808		43.76	
14						2668.1674
14	2.2223			2670.3897	25.52	
15			2.2684		43.53	
15						2668.1213
15	2.0487			2670.1700	30.79	
16			0.0841		29.89	
16						2670.0859
16	2.4597			2672.5456	14.25	
17			0.0813		25.21	
17						2672.4643
17	2.3663			2674.8306	18.80	
18			0.2359		35.83	
18						2674.5947
18	2.8761			2677.4708	5.51	
19			0.3227		6.08	
19						2677.1481
19	2.5425			2679.6906	3.88	
20			0.1384		4.55	
20						2679.5522
20	2.6905			2682.2427	4.52	
21			0.2993		5.27	
21						2681.9434
21	2.8573			2684.8007	5.37	
22			0.0389		6.15	
22						2684.7618
22	2.8136			2687.5754	5.01	
GPS-2			0.1723		5.08	
GPS-2						2687.4031
GPS-2	0.3286			2687.7317	16.74	
23			2.5688		19.22	
23						2685.1629
23	0.0304			2685.1933	20.40	
24			2.4706		22.52	
24						2682.7227
24	0.9208			2683.6435	13.40	
GPS-1			2.0909		19.48	
GPS-1						2681.5526

Figura 18. Ejemplo Cartera Formulada en Excel.

2.1.1.3.2 Reseña Fotográfica Nivelación



Figura 19. Actividades de Nivelación.

2.1.1.3.3 Equipo utilizado

Nivel electrónico Leica DNA-10, cuyas especificaciones se adjuntan a continuación.,

Tabla 9. Especificaciones Nivel Electrónico Leica DNA10.

Datos técnicos	LEICA DNA03	LEICA DNA10
Campo de aplicación	– Medición sencilla de alturas, diferencias de nivel y replanteo de cotas	– Medición sencilla de alturas, diferencias de nivel y replanteo de cotas
	– Nivelaciones de 1°. y 2°. orden	– Nivelaciones para topo-grafía catastral
	– Mediciones de gran precisión	– Mediciones de precisión
Precisión	Desviación típica en 1km de nivelación doble (ISO 17123-2)	
Medición electrónica:		
con mira ínvar	0.3 mm	0.9 mm
con mira estándar	1.0 mm	1.5 mm
Medición óptica	2.0 mm	2.0 mm
Desviación típica de medición de distancia	(electr.) 1 cm/20 m (500 ppm)	
Alcance		
Medición electrónica	1.8 m – 110 m	
Medición óptica	a partir de 0.6m	
Medición electrónica		
Resolución en medición de altura	0.01 mm, 0.0001 ft, 0.0005 inch	0.1 mm, 0.001 ft
Duración de una medida suelta	típ. 3 segundos	
Modos de medición	Medición suelta, Media, Mediana, Mediciones repetidas	
Programas de medición	Medir y Registrar, Altura de mira/Distancia, puntos EF, aEF, EFFE, aEFFE intermedios, compensación, cálculo de cierres, replanteo	
Codificación	Descripción, Código libre, Código rápido	
Registro de datos		
Memoria interna	6000 mediciones o 1650 estaciones (EF)	
Aseguramiento de los datos	Tarjeta PCMCIA (ATA-Flash/SRAM/CF)	
Funcionamiento en línea	Formato GSI vía RS232	
Intercambio de datos con memoria interna	GSI8/GSI16/XML/formatos flexibles	
Aumento del anteojo	24x	
Compensador		
Tipo	De péndulo con amortiguación magnética	
Margen de inclinación	±10'	
Precisión de estabilización (desviación típica)	0.3"	0.8"
Pantalla	LCD, de 8 líneas de 24 caracteres	
Funcionamiento con baterías		
GEB111	12 h de duración en funcionamiento	
GEB121	24 h de duración en funcionamiento	
Adaptador GAD39 para pilas	Pilas alcalinas, 6x LR6/AA/AM3, 1.5V	
Peso	2.8 kg (incl. batería GEB111)	
Condiciones ambientales		
Temperatura en servicio	–20° C à +50° C	
Temperatura en almacén	–40° C à +70° C	
Polvo/agua (IEC60529)	IP53	
Humedad	95%, sin condensación	

2.1.1.4 Levantamiento topográfico

El levantamiento de detalles se hizo por método convencional, estación total y prismas, por radiación directa desde la base medida GPS-1, GPS-2, y n par de auxiliares controladas desde GPS-1 en directa-inversa, distancia adelante atrás a D-1A y D-1B para tomar parte de la pata y corona del talud.

2.1.1.4.1 Personal

Tabla 10. Personal Profesional Topografía

Cargo	Nombre	Cédula	Título	Matrícula profesional
Ingeniero	Rodrigo Antonio Villabona	79.306.695 de Bogotá	Ingeniero Catastral y Geodesta	25222-099224 CND
Topógrafo	Juan David Quiroga Pineda	1000.470.361 de Bogotá	Topógrafo	01-21543

2.1.1.4.2 Poligonal

No fue necesario adelantar poligonal alguna dado que GPS-1 está frente al talud y la mayoría de puntos se radiaron de dicha base, basto 2 auxiliares para radiar algunos puntos de detalle del mismo.

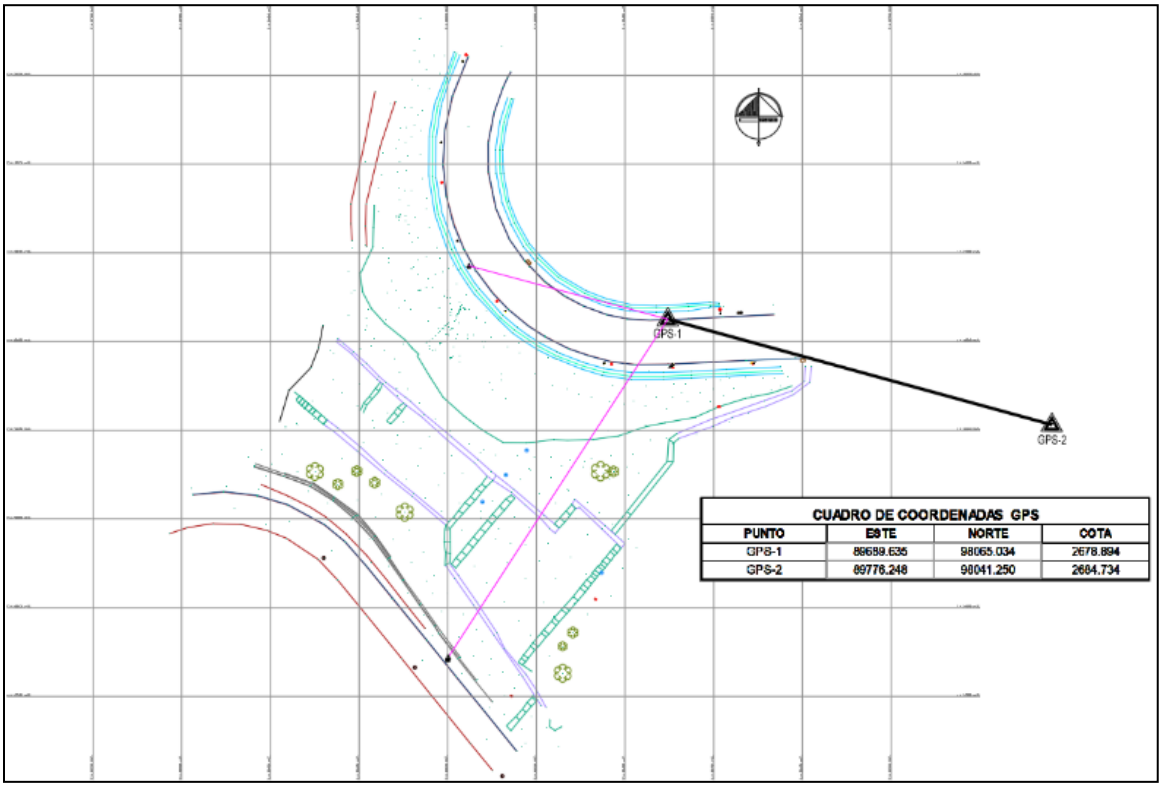


Figura 20. Esquema Poligonal y Coordenadas Finales.

2.1.1.4.3 Levantamiento de Detalles

Se tomaron un total de 3366 puntos a partir de los deltas colocados, en los deltas de las poligonales las precisiones obtenidas son de 1:62738 lo que equivale a 1 cm en 627 m, en radiaciones directas según

especificaciones del equipo se presume un error de 1.0 cm y en auxiliares de 2.0 a 3.0 cms. Se radiaron todos los detalles correspondientes a las zonas involucradas en el proyecto como: talud, vías, linderos, paramentos, construcciones, senderos, zonas duras, materas, árboles, redes de servicios, urbanismo en general y demás detalles existentes requeridos para representar de forma veraz las superficies del terreno y la zona de influencia del mismo. Para ello se partió de cada uno de los deltas de la poligonal y de las auxiliares debidamente ajustados y calculados, con posiciones X, Y y alturas niveladas geométricamente siempre por ceros atrás y se presentan los respectivos cálculos en formato Excel, todo el plano y puntos radiados se llevaron a los nuevos valores de coordenadas 2018.0. De estas radiaciones se genera la siguiente nube de puntos, que permiten realizar un plano en 3D de la zona.

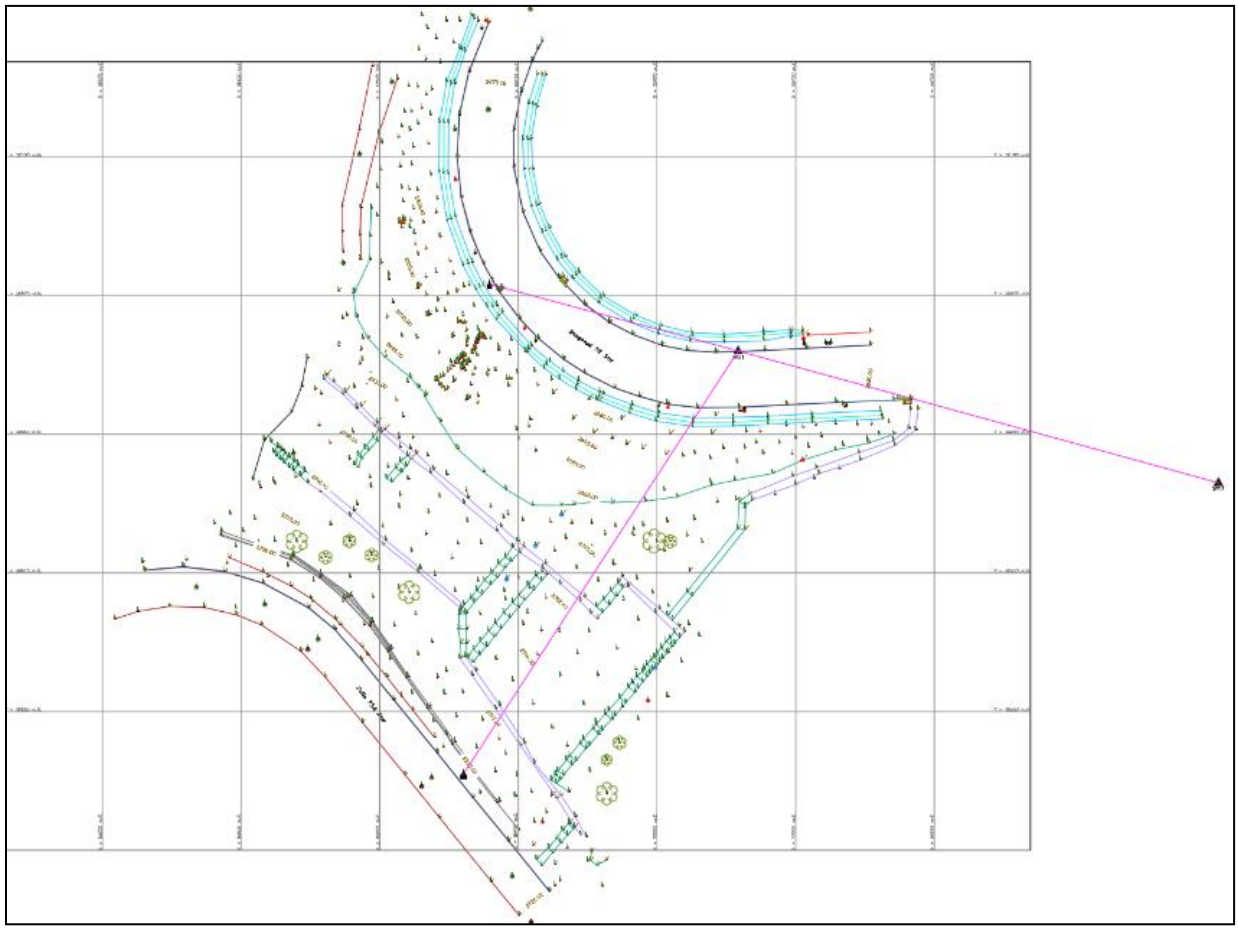


Figura 21. Nube de puntos Levantamiento.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE

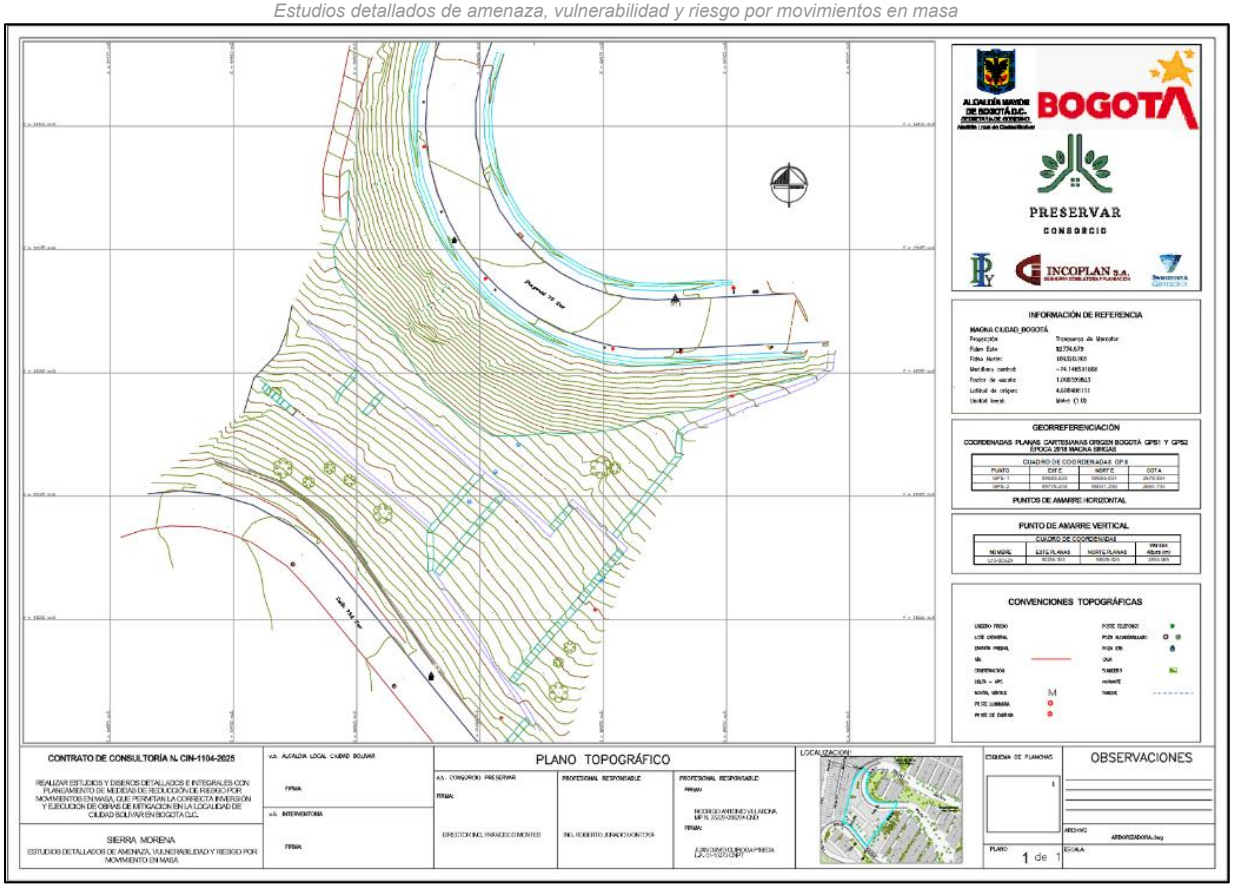


Figura 22. Plano Topográfico.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE

2.1.1.4.4 Reseña Fotográfica Levantamiento Topográfico



Figura 23. Levantamiento de Detalles con Estación Total (Serie 1)



Figura 24. Levantamiento de Detalles con Estación Total.

2.1.1.4.5 Levantamiento topográfico con estación total – Leica TCR702

Tabla 11. Especificaciones Estación Total.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EQUIPOS PARA LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

- **Estación Total Leica TCR 702**

Datos técnicos	
Medida de ángulos	
Desviación típica DIN 18723	2"(0.6mgon)
Unidad mínima en pantalla	1"(0.1mgon)
Anteojo	
Aumento	30x
Campo visual/Distancia de enfoque mínima	1° 30' (26m a 1km)/1.7m
Medida de distancias (IR)	láser infrarrojo
Alcance con diana reflectante (60mm x 60mm)	250m
Unidad mínima en pantalla	1mm
Desviación típica/Tiempo para una medición (IR)	láser infrarrojo
Modo Preciso	2mm + 2ppm/< 1 seg.
Modo Rápido	5mm + 2ppm/< 0.5 seg.
Medida de distancias sin reflector (RL)	láser rojo
Alcance	170m (tablilla blanca, según Gray Card de Kodak)
Tamaño del punto a 100m	ca. 15mm x 30mm
Desviación típica/Tiempo para una medición (RL)	láser rojo
Modo Normal	3mm + 2ppm/3s (+1s/10m más de 30m)
Modo Tracking	5mm + 2ppm/1s (+ 0.3s/10m)
Medida de distancias (RL)	láser rojo
Alcance con prisma circular GPR1 (Leica)	1000m–7500m (condiciones medias)
Reconocimiento automático del prisma (ATR)	
Alcance con prisma circular, reflector 360°	1000m/600m
Precisión (Desviación típica)	a 300m: 3mm, > 300m: 2", 3", 5" (Typ)

2.1.1.5 Catastro de redes

Se hizo el levantamiento de toda la red pluvial y sanitaria de la zona y la nivelación geométrica a nivel de rasante de los pozos al costado norte, al lado y abajo del talud en estudio

2.1.2 LEVANTAMIENTO DE DATOS Y CARTOGRAFÍA

La cartografía se produjo a partir de los levantamientos topográficos en 3D, que nos determina la forma real topográfica de todos los elementos existentes en la zona en estudio mediante el uso de poligonales cerradas y la radiación directa de detalles. Se lleva la nube de puntos y las polilíneas en 3D a civil para generar los breaklines , las curvas de nivel respectivas y obtener el DEM del proyecto. La cartografía se elaboró con polilíneas en 3D y utilizando todos los bloques correspondientes a pozos, postería, árboles, deltas, etc., de tal manera que sirva de base para realizar cualquier diseño u obra civil correspondiente. Se anexan los reportes de cálculo de GPS, los rinex tanto de las bases como de los puntos posicionados, los crudos, las carteras topográficas y el reporte de postproceso de la Ortofoto, que nos permite visualizar la calidad y procesamiento de los puntos que dan origen a la cartografía que se presenta.

2.1.3 DATOS OBTENIDOS POR CADA PRODUCTO Y SUBPRODUCTO

- Los resultados en coordenadas ajustadas a partir de la Georreferenciación permiten afirmar que la calidad de los puntos de la red geodésica, tienen una precisión promedio menor de 0.02 m en posición y en amarre a cota geométrica de 0.0005 m en altura.

- Las coordenadas finales ajustadas nos arrojan valores en (X, Y) por debajo de 1.00 cm y en Z de 3.0 cms, cosa que no trasciende al cálculo ya que la altura adoptada es la geométrica.

- Se realizó desde una base medida y 2 deltas auxiliares que cubren con generosidad el área de diseño, cumpliendo con las tolerancias exigidas en la componente angular y con cierres en la componente lineal superiores a 1:40000, los ángulos y distancias utilizados para el cálculo de las poligonales, fueron los promedios entre las lecturas directas e inversas.

- Se realizaron 2 circuitos de nivelación, partiendo inicialmente del punto L19-003-Z4 y luego trasladando la cota al proyecto al BM GPS-23A, todos los circuitos cumplieron a satisfacción la tolerancia exigida con la siguiente formula $e=n\sqrt{k}$. Donde e es el error de cierre permisible o tolerancia entre la ida y el regreso (nivelación y contra nivelación), n es igual a 1 mm y k la distancia nivelada en kilómetros.

- Los circuitos de nivelación y contra nivelación correspondientes a la red geodésica cumplen con los errores por debajo de 0.001 m por Km.

- Se materializaron e incrustaron dos placas para cada uno de los GPS sobre zonas duras con su respectiva placa descriptiva en aluminio de 7.5 cms diámetro.

2.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

2.2.1 METODOLOGÍA

En este numeral se describe la metodología empleada y las etapas de desarrollo correspondientes para la elaboración de los estudios y diseños del proyecto del sector de referencia.

La metodología general adoptada para el desarrollo del presente estudio (geología y geomorfología del sector) se fundamenta en los Términos de Referencia establecidos en la Resolución No. 111 del 10 de mayo de 2022 del IDIGER, y en los documentos de metodológicos temáticos de aplicación de la geología/geomorfología a la Ingeniería elaborados por el SGC (Servicio Geológico Colombiano).

La metodología establece el enfoque técnico y los procedimientos adoptados para garantizar el cumplimiento de los objetivos propuestos, incluyendo la recopilación de información, el análisis de datos, la realización de trabajos de campo y consideraciones sobre las soluciones planteadas.
La metodología empleada para la elaboración del estudio geológico y geomorfológico del corredor en estudio, se basó en la recopilación, revisión y evaluación de la información temática de referencia existente, (topográfica, geológica, geomorfológica y de amenazas, fotointerpretación de aerofotografías y de imágenes satelitales), Ortofotos y los datos obtenidos en la visita técnica a la zona del trazado, descripción de las exploraciones del subsuelo, elaboración de la cartografía y generación del informe final del área de estudio, para las cuales comprenden las siguientes fases:

Fase 1 – Recopilación, Análisis y condensación de Información Secundaria:

Comprende la recopilación, evaluación, análisis y condensación de la información temática básica correspondiente a:

- **Recopilación de la información temática básica.**

- La cartografía base del IDECA e IGAC. Igualmente, todo lo relacionado con fotografías aéreas del área de ubicación del sector en estudio y sectores aledaños, además de lo relacionado con imágenes de sensores remotos.
- Información temática (geológica, geomorfológica y de movimientos en masa), disponible tanto en el SGC (Servicio Geológico Colombiano), al igual de la que la se pueda disponer en otras entidades como en las oficinas de Planeación Municipal, Universidades, y Corporaciones Regionales entre otras, (donde se incluye la, geología regional, geología y geomorfología para ingeniería, geología de detalle, metodologías de análisis, y caracterización de los materiales geológicos, entre otros).
- Información climatológica e hidrológica del IDEAM.
- Informes del IDIGER para los sectores de interés. También se incluye la revisión del POT Distrital (Decreto 555 de 2021) y sus instrumentos complementarios para el análisis de usos del suelo y clasificación de amenaza.

En la siguiente tabla se especifican las principales fuentes de información y productos a consultar para el acopio y análisis de la información.

Tabla 12. Fuentes de información secundaria.

PRODUCTO / INFORMACIÓN	ENTIDAD / AUTOR / SISTEMA DE INFORMACIÓN
IGAC- Cartografía básica del IGAC (a las distintas escalas disponibles)	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
• Planchas topográficas. Plancha 246-II-B; Escala 1: 25.000. • Fotografías aéreas del sector en estudio. Aerofotografías entre las décadas 1980 a 2010. Fotografías tomadas en la región entre los años 1987 y 2004, a diferentes escalas.	IGAC
Imágenes Satelitales	Google Earth, Landsat, Sentinel, Planet Scope
Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR 12x12	Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center
Requerimientos técnicos estudios Fase III - Estudio de geología y geomorfología local. (septiembre de 2023).	Instituto Nacional de Vías (INVIAS).
(SGC)-Cartografía Geológica y Geomorfológica. (Planchas 1:100.000 regionales o a mayor escala según disponibilidad del Motor de Integración de Información Geocientífica – MIIG y el visor geográfico del Estado de la Cartografía Geológica). • MAPA GEOLÓGICO PARA INGENIERÍA SABANA DE BOGOTÁ, Plancha 246-II-B, INGEOMINAS, Bogotá, 2004. • ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ Volumen I, “CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ, INGEOMINAS, Bogotá, 2004. • Mapa geológico Sabana de Bogotá, INGEOMINAS; esc. 1: 100.000, Bogotá, 2005. • Geología de la Sabana de Bogotá, memoria temática, INGEOMINAS, Bogotá, 2005. • Mapa geomorfológico para ingeniería Sabana de Bogotá; Plancha Geomorfológica 246-II-B, INGEOMINAS, Bogotá, 2004.	Servicio Geológico Colombiano (SGC) (antiguo INGEOMINAS).

PRODUCTO / INFORMACIÓN	ENTIDAD / AUTOR / SISTEMA DE INFORMACIÓN
Datos Abiertos del Servicio Geológico Colombiano (Información de Geociencias Básicas, Geoamenazas, Hidrogeología, entre otros). • SGC (Servicio Geológico Colombiano). (2017). Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por movimientos en masa escala 1: 25. 000. (Julio de 2017). • SGC (Servicio geológico colombiano). (2017). Anexo 3.2.2. Unidades Geológicas Superficiales (UGS). • INGEOMINAS. Proyecto Compilación y Levantamiento de la Información Geomecánica. Propuesta metodológica para el desarrollo de la Cartografía Geológica para Ingeniería; Volumen II. (diciembre 2004). • Carvajal Perico, J. H. (Ed.). (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Libros del Servicio Geológico Colombiano.	Servicio Geológico Colombiano (SGC).
Reportes e información de licencias	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)
Visor geográfico (capas geográficas de la ANM, y realización de consultas geográficas, mediciones y análisis básicos, así como su exportación de la información disponible)	Agencia Nacional de Minería (ANM)
Información climatológica e hidrológica del IDEAM,	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
Registros históricos de movimientos en masa.	(DesInventar, SGC)
También se incluye la revisión del POT Distrital (Decreto 555 de 2021) y sus instrumentos complementarios para el análisis de usos del suelo y clasificación de amenaza.	
Cartografía e Insumos Básicos Geológicos, Geomorfológicos y Geotécnicos (IDIGER/FOPAE/INGEOCIM). Conceptos y Diagnósticos Técnicos Institucionales (DPAE / FOPAE / IDIGER). -Estudios temáticos en diferentes sitios de Ciudad Bolivar	DPAE- FOPAE -IDIGER – IDECA-INGEOCIM- - Ingeniería y Georiesgos.
Revisión del POT Distrital (Decreto 555 de 2021) y sus instrumentos complementarios para el análisis de usos del suelo y clasificación de amenaza.	ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis y condensación de Información Secundaria obtenida (temática básica).**

A la información obtenida en la fase de recopilación, se le realizo un análisis y condensación de los elementos de utilidad para su aplicación temática dentro del proyecto para lo cual se realizó un análisis de las fuentes de información (secundaria) o estudios de referencia disponibles para el desarrollo del proyecto, para lo cual se acompaña con un muy corto resumen, al igual que las guías metodológicas de utilidad. Para lo cual se tienen las siguientes fuentes:

- **Fotointerpretación y tratamiento de imágenes de satélite (geomática).**

Corresponde a una etapa inicial del análisis, que permite identificar las zonas de interés dentro del corredor en estudio y sus características temáticas generales para ser corroboradas en campo. Para esta actividad se seleccionaron fotografías aéreas de diferentes épocas y escalas, y comprendidas entre las décadas

1980 a 2010, para lo cual se seleccionaron los años, 1987, y 2004, a diferentes escalas, para lo cual se abarca un período total de 39 años (1987-2026).

- La actividad fotogeológica fue complementada con la información de las actividades de campo y con el análisis de las imágenes de sensores remotos disponibles, con el objetivo de obtener un análisis multitemporal de utilidad del área de estudio.
- De la fotointerpretación se obtuvo igualmente, el análisis multitemporal del área de estudio con el fin de allegar información sobre la evolución los aspectos morfológicos de los terrenos y los procesos morfodinámicos.
- Igualmente, se elaboraron los mapas temáticos preliminares (geológicos y geomorfológicos, y figuras en calcos de las aerofotografías) a las escalas generales o/semidetalle, resultantes de la actividad de recolección de la información secundaria y de la fotointerpretación del área, con la definición de la cartografía de las unidades geológicas, geomorfológicas y procesos morfodinámicos encontrados, como elementos básicos para las actividades de reconocimiento de campo y toma de información de detalle correspondiente y su definición de los mapas temáticos respectivos.

Es de anotar, que de acuerdo con la información de referencia (secundaria), los sitios de estudio presentan características geológicas y geomorfológicas similares, con pequeños cambios en las condiciones locales.

2.2.2 ANTECEDENTES

Dentro de los elementos importantes para el estudio del proyecto de la referencia, se tiene el proceso de recopilación de la información básica necesaria para definir las condiciones geológicas-geomorfológicas, Para el desarrollo del estudio de las temáticas de geología y geomorfología se utilizará como fuentes de información secundaria la siguiente:

1- REQUERIMIENTOS TÉCNICOS ESTUDIOS FASE III - INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS). ESTUDIO DE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL. Septiembre de 2023 (Ref. 1). En este documento se presenta las condiciones técnicas requeridas para los estudios de las vías nacionales y especial la referida en el presente proyecto.
2- MAPA GEOLÓGICO PARA INGENIERÍA SABANA DE BOGOTÁ, Plancha 246-II-B, Volumen II, INGEOMINAS, Bogotá, 2004 (Ref. 2).
3- ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA SABANA DE BOGOTÁ Volumen I, “CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ, INGEOMINAS, Bogotá, 2004 (Ref. 3).
4- Mapa geológico Sabana de Bogotá, INGEOMINAS; esc. 1: 100.000, Bogotá, 2005 (Ref.4).
5- Geología de la Sabana de Bogotá, memoria temática, INGEOMINAS, Bogotá, 2005 (Ref.5).
6- Mapa geomorfológico para ingeniería Sabana de Bogotá; Plancha Geomorfológica 246-II-B, INGEOMINAS, Bogotá, 2004(Ref. 6).
7- INGEOMINAS (SGC) MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE LA SABANA DE BOGOTÁ. Subdirección de Recursos del subsuelo, Grupo de Aguas Subterráneas; Bogotá D.C., Julio 2002 (Ref. 7).
8- SGC (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO). (2017). GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1: 25.000, (SGC, BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2017) (Ref. 8). En este documento se presenta los elementos metodológicos guías para la elaboración de los mapas temáticos en los estudios de zonificación de amenazas por movimientos de remoción en masa.
9- SGC (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO). (2017). ANEXO 3.2.2. UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS) (Ref.9). Descripción en Campo de Suelos y Rocas para la Elaboración de Mapas de Unidades Geológicas Superficiales escala 1: 25.000. DIRECCIÓN DE GEOAMENAZAS, GRUPO DE EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA, BOGOTÁ D.C., julio de 2017 (Ref. 8). Documento Metodológico en el que se presenta en forma ordenada la descripción en campo de los materiales rocosos (suelos y rocas) para el

desarrollo de los aspectos geológicos en la elaboración de mapas temáticos para su aplicación en los trabajos de la Ingeniería.

10- IGAC, Aerofotografías entre las décadas 1980 a 2010 (Ref. 10). Fotografías tomadas en la región entre los años 1984 y 2004, a diferentes escalas, las cuales muestran las condiciones de superficie de los terrenos, con sus elementos temáticos, morfológicos, geológicos y morfodinámicos entre otros, del área en estudio y sus alrededores.

Fase 2 – Trabajo de Campo:

Recorridos de reconocimiento geológico-geomorfológico, inventario de movimientos en masa existentes y levantamiento topográfico de detalle. Ejecución del programa de exploración del subsuelo (apiques, sondeos mecánicos por percusión en suelo blando y duro, perforaciones en roca y coluvión, ensayos CPTu con piezocono) con toma de muestras inalteradas para ensayos de laboratorio. Registro fotográfico sistemático y documentación de las condiciones de cada sector.

- **Reconocimiento y/o verificación de campo.**

Esta es una actividad requerida para la identificación y el levantamiento cartográfico de detalle de todos los elementos temáticos (geológicos, geomorfológicos y procesos morfodinámicos), para la caracterización y los análisis de las condiciones de los materiales geológicos (rocas y suelos), de sus elementos estructurales, su definición y la clasificación de las unidades geológicas para ingeniería (UGI), y subunidades/elementos geomorfológicos (UG) respectivos, presentes en la zona del corredor en estudio, para su posterior procesamiento y análisis temático correspondiente. Igualmente, para la clasificación de zonas geológicamente homogéneas o unidades de terreno, con características y condiciones litológicas, estructurales y de comportamiento similar para su aplicación en la ingeniería geotécnica. A su vez, para la identificación y caracterización de los elementos temáticos correspondientes (geológicos/geomorfológicos) de las zonas para fuentes de materiales, entre otros.

- Para el desarrollo de las actividades de campo se realizaron estaciones o puntos de control temático en los sitios de existencia de información de utilidad con la utilización de formatos para los registros correspondientes, y así como un registro fotográfico amplio de campo del área para la ilustración de las características temáticas.
- Se realizó la identificación e inventario de los sitios críticos y/o de zonas inestables afectados por procesos erosivos o movimientos en masa, presentes en los terrenos del corredor en estudio.
- Igualmente se realizó la caracterización temática de los sitios específicos de interés ingenieril como fuentes de materiales, entre otros.

- Estudio de las amenazas geológicas del área de ubicación del proyecto y caracterización de las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI).

De acuerdo con los requerimientos técnicos del proyecto y con base en la información de referencia secundaria obtenida, de la fotointerpretación de aerofotografías y de los sensores remotos, y la comprobación de campo, y su caracterización temática correspondiente, se elaboró un análisis y zonificación de las áreas/sitios que puedan generar amenazas geológicas dentro de la zona de estudio, con la consecuente generación del mapa temático correspondiente.
Igualmente, se realizó la caracterización de las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI), para su aplicación en la ingeniería geotécnica y la elaboración, por lo tanto, del mapa temático respectivo.

Fase 3 – Ensayos de Laboratorio:

Ejecución de ensayos de clasificación y propiedades índice (granulometría, límites de Atterberg, humedad, peso unitario), resistencia al corte (triaxial CU y CD, corte directo), consolidación unidimensional y permeabilidad, de acuerdo con las normas INV y ASTM aplicables. Los resultados alimentarán el modelo geotécnico del terreno.

Fase 4 – Análisis y Modelación:

Elaboración del modelo geotécnico del terreno, definición de perfiles representativos y parámetros geomecánicos de diseño. Ejecución de análisis de estabilidad de taludes en condición estática (FS ≥ 1.5), pseudoestática (FS ≥ 1.05) y con nivel freático (FS ≥ 1.3) mediante métodos de equilibrio límite (Bishop, Spencer, Morgenstern-Price) y software especializado. Análisis hidrológico e hidrogeológico de las cuencas de aporte.

Fase 5 – Evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo:

Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en categorías alta, media y baja a escala 1:2000. Identificación de elementos expuestos (infraestructura, edificaciones, población, redes de servicios públicos) y análisis cuantitativo de la vulnerabilidad física. Determinación del nivel de riesgo mediante la combinación de amenaza y vulnerabilidad, con elaboración de mapas y escenarios de riesgo.

Fase 6 – Diseño de Medidas de Reducción del Riesgo y Elaboración de Entregables:

Formulación y diseño definitivo de medidas estructurales (obras de contención y estabilización, drenaje superficial y subterráneo, protección y bioingeniería) y no estructurales (plan de monitoreo e instrumentación, sistema de alerta temprana, restricciones de uso del suelo). Elaboración de memorias de cálculo, planos constructivos, especificaciones técnicas, cantidades de obra, presupuesto de inversión y programación de obras. Análisis de costo-beneficio de las medidas propuestas. Todo lo anterior conforme a los estándares técnicos del NSR-10, las normas INV y los lineamientos del IDIGER para Bogotá D.C.

2.2.3 GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

En este capítulo se describen las características geológicas, estructurales, geomorfológicas, del área de influencia directa e indirecta del sitio en estudio, definidas a partir de la compilación, análisis e integración de la información secundaria existente y complementada con el trabajo de campo y de las investigaciones del subsuelo realizadas.

En los numerales siguientes se detallan los aspectos geológicos y geomorfológicos regionales del área del proyecto, haciendo uso de la información proveniente de las planchas de cartografía geológica-geomorfológica proporcionadas por el Servicio Geológico Colombiano (Ref. 2, 3, 4, 5, 6).
Es de anotar, que de acuerdo con la información de referencia (secundaria), los sitios de estudio presentan desde el punto de vista regional características geológicas y geomorfológicas similares, con pequeños cambios en las condiciones locales.

2.2.3.1 Geología regional

Con base en la información de referencia existente y disponible (Ref. 2 y 4), el área de ubicación del proyecto, se encuentra localizada en la parte oriental de la Cordillera Oriental, y en los cerros de la parte sur de la Saban de Bogotá, en las laderas norte de los cerros sur orientales de la Saban de Bogotá, la cual corresponde a una región influenciada por eventos estratigráficos y tectónicos de variada complejidad.

El área de estudio y sus alrededores se encuentra constituida fundamentalmente por rocas sedimentarias de edad Cretácico Inferior (Ki)-Terciario (E), agrupadas en las unidades, Formación Arenisca Labor Tierna (K2t); y Guaduas (K2E1g); y depósitos Cuaternarios, de origen aluvial, agrupados en las unidades. **(Q2ch)-**Formación Chia; (Q1tu)- Formación Tunjuelito,

En la siguiente figura se ilustra en esquema geológico (tomado y adaptado de (Ref. 4) el área de ubicación de los sitios en estudio y sus alrededores.

El presente estudio comprende tres (3) sectores priorizados, localizados en zonas urbanas consolidadas y de expansión, correspondientes a los barrios: **Sitio 1**, (**Polígono** 1, **Porvenir de la Estancia II**), **Sitio 2, (Polígono 4, Sierra Morena III – Corte vial),** y **Sitio 3**, (Polígono 5, Arborizadora **Alta – Candelaria La Nueva).**

2.2.3.1.1 Aspectos estratigráficos

Las rocas de edad cretácica presentes dentro del área se encuentran agrupadas en las Formaciones Arenisca Labor-Tierna (K2t) y Guaduas (K2E1g).

- **Formación Labor-Tierna(K2t**).
  Esta unidad se presenta en la parte superior de los cerros que bordean la Sabana de Bogotá y para el presente estudio al sur de la Sabana. Consta de tres conjuntos: a) uno inferior conformado por areniscas cuarzosas, de color gris claro, de poco espesor, de grano fino a medio, ligeramente friables; b) un conjunto intermedio donde predominan arcillolitas y limolitas silíceas, y c) el conjunto superior constituido por areniscas cuarzosas, gris claro, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, moderadamente friables, y en estratos de 0,2 a 3,0 m de espesor. Se considera que se depositó en un ambiente litoral durante el Maastrichtiano temprano a medio
  El espesor total de la unidad es variable, el cual oscila entre 200m y 300m. Para el presente estudio, esta unidad aflora fuera de la zona de investigación temática.

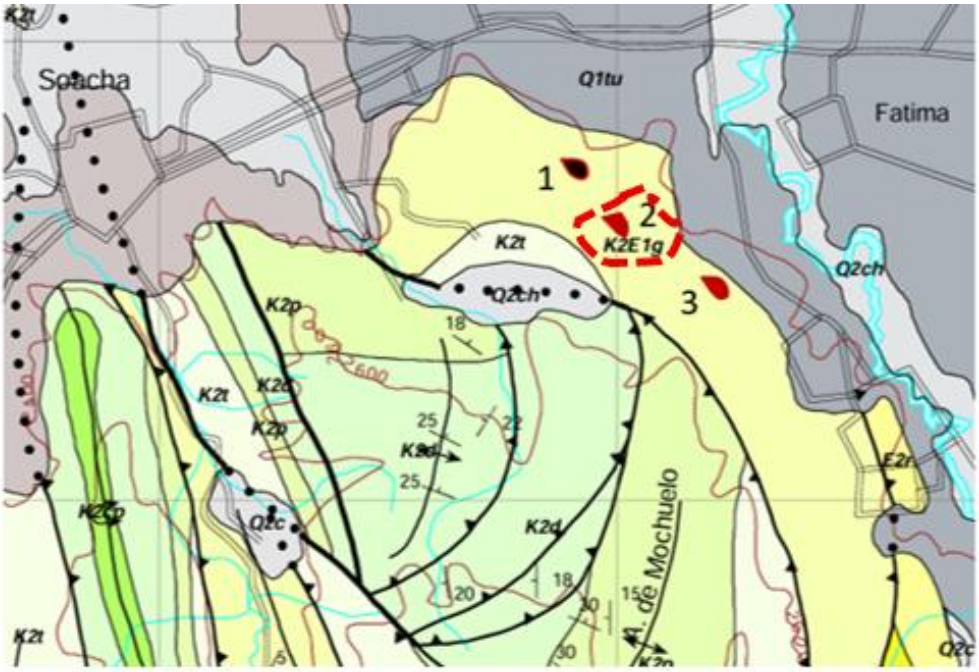


Figura 25. Mapa geológico Regional, con ubicación de los sitios de estudio y sus alrededores.

***Sitio 1**-Porvrnir La Estancia II**; Sitio 2**-Sierra Morena -Corte vial; **Sitio 3**-Arborizadora Alta.*
***CONVENCIONES**: **(K2t)**-Formación Arenisca Labor Tierna; **(K2E1g)**- Formación Guaduas; **(Q2ch)**-Formación Chia; **(Q1tu)**- Formación Tunjuelito.*
***Fuente:** Información tomada y adaptada del Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá, (Ref. 4).*

- **Formación Guaduas(K2E1g)**

Está unidad aflora en varios sectores del piedemonte de los cerros que bordean la sabana. Para el área de estudio conforma la parte superiormedia-inferior de los cerros donde se ubica la zona de estudio.

Litológicamente, consta de tres conjuntos: a) el inferior, conformado por arcillolitas y areniscas de grano fino y mantos de carbón; b) el conjunto intermedio, constituido por areniscas cuarzosas, de color gris claro, de grano fino a grueso, con intercalaciones de arcillolitas y mantos de carbón de poco espesor, y c) el superior, constituido por arcillolitas de color gris oscuro, con intercalaciones de areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso y mantos de carbón. De acuerdo con la información de referencia, la zona donde se ubican los sitios de estudio, está conformada por el conjunto intermedio de la Formación Guaduas (interestratificación de areniscas y arcillolitas y mantos de carbón).

El espesor de la unidad para la zona de estudio oscila entre 700m y 1.000, aproximadamente. Los sedimentos de la Formación Guaduas se depositaron en un ambiente marino para la parte inferior, y en un ambiente transicional y aluvial para la parte media y superior. Su edad se considera Maastrichtiano tardío - Paleoceno temprano.

- **Depósitos Cuaternarios (Q).**

Los materiales de edad cuaternaria dentro del área son de tipo aluvial (Qal), se presentan conformando la parte baja de los cerros y las orillas del río Tunjuelito y en algunos sectores de la parte suroccidental de la zona de estudio, pero de la zona de influencia de los sitios de estudio. Se agrupan en las Formaciones Río Tunjuelito(Q1tu) y Chia (Q2ch).

- *La Formación Río Tunjuelito (Q1tu),* litológicamente está constituida por gravas, gravillas, arenas, limos y arcillas, con bloques de tamaño heterométrico.

- *La Formación Chia (Q2ch),* corresponde a sedimentos fluviales de inundación, y de los cauces actuales, localizados a lo largo de los ríos principales que cruzan la Sabana (zona de estudio, río Tunjuelito); está constituida principalmente por arcillas de color gris claro, oscuro y amarillo; localmente puede contener limos y arcillas orgánicas. Su espesor máximo puede alcanzar los 5.00 m.

2.2.3.1.2 Condiciones tectónico-estructurales

De acuerdo con la información de referencia existente y disponible (Ref. 5), desde el punto de vista estructural, el área donde se ubica la zona en estudio corresponde a la parte de la región sur de la Sabana de Bogotá, la cual integra la parte central de la mega estructura de la Cordillera Oriental, la cual se encuentra influenciada a nivel regional por una tectónica de naturaleza compleja, con la presencia de elementos estructurales de tipo fallamiento de magnitud regional. Igualmente, los elementos estructurales del área no presentan una influencia directa sobre los sitios de estudio.

2.2.3.2 Geomorfología regional

De acuerdo con la información de referencia (Mapa Geomorfológico de la plancha 246-II-B, de la *Sabana de Bogotá, (Ref. 6),* para el área de ubicación de la zona de estudio y sus alrededores, la génesis de las formas del terreno corresponde principalmente a orígenes o ambientes morfogenéticos con la definición de unidades de tipo estructural, denudacional y fluvial, resultado la dinámica de los complejos procesos tectónicos relacionados al levantamiento de la Cordillera Oriental.

Por consiguiente, se distinguen las siguientes geoformas/unidades de ambientes morfogenéticos, de origen: i) estructural (laderas estructurales, laderas de contrapendiente), ii) denudacional (cono coluvial/deslizamientos), y iii) de origen fluvial (planicie de inundación).

Es de anotar, que para la zona de estudio se presentan principalmente las geoformas de origen estructural, y las demás unidades forman parte de sus alrededores y se describen como ilustración, sin tener influencia o relación directa con los sitios de estudio.

En la siguiente figura se ilustra en esquema geomorfológico (tomado y adaptado de Ref.6), el área de ubicación del sitio en estudio y sus alrededores.

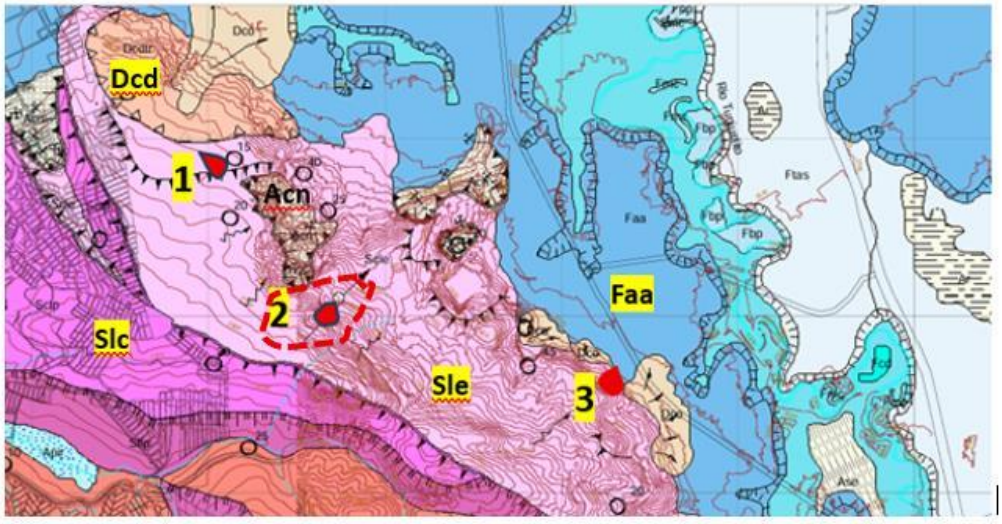


Figura 26. Mapa geomorfológico Regional, con ubicación de los sitios de estudio y sus alrededores.

***Sitio 1**-Porvrnir La Estancia II**; Sitio 2**-Sierra Morena-Corte vial; **Sitio 3**-Arborizadora Alta.*
***CONVENCIONES**: **(Sle),** Ladera estructural denudada; **(Slc),** Ladera de contrapendiente denudada; **(Dcda),** Cono de deslizamiento antiguo; (**Faa**), Depósitos aluviales, (**Acn**), cantera.*
***Fuente:** Información tomada y adaptada del Mapa Geomorfológico plancha 246-II-B, de la Sabana de Bogotá, (Ref. 6).*

i)- ***Las unidades de ambiente estructural (S)***, corresponden a geoformas originadas por la influencia de la actividad tectónica sobre los macizos rocosos, generando expresiones principalmente escarpadas, así como por la disposición de sus estratos con respecto a la pendiente del terreno, y el desarrollo de geoformas de tipo, Ladera estructural (Sle) y Ladera de contrapendiente (Slc).

- **La Ladera estructural (Sle)**, corresponde a geoformas en las que las rocas se presentan buzando en la misma dirección de la pendiente de los terrenos, de forma convexa a recta, con pendientes en general de altas a escarpadas, y con un patrón de drenaje de subdendrítico a subparalelo. Esta subunidad se presenta principalmente conformando las laderas de la zona de ubicación de los sitios de estudio.

- **Las Laderas de contrapendiente (Slc),** se presentan como una superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por estratos dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno, con pendientes variadas entre muy altas a escarpadas; tienen un patrón de drenaje de subdendrítico. Esta subunidad se presenta conformando principalmente las laderas suroccidentales, y fuera de la zona de estudio.

***ii)*-Subunidades de ambiente fluvial (F).** Corresponden a las geoformas originadas por el efecto erosivo y principalmente de sedimentación de las corrientes principales (río Tunjuelito) y secundarios (quebradas) que bordean y atraviesan el área en estudio, los cuales acumulan sus materiales (depósitos fluviales) en los cauces y orillas, conformando los elementos de depósitos antiguos/subrecientes/recientes (planicie de inundación de la Sabana de Bogotá, Faa). Esta unidad conforma los terrenos de morfología plana bordeantes de la zona de estudio por su parte nororiental.

iii)- Subunidades de ambiente Denudacional (Dco). Corresponden a las geoformas originadas por procesos de transporte y depositación de materiales provenientes de las partes altas y son depositados sobre las laderas, que está relacionado con movimientos de inestabilidad tipo deslizamientos. Esta subunidad se presenta en forma de cono y se presenta en la parte norte y fuera de la zona de estudio.
iii)- Subunidad/elementos de origen antrópico (Acn). Corresponden a las geoformas y/o superficies resultantes de las excavaciones para la extracción de materiales para el uso ingenieril, son de formas variadas y pendientes de moderadas a altas y muy altas. Estos elementos se han desarrollado y se presentan en diferentes sitios dentro y fuera de la zona de ubicación de los sitios de estudio.

Es de anotar, que los sitios de estudio se encuentran ubicados en sitios donde se han desarrollados actividades de explotación de materiales para usos industriales.

2.2.3.2.1. ANÁLISIS DE FOTOINTERPRETACIÓN

Siguiendo con el orden de la metodología propuesta y requerida en los trabajos de investigación del presente proyecto, se presenta en este numeral el análisis de fotografías aéreas, tomadas por el IGAC en diferentes épocas y a diferentes escalas en el área de estudio y sus alrededores, como una herramienta para las observaciones preliminares y complementarias de la información de las temáticas de geología, geomorfología y procesos morfodinámicos.

El objeto principal de la fotointerpretación es la obtención de información sobre los aspectos temáticos correspondientes para la caracterización preliminar del área en estudio, como un elemento base para determinar las características sobre la evolución de las condiciones morfológicas y morfodinámicas antiguas, y subrecientes/recientes del área de estudio y su zona de influencia, para la programación de actividades complementarias de campo, al igual que para la obtención de información para el análisis multitemporal del área. Para el análisis de fotointerpretación se utilizaron vuelos comprendidos entre los años 1987 al 2004.

Para el análisis de la fotointerpretación se tuvo en cuenta la información de referencia secundaria, para lo cual también es complementada con observaciones de trabajos de campo al área de ubicación de los sitios de estudio.

2.2.3.2.1.1 Aspectos fotogeológicos de las aerofotografías

Para la realización del análisis de las aerofotografías se siguió el método de fotointerpretación tradicional básico, consistente en la selección de pares de fotografías aéreas tomadas por el IGAC en diferentes épocas y a diferentes escalas en la región de ubicación del área de estudio y sus alrededores, para lo cual se utilizó como herramienta fundamental el estereoscopio (de espejos y/o de bolsillo), caracterizando la información temática correspondiente, (unidades geológicas, elementos estructurales y, rasgos geomorfológicos y morfodinámicos, entre otros), obteniendo de esa manera las imágenes (fotocalcos) de la cartografía respectiva con los datos necesarios para la complementación de la información de referencia y la elaboración de los mapas temáticos preliminares respectivos.

La información obtenida del análisis de las aerofotografías será correlacionada con las observaciones de las visitas de reconocimiento de campo. Para la referenciación de las unidades geológicas y geomorfológicas de la fotointerpretación, se tomó como base la cartografía de los mapas, Geológico de la Sabana de Bogotá, (Ref. 2) y geomorfológico de la plancha 246-II-B, de la Sabana de Bogotá (Ref. 6).

Igualmente, con los elementos anteriores se realizó un análisis multitemporal, con el objeto de obtener información sobre la evolución de los terrenos o geoformas y sus características morfodinámicas tanto antiguas como subrecientes/recientes del área del corredor en estudio y sus alrededores (zona de influencia).

En el trabajo fotogeológico se analizó (referenció y/o cartografió) como aspectos principales: las unidades geológicas principales, los rasgos estructurales y elementos temáticos pertinentes, las unidades /componentes geomorfológicos, los procesos morfológicos y morfodinámicos antiguos/subrecientes/recientes (coronas y cuerpos de procesos, principalmente en lo ateniente a la zona de influencia y/o sitios de estudio.

2.2.3.2.1.2 Análisis de fotointerpretación de las aerofotografías seleccionadas

Para el análisis de fotointerpretación del área de estudio, se utilizaron los vuelos de los años 1985 y 2007. En la siguiente tabla se muestra los elementos de identificación de las aerofotografías seleccionadas.

Tabla 13. Vuelos y número de aerofotografías seleccionadas para el proyecto

No. Vuelo (C)	Fotografías No.	Sobre (S)	Escala	Año
C-2269	273-274-275	S-33753	1: 35.730	1987
C-2717	115-116	S-39297A	1: 20.300	2004
C-2717	164-165-166	S-39298B	1: 20.300	2004

Fuente: Elaboración propia.

Es de anotar que, de acuerdo con las escalas de las aerofotografías, 1:35.000 (1 cm = 350 m), 1:20.300 (1 cm = 203 m), no es posible obtener características temáticas de detalle para estas imágenes, por lo tanto, se utilizaron las fotografías con escala 1: 20.300 (año 2004), para los análisis temáticos correspondientes.

En la *Figura 27* (fotocalco, fotografía 165) se ilustran las características de la fotointerpretación de las aerofotografías del área en estudio.

Análisis Aerofotografías Nos. 164-165-166; Escala 1: 20.300; Vuelo C-2717; Año 2004.

- **Condiciones geológicas y geomorfológicas**

Desde el punto de vista geológico, las aerofotografías muestran que el área donde se ubican los sitios en estudio y sus alrededores está conformada ampliamente por rocas sedimentarias, la cual de acuerdo con los documentos de referencia (Ref. 2), se agrupan en la Formación Guaduas, conjunto intermedio (K2E1gm).

Es de anotar que los sitios se encuentran con un amplio desarrollo urbanístico en sus alrededores; igualmente se observa que estos sectores han sido sometidos a excavaciones para la explotación de fuentes de materiales para usos industriales.

Igualmente, del análisis de las aerofotografías se observa que hacia la parte baja de la zona (parte nor oriental y en cercanías al sitio 3, se presentan depósitos de origen aluvial (Qal) conformantes de la planicie de la sabana de Bogotá.

En la *Figura 27* se ilustra (fotografía 165, fotocalco) con el detalle que permite la escala de las aerofotografías, los elementos geológicos obtenidos en la fotointerpretación. Igualmente, en la siguiente figura , se presenta, las imágenes (pares de aerofotografías) respectivas del análisis de fotointerpretación.

Desde el punto de vista estructural y como se muestra en la fotointerpretación, dentro del área en estudio y su zona de influencia, se observan algunos lineamientos, los cuales de acuerdo con la información de referencia corresponden a elementos estructurales de tipo fallamiento y estructuras menores (fallas secundarias y/o lineamientos). Desde el punto de vista local los materiales rocosos presentan rumbo/buzamientos (NW/NE) en dirección de la pendiente de los terrenos conformando laderas estructurales (Sle), mientras que en otros sectores (locales) se presentan en sentido contrario, conformando laderas de contrapendiente (Slc).

•**Desde el punto de vista geomorfológico**, en el área de estudio y sus alrededores se observan geoformas de variada naturaleza y origen, diferenciándose principalmente:

- Geoformas, de tipo estructural denudativo **(Sle),** las cuales conforman ampliamente las laderas donde se encuentran ubicados los sitios de estudio, las cuales se relacionan con rocas pertenecientes a la Formación Guaduas, en su conjunto medio (areniscas y arcillolitas). Morfológicamente conforman terrenos de pendiente alta a muy alta.

- Geoformas conformantes de laderas de contrapendiente **(Slc),** se presentan en las laderas de la parte suroeste del área, fuera de la zona de estudio.

- Geoformas de origen fluvial **(Faa),** conformantes de los depósitos aluviales antiguos de variada naturaleza antigua/subrecientes, conformantes de la planicie sur de la Sabana de Bogotá, las cuales bordean (fuera de los sitios de estudio) principalmente por su parte nor-este el sitio 3 del proyecto de investigación, pero sin tener relación alguna con la investigación temática.

En menor proporción se observan subunidades o elementos de tipo antrópico, entre las que se tienen las canteras **(Acn)** o sitios de explotación de materiales de uso industrial. Estos elementos son de baja magnitud y se encuentran desarrollados en diferentes sitios de las laderas del área de investigación.
Es de anotar, que, de acuerdo con el análisis de fotointerpretación, gran parte de los terrenos del área del presente estudio (sitio 2, polígono 4, Sierra Morena-Corte vial), fueron sometidos en años anteriores a la actividad de extracción/explotación de fuentes de materiales de uso ingenieril (cantera), los cuales ocasionaron cambios morfológicos en las laderas.

Desde el punto de vista morfodinámico, los terrenos del área de estudio y sus alrededores han sido afectados a nivel de superficie desde hace varios años (mucho antes de 1987) por procesos denudativos principalmente de tipo erosivo de moderada intensidad; en menor proporción se presentan procesos o fenómenos de tipo deslizamiento los cuales se observan en sitios muy puntuales.

Es de anotar, que, de acuerdo con el análisis de fotointerpretación, gran parte de los terrenos del área del presente estudio (sitio 2, polígono 4, Sierra Morena-Corte vial), fueron sometidos en años anteriores a la actividad de extracción/explotación de fuentes de materiales de uso ingenieril (cantera), los cuales ocasionaron cambios morfológicos en las laderas y como consecuencia posiblemente haya sido la causa de la generación de movimientos de inestabilidad tipo compuesto, con la acumulación de depósitos coluviales subrecientes(Qcr) y su posterior inestabilización (reciente-actual) del talud de la vía.

Igualmente se observa, que el área tanto en la zona de ubicación de los sitios de estudio como sus alrededores se encuentra influenciada por un avance intenso de desarrollo urbanístico.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE

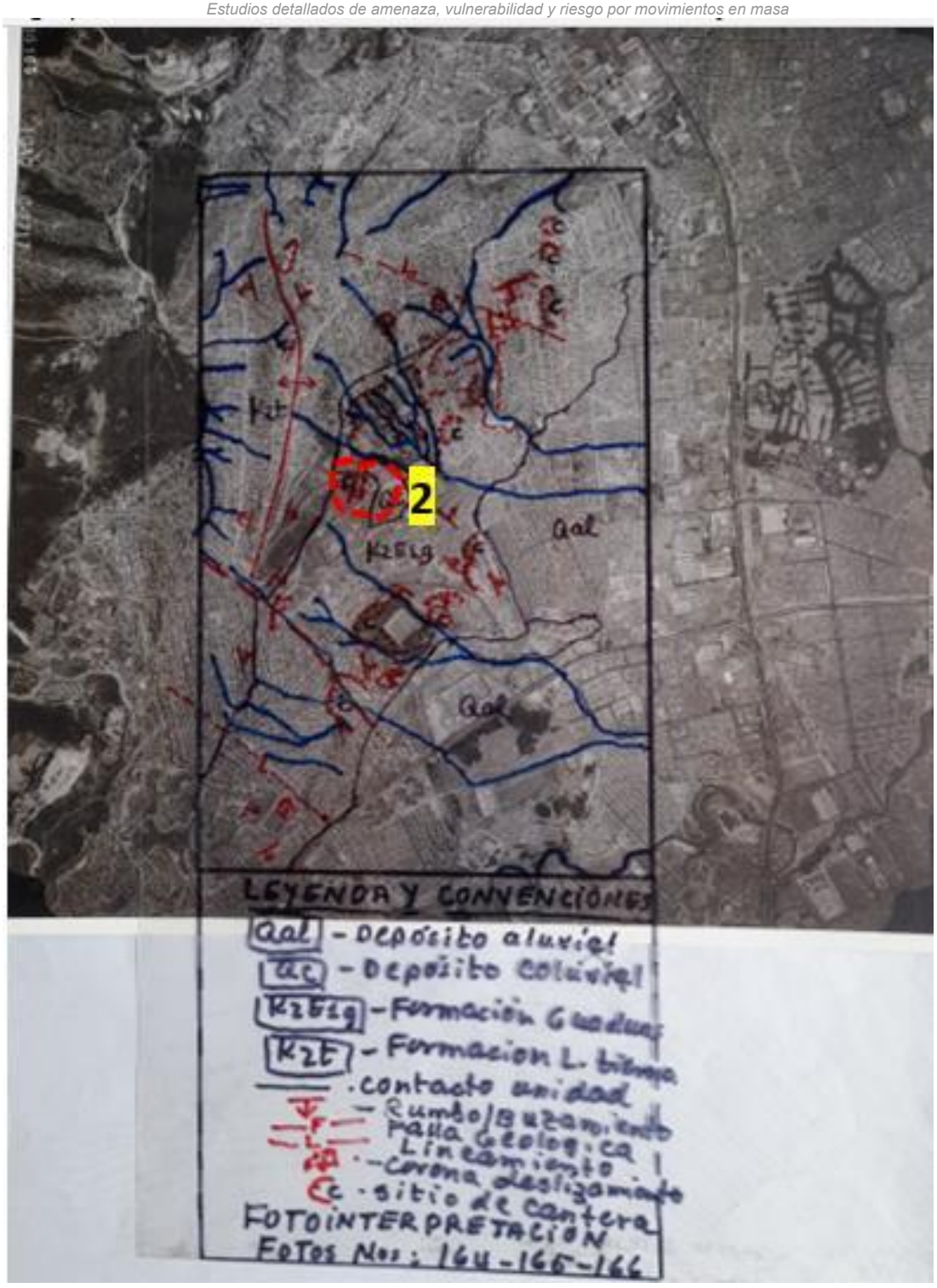


Figura 27. Fotointerpretación de las aerofotografías Nos.164-165-166; Vuelo C- 2717; escala 1: 20.300; año 1987.

Fuente: elaboración propia

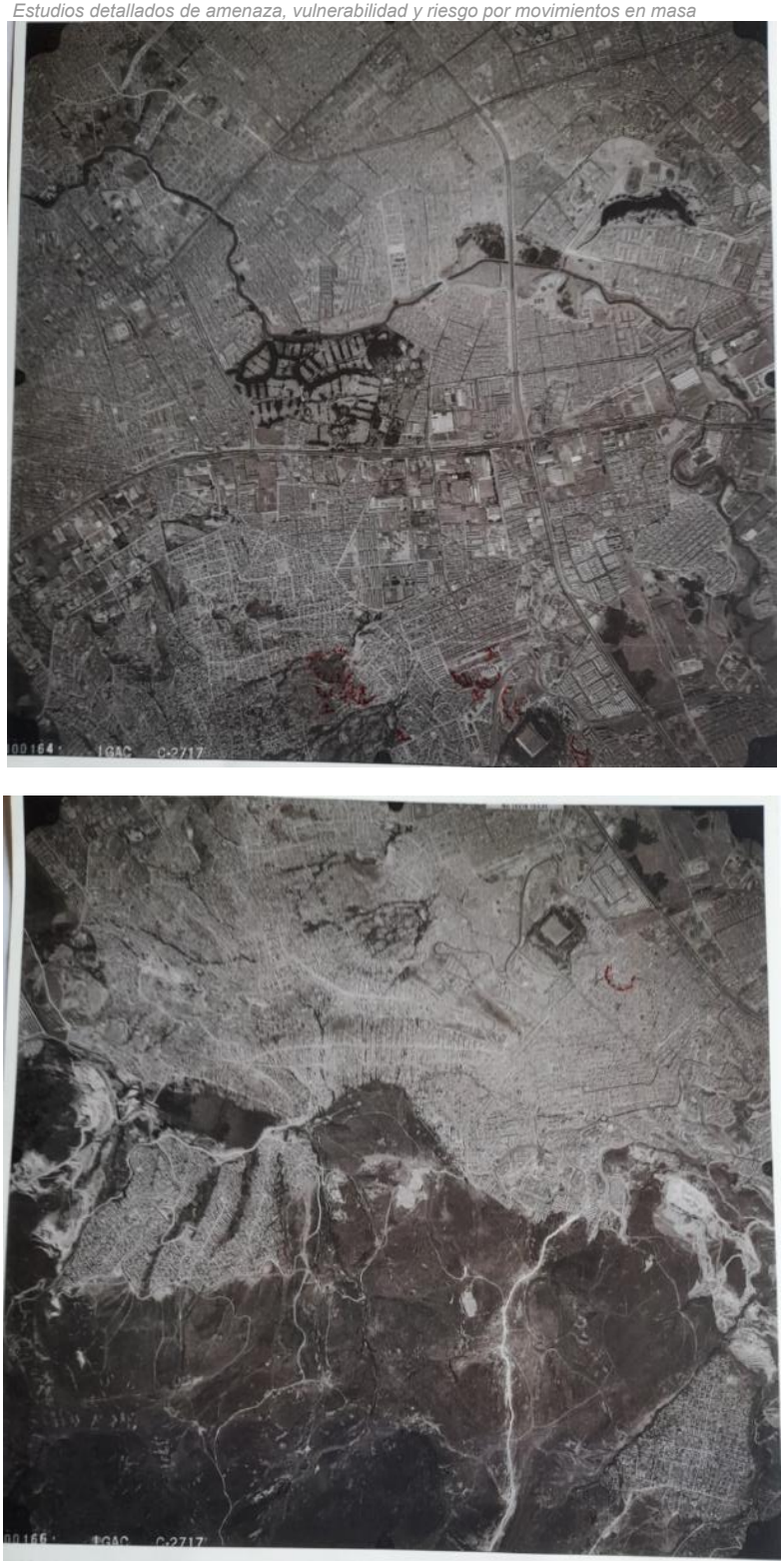


Figura 28. Aerofotografías Nos.164 y 166 (imágenes pares para la fotointerpretación); Vuelo C- 2717; escala 1: 20.300; año 1987.

Fuente: elaboración propia

Análisis Aerofotografías Nos. 273-274-275; Escala 1: 35.730; Vuelo C-2269; Año 1987.

- **Condiciones geológicas y geomorfológicas.**

A estas aerofotografías de una escala más pequeña, (1: 35.730;1cm= m), que abarcan igualmente la zona en estudio, se les realizo un análisis general, (pero sin la elaboración de la figura de fotocalco por aspectos de escala más pequeña, las cuales no proporcionan detalles temáticos de utilidad), y de los cuales se observan características geológicas y geomorfológicas muy similares a las observadas en el vuelo anterior (Nos. 164-165-166, C-2717, escala 20.300, y año 2004), con unas condiciones temáticas similares, con la diferencia de que se observa una menor intensidad en su desarrollo urbanístico.

Como conclusión, de los análisis y la comparación de las aerofotografías seleccionadas para el estudio de los años 1987 y 2004, para un periodo de tiempo de 17 años entre la toma de los registros de las aerofotografías, y para un tiempo total de 39 años (con referencia al año actual, 2026), no se observan rastros o indicios de procesos morfodinámicos o movimientos de remoción en masa importantes dentro de ese periodo de tiempo, para los sitios de estudio y sus alrededores, con excepción de los procesos puntuales que afectan a los sitios de estudio.

2.2.4 CONDICIONES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DE DETALLE DEL SITIO DE ESTUDIO

(ASPECTOS TEMÁTICOS PARA INGENIERÍA).

De acuerdo con los objetivos y alcances del proyecto, y la metodología presentada para el análisis del Estudio de los sitios programados, en los cuales se tuvo en cuenta, la información de referencia, las consideraciones de la fotointerpretación, y la información obtenida en los reconocimientos de campo a los sitios de investigación temática, para el desarrollo de los aspectos temáticos para ingeniería, se tienen en cuenta 3 aspectos principales: i) reconocimiento campo y obtención de la información, ii) investigaciones del subsuelo, iii) y el análisis de la información.

Como resultado de las actividades correspondientes se elaboraron los mapas temáticos finales (geológicos y geomorfológicos) a las escalas de detalle exigidas en los Términos de Referencia (1:2.000 y 1:1.000), los cuales se incluyen en su totalidad como productos cartográficos junto con la complementación del informe correspondiente.

2.2.4.1 Toma de información de campo, investigaciones del subsuelo y análisis de la información

2.2.4.1.1 Reconocimiento de campo y obtención de la información

Para el desarrollo de las investigaciones de campo se utilizó como metodología: la toma de información temática de detalle (geología, geomorfología y procesos morfodinámicos) en los diferentes sitios, las cuales se complementaron con la información de las investigaciones del subsuelo (apiques, barrenos y/o sondeos) realizadas en algunos puntos de los sectores en estudio. Igualmente, se complementó con la investigación de registros sísmicos.

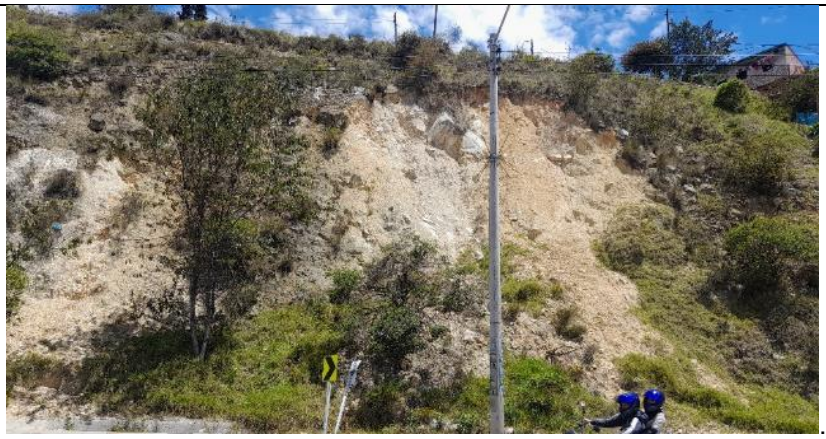
Los datos de la toma de información, compilación y análisis temáticos correspondientes a geología, condiciones geomorfológicas y morfodinámicas obtenidos de los reconocimientos de campo en los diferentes sitios, se consignaron y organizaron para su presentación.

Como resultados del proceso de investigación de campo se elaboraron planos temáticos (geológico y geomorfológico), a la escala de detalle exigida para su aplicación de acuerdo con los alcances para su aplicación en la ingeniería.

En la siguiente tabla se ilustra en algunas fotografías (1 a 4) las características geológicas y morfodinámicas generales y de detalle del el Sitio 2 (Sierra Morena III-Corte vial) en estudio.

Tabla 14. Resumen e ilustración de la información temática obtenida en el sitio de Sierra Morena-Corte vial.

<table>
<tr><th>Abscisa/ Unidad geológica/ procesos morfodinámicos</th><th>Fotografía de puntos de observación</th></tr>
<tr><td>Aspectos geológicos y morfodinámicos generales del sitio de Sierra Morena-Corte vial.
Obsérvese, en la foto 1 afloramiento de las rocas en la parte izquierda del sector y en la parte derecha la presencia del movimiento de inestabilidad tipo caída de detritos. Vista en dirección E-W.</td><td>
Foto 1</td></tr>
<tr><td>Aspectos de detalle del del sitio. En la foto 2, parte derecha presencia de rocas altamente meteorizadas y con procesos de erosión, y en la parte derecha presencia del movimiento de inestabilidad.
En la foto 3, aspectos del movimiento de inestabilidad.
Vista en dirección NE-SW.</td><td>
Foto 2

Foto 3</td></tr>
<tr><td>Aspectos de mayor detalle de los procesos de inestabilidad del sitio, los cuales involucran material de coluvión (foto 4).
Vista en dirección NE-SW.</td><td>
Foto 4</td></tr>
</table>

2.2.4.1.2 Investigaciones del subsuelo y análisis de la información

Para la caracterización geológico-geotécnica de los materiales conformantes del sitio en estudio, se realizó un plan de exploración geotécnica amplia. Es importante resaltar que, las perforaciones proyectadas fueron distribuidas de manera estratégica dentro del polígono de estudio, priorizando las zonas críticas previamente identificadas. Su localización y número se definieron con base en criterios técnicos y en las condiciones particulares del terreno, con el objetivo de garantizar una caracterización representativa, consistente y confiable del sector antes mencionado.

2.2.4.1.2.1 Investigación geotécnica

La campaña de exploración geotécnica contempló la ejecución de perforaciones profundas con recuperación continua de muestras, incluyendo la realización de ensayos de penetración estándar (SPT), así como la obtención de muestras inalteradas tipo Shelby y/o tipo SS, en función de las condiciones geológicas y geotécnicas encontradas en el subsuelo. De manera complementaria, se efectuaron exploraciones subsuperficiales mediante barrenos manuales, apiques y trincheras, orientadas a la identificación detallada de la estratigrafía del sitio y a la extracción de muestras tipo bolsa destinadas a la realización de ensayos de laboratorio especializados.

Igualmente se ejecutó un programa de registros de líneas sísmicas, realizadas en diferentes puntos de la zona.

En la siguiente figura se ilustra los esquemas de los tipos de perforaciones y excavaciones realizadas en el sector Sierra Morena, como parte de los trabajos ejecutados:



Figura 29. Localización de la exploración geotécnica.

Fuente: Elaboración propia

Con base en el plan de exploración geotécnica, se ejecutaron actividades de exploración geotécnica que incluyeron la realización de un (01) apique de 1.60 de profundidad, la excavación de tres (03) trincheras con una longitud total de 19.60 m lineales y la ejecución de dos (02) perforaciones tipo barreno con una profundidad total alcanzada de 7.50 m.

En la siguiente tabla se presenta de manera resumida la relación de los puntos donde se ejecutaron las perforaciones proyectadas, indicando para cada uno de ellos; el tipo de exploración realizada, coordenadas y la profundidad final alcanzada:

Tabla 15. Resumen e ilustración de la información de las perforaciones ejecutadas

PERFORACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PROFUNDIDAD (m)			
	LATITUD	LONGITUD	APIQUE	BARRENO	TRINCHERA	TOTAL
APSM-1	4°34'42.20"N	74°10'15.10"W	1.60	-	-	1.60
TRSM-1	4°34'43.9"N	74°10'15.4"W	-	--	5,70	5.70
TRSM-2	4°34'44.50"N	74°10'14.60"W	-	-	4,90	4.90
TRSM-3	4°34'43.10"N	74°10'14.70"W	-	-	9,00	9.00
BRSM-1	4°34'43.9"N	74°10'15.2"W	-	3,50	-	3.50
BRSM-2	4°34'41.90" N	74°10'13.90"W	-	4,00	-	4.00
SSM-1	4°34'40.3"N	74°10'14.4"W	-	-	31,00	31,00

En el anexo 1 titulado “Exploración del subsuelo”, se incluyen los registros de campo correspondientes a cada una de las perforaciones ejecutadas en el sector bajo estudio junto con sus correspondientes ensayos de laboratorio.

2.2.4.1.2.2 Registro de apiques, apiques-barrenos, sondeos y trincheras

En la siguiente tabla se resume las características litológicas/estratigráficas, y su ubicación de las investigaciones del subsuelo ejecutadas a lo largo del corredor vial en estudio. Igualmente, en el Anexo 1, se presenta toda la información (de ubicación, geológica, morfológica y geotécnica obtenida en dentro del programa de investigación del subsuelo para el desarrollo del proyecto.

Tabla 16. Resumen de las características del material encontrado en las investigaciones.

Apique / Trinchera / Sondeo	Características litológicas	Fotografía sitio
Apique-APSM-1 **--Prof.** - 1.60m.	**0.00-0.45m**: Relleno limo-arcilloso, de color negro, con bloques de areniscas. ***0.45m-31.00m**: **Areniscas y arcillolitas de la Formación Guaduas, Conjunto medio (K2E1gm).** **0.45-1.60m**: Niveles de Bloques de areniscas en matriz de limo orgánico café, y en matriz de arena amarilla con vetas oxidadas de humedad baja de humedad baja.	

Apique / Trinchera / Sondeo	Características litológicas	Fotografía sitio
	***Corte, no se detectó nivel freático.**	
Barreno-BRSM-1 **Prof.** - 3.50m.	***De 0.00m-4.90m (Qc)**: Parte derecha del proceso de inestabilidad, depósito coluvial. **-0.00-0.70m**: Relleno limoso, café oscuro, con raíces y detritos de demolición. **-0.70m-1.50m**: Limo arenoso, de color café, con bloques de areniscas. 1**.50m-3.50m**: Bloques de areniscas en matriz de arena amarilla. **Corte, no se detectó nivel freático al terminar a 3,50 m.**	
Barreno-BRSM-2 **Prof.** - 4.00m.	**-0.00-0.70m (K2E1gm)**: Limo orgánico café oscuro, con raíces. -**0.70m-1.50m**: Bloque de areniscas en matriz de arena de color amarillo con oxidaciones. **1.50m-4.00m**: Areniscas de color amarillo, con bloques oxidados. **Corte a los 4,00 m. no se permite el avance con SPT**	
Sondeo-SSM-1 **Prof.** - 31.00m	**-0.00-0.50m (K2E1gm)**: Limo orgánico marrón oscuro con raíces. -**0.50m-1.50m**: Bloques de arenisca color amarillo, con matriz de arena de color amarillo con oxidaciones. **1.50m-3.50m**: Areniscas de color amarillo, grano fino a medio, altamente	

Apique / Trinchera / Sondeo	Características litológicas	Fotografía sitio
	meteorizadas y muy fracturadas, de consistencia media. **3.50m-7.50m**: Secuencia de areniscas, color amarillo, grano fino a medio, con intercalaciones de arcillolitas/limolitas, color amarillo; las rocas se presentan, moderadamente meteorizadas y poco fracturadas, de consistencia media. **7.50m-16.50m**: Secuencia de areniscas, color amarillo y amarillo naranja por meteorización, grano fino a medio, con intercalaciones de arcillolitas, color amarillo; las rocas se presentan, moderadamente meteorizadas y poco fracturadas, de consistencia media. **16.50m-20.50m**: Niveles de areniscas, color gris, de grano medio a grueso, muy friable, de baja consolidación, moderadamente meteorizadas. **20.50m-31.00m:** Secuencia de areniscas, color amarillo y amarillo naranja por meteorización, grano fino, y de medio a grueso, con intercalaciones arcillolitas del mismo color; las rocas se presentan de consistencia media a dura, en estratos delgados a gruesos, moderadamente meteorizadas y poco fracturadas. **Corte**, nivel de agua al terminar a 7,00 m.	
Trinchera - TRSM-1, Parte derecha del movimiento de	**-0.00m-5.70m (Qc): Depósito coluvial.** **--0.00-2.00m**: niveles de, limo orgánico, color café claro y amarillo, con restos de raíces. **--2.00-5.70m:** Depósito de material, conformado por bloques de arenisca, de	

Apique / Trinchera / Sondeo	Características litológicas	Fotografía sitio
inestabilidad. Prof. 5.70m.	tamaño y formas heterogéneas, color amarillo, en matriz de arena limosa; materia de baja a moderada consolidación.	 
Trinchera - TRSM-2, Prof. 4.90m:	**-0.00m-4.90m (Qc): Depósito coluvial.** **--0.00-2.00m**: niveles de, limo orgánico, color café claro y amarillo, con restos de raíces. **--2.00-5.70m:** Depósito de material, conformado por bloques de arenisca, de tamaño y formas heterogéneas, color amarillo, en matriz de arena limosa; materia de baja a moderada consolidación.	 
Trinchera - TRSM-3, Prof. 9.00m.	**-0.00m-9.00m (Qcr)**: Nivel de superficie, compuesto por bloques de arenisca embebido en una matriz de arena amarilla oxidada. Niveles inferiores, secuencia de bloques de arcillolitas y limolitas, color habano, en matriz arcillo limosa.	 

- **Conclusiones del análisis litológico/estratigráfico de los registros de las investigaciones del subsuelo.**

De acuerdo con los registros de las investigaciones geotécnicas realizadas en diferentes puntos del sitio de estudio y cuya ubicación se presenta en la figura 6, se obtienen las siguientes conclusiones:

- En las trincheras -TRSM-1 y TRSM-2, y barreno BRSM-1, los materiales encontrados corresponden a depósito coluvial (Qc) antiguo, conformado principalmente por bloques de arenisca de tamaño variado, en matriz areno-limosa.

- En la trinchera TRSM-3, los materiales encontrados corresponden a depósito coluvial (Qc), más reciente, conformado principalmente por bloques de limolitas, en matriz arcillo-limosa.

- En el barreno BRSM-2 y el sondeo SSM-1, los materiales encontrados corresponden a una secuencia de niveles interestratificados, de areniscas y arcillolitas, pertenecientes a la Formación Guaduas, Conjunto Medio (K2E1gm).

○

2.2.4.2 Exploración geofísica – registro de líneas sísmicas (sísmica de refracción)

El objetivo de exploración geofísica es complementar los estudios de caracterización del subsuelo del sitio de interés, para lo cual se ejecutó un programa de exploración indirecta mediante el método de sísmica de refracción. Esta técnica permitió la continuidad lateral de los perfiles geotécnicos y la estimación de las velocidades de onda (Vp - Vs) para la clasificación de los materiales. En este sitio de Sierra Morena-Corte vial se realizó la línea sísmica (LSSM-1) .

- **LOCALIZACIÓN DE LA EXPLORACIÓN**

Las líneas sísmicas se distribuyeron en tres sectores de la localidad de Ciudad Bolívar. Las coordenadas de los extremos de cada tendido, en el sistema MAGNA-SIRGAS origen Ciudad Bogotá (EPSG:6247), se presentan en la siguiente tabla; el plano de localización sobre ortomosaicos y el esquema planta-perfil se incluyen en el Anexo 1 (Informe de Exploración geofísica). Para el sitio de Sierra Morena la ubicación de la línea sísmica se muestra en la Figura 29.

En la siguiente tabla se presenta las coordenadas de la ubicación de las líneas sísmicas del programa de exploración.

Tabla 17. Coordenadas de los extremos de las líneas sísmicas (MAGNA-SIRGAS Ciudad Bogotá).

Línea	Sector	L (m)	dx (m)	Este ini.	Norte ini.	Cota ini.	Este fin	Norte fin	Cota fin
LSP-1	Porvenir – La Estancia II	69	3	89 031.5	98 954.8	2 662.1	89 097.9	98 954.1	2 652.6
LSP-2	Porvenir – La Estancia II	69	3	89 039.6	98 918.8	2 671.1	89 111.8	98 918.2	2 660.3
LSSM-1	Sierra Morena	69	3	89 618.9	98 059.7	2 700.6	89 680.2	98 001.7	2 704.2
LSA-1	Arborizadora Alta	115	5	91 462.0	97 463.3	2 581.4	91 506.8	97 362.2	2 586.2

- **RESULTADOS**

De acuerdo con la tabla presentada en el sitio de Sierra Morena -Corte vial se realizó la Línea Sísmica LSSM-1, cuyos resultados se muestran en el siguiente item.

- **LÍNEA SÍSMICA LSSM-1**.

La sección para el sitio evidencia materiales competentes someros: el techo del cuerpo con velocidades superiores a 1 800 m/s se encuentra a 5 – 8 m bajo el sector central del tendido y asciende hasta 2 – 3 m de profundidad hacia el extremo oriental, en concordancia con los afloramientos observados en el corte del sector. El ajuste de la inversión tomográfica fue de 4.9 ms ($\chi^2 = 3.8$) con 70 tiempos de arribo.
Los resultados correspondientes se muestran en las siguientes figuras y tablas.

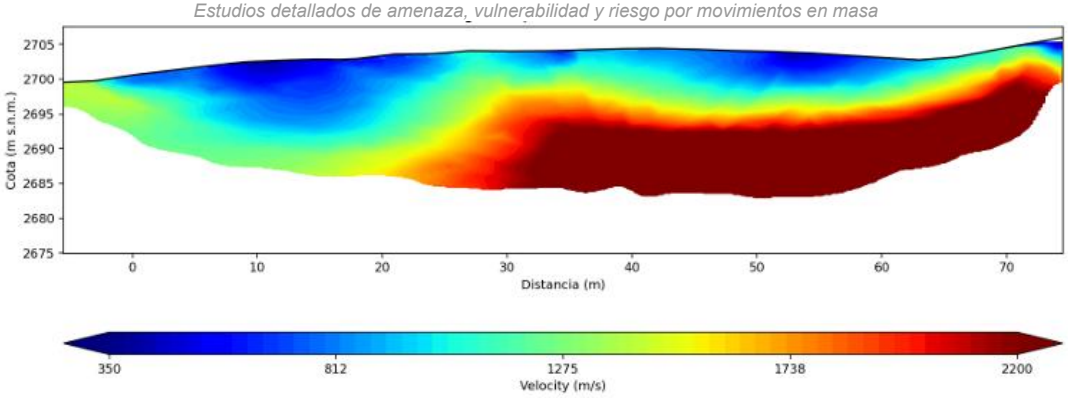


Figura 30. Línea LSSM-1 — Tomografía de refracción sísmica (Vp).

El modelo de velocidad de onda de corte adoptado ajusta la curva de dispersión observada con un desajuste de 124 m/s y se resume en la siguiente tabla.

Tabla 18. Línea LSSM-1 — Perfil de velocidad de onda de corte.

Capa	Profundidad (m)	Vs (m/s)	Descripción
1	0.0 – 0.5	162	Capa orgánica / suelo superficial
2	0.5 – 4.5	242	Material meteorizado somero
3	> 4.5 – 5.5	760	Material competente

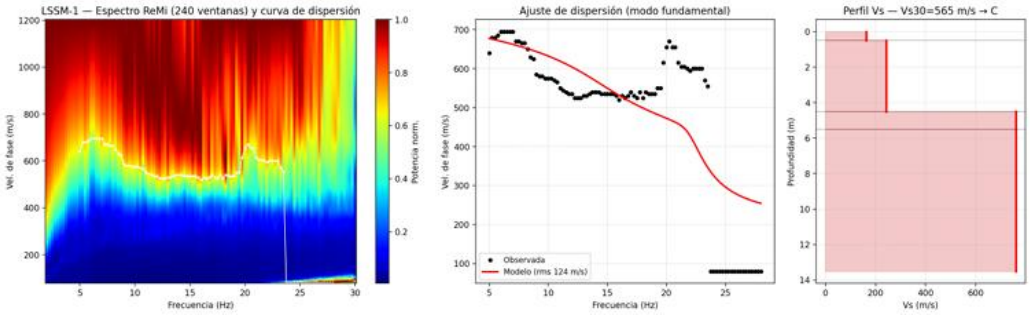


Figura 31. Línea LSSM-1 — Espectro ReMi, ajuste de dispersión y perfil Vs.

Vs30 = 565 m/s → Perfil de suelo tipo C según NSR-10, Tabla A.2.4-1 (360 m/s < Vs30 ≤ 760 m/s: perfiles de suelos muy densos o roca blanda).

- **RESUMEN Y CONCLUSIONES**

Tabla 19. Síntesis de resultados por línea.

Línea	Sector	Vs30 (m/s)	Perfil NSR-10	Techo del material competente
LSP-1	Porvenir – La Estancia II	450	C	≈ 19 m (Vs); Vp alta desde 3 – 5 m
LSP-2	Porvenir – La Estancia II	439	C	≈ 11 m (Vs); Vp alta desde 6 – 9 m
LSSM-1	Sierra Morena	565	C	≈ 4.5 – 5.5 m; somero al oriente (2 – 3 m)
LSA-1	Arborizadora Alta	477	C	≈ 9.5 m

En la línea LSSM-1 (Sierra Morena), los materiales competentes son los más someros del estudio; el techo del cuerpo de alta velocidad asciende hasta 2 – 3 m de profundidad en el extremo oriental del tendido, en concordancia con los afloramientos del sector.

2.2.4.2.1 Condiciones geológicas y geomorfológicas

Con base en la información encontrada (secundaria, el análisis fotogeológico, el reconocimiento de campo y los registros de las investigaciones del subsuelo), nos permite obtener una caracterización temática (geológica, geomorfológica y morfodinámica) del sitio en estudio para su aplicación en la ingeniería geotécnica para el desarrollo del proyecto.

Como resultado de las actividades correspondientes se elaboraron los mapas temáticos finales (geológicos y geomorfológicos) a las escalas de detalle exigidas (plantas y perfiles requeridos, 1:2.000, etc.) y la complementación del informe correspondiente.

2.2.4.2.1.1 Condiciones geológicas

En este ítem se presenta la caracterización con fines ingenieriles de los materiales geológicos del sitio en estudio y sus alrededores. La geología aplicada a la ingeniería es un elemento de zonificación de las características y condiciones geomecánicas de los materiales (rocas y suelos) a nivel de superficie.
Desde el punto de vista temático (geología aplicada a la ingeniería), los materiales se pueden caracterizar en su estado físico, el cual permite determinar en forma semicuantitativa y cualitativa las propiedades geomecánicas, a fin de obtener una definición en unidades de comportamiento geológico-geotécnico.

2.2.4.2.1.2 Caracterización de las unidades geológicas

Dentro de los elementos o parámetros importantes a tener en cuenta para la caracterización de los materiales geológicos (rocas y suelos) presentes en el sitio de estudio, se tiene, el grado de meteorización, que constituye una variable de las propiedades geomecánicas, y por consiguiente un factor para la determinación la calidad de los materiales en función de la estabilidad de las laderas, así como a nivel del subsuelo, para la cimentación y estabilidad de las obras que sean requeridas dentro del proyecto.

- **Grado de Meteorización**

La meteorización, es el resultado de la desintegración y descomposición de los componentes de materiales geológicos en la superficie terrestre o próxima a ella, como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos y con la participación de los agentes biológicos, como consecuencia de la actuación de diferentes tipos de degradación, física y química, entre otros.

La relación entre el grado de meteorización y los tipos de materiales rocosos tienen que ver con la capacidad de desintegración y meteorización física, química y biológica, que sufren las rocas y suelos ante

los procesos dinámicos actuantes sobre ellas; esta alteración produce variación en las propiedades geológico-geomecánicas de dichos materiales.

La condición de meteorización influye de manera importante en la formación de los suelos residuales, la estabilidad de las laderas, en la acción de los procesos erosivos y gravitacionales, y la capacidad portante de los suelos, entre otros. Igualmente, el grado de meteorización de las rocas influye en forma importante sobre las propiedades físico – mecánicas de las mismas tales como: densidad, esfuerzo a la comprensión inconfinada, porosidad, permeabilidad, deformabilidad y consistencia, y en general en las propiedades geomecánicas.

En la caracterización de los materiales geológicos es necesario usar una descripción de la secuencia de horizontes del perfil de meteorización, la cual se puede utilizar con fines descriptivos.

De acuerdo con las diferentes investigaciones y guías temáticas (Ref. 6), se ilustra en la Figura 32, el perfil esquemático de meteorización de un macizo rocoso, con las características propias de los diferentes horizontes que la constituyen, y en la

Tabla 20 se presenta la escala general de grados de meteorización de un macizo rocoso (perfil general de meteorización), según diferentes autores, como un elemento guía para la caracterización y descripción de los materiales geológicos.

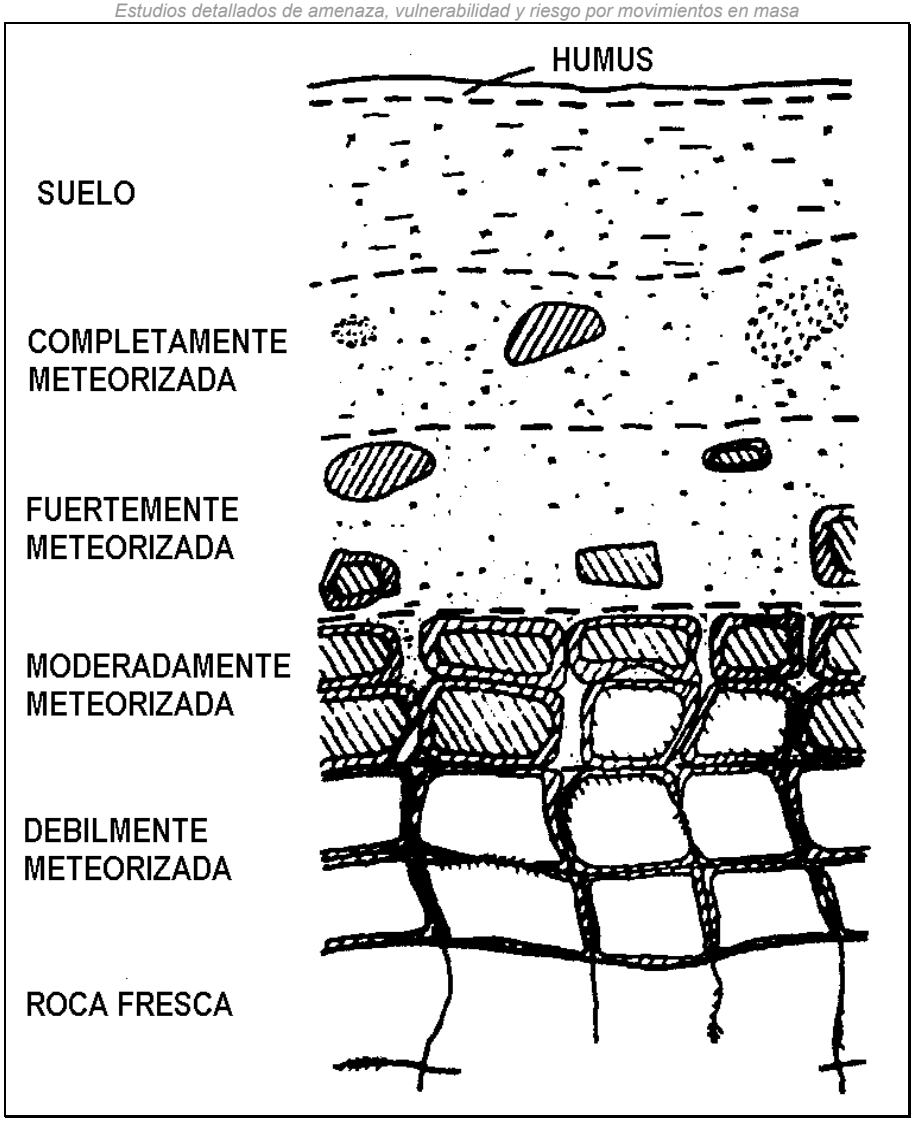


Figura 32. Perfil esquemático del grado de meteorización de una masa rocosa con las características propias de los horizontes que la constituyen.

Fuente: Tomado de Little, A. L., 1969, y adaptado de Ref. 6.

Tabla 20. Escala de grados de meteorización de un macizo rocoso (perfil general).

DEERE Y PATTON (1971) (Todas las rocas) ZONA		DEARMANN (1974, 1991) (Todas las rocas) ZONA	GRADO	UNIDAD	FORERO et al, (1999) (Todas las rocas)			DESCRIPCION CARACTERISTICAS DE CAMPO
I SUELO RESIDUAL	IA HORIZONTE A (Capa vegetal)	SUELO RESIDUAL (Sr)	VI	SUELO	SUELO	SUELO RESIDUAL TROPICAL (SUELO IN SITU) > 50 % Suelo		• 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 macrofábrica 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 (Rcm)	V		SAPROLITO FINO			• Roca decolorada pasando generalmente a colores variados. • Macizo rocoso completamente descompuesto y/o desintegrado a suelo, pero aun conservando algo de la macrofábrica 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, aún sin ayuda del martillo. Ocasionalmente pueden recobrarse núcleos. Suelos con estructuras heredadas.
II ROCA METEORIZADA	IA TRANSICION DESDE SAPROLITO HASTA ROCA METEORIZADA	ROCA ALTAMENTE METEORIZADA (Ram)	IV	ROCA Y SUELO MATERIAL INTERMEDIO	SAPROLITO GRUESO	SAPROLITO		• Roca decolorada y altamente alterada, el cual más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. • Fragmentos rocosos rompibles y desmenuzables sin ayuda del martillo. • Las estructuras (planos de estratificación, foliación, diaclasas y con fallas); se mantienen, en general se presentan oxidadas, abiertas, con o sin relleno. Saprolito con fragmentos pequeños de roca. • La meteorización esferoidal es común. • Presencia de fragmentos de roca sin meteorizar entre 35% y 70%.
	IIB ROCA PARCIALMENTE METEORIZADA	ROCA MODERADAMENTE METEORIZADA (Rmm)	III		MACIZO ROCOSO METEORIZADO	> 50 % ROCA		• La roca se presenta altamente decolorada con notable meteorización, en la cual menos del 50% del material rocoso esta 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 que no encontraban.
III ROCA NO METEORIZADA	III ROCA FRESCA	ROCA DEBILMENTE METEORIZADA (Rdm)	II	ROCA				• 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 que no en traban.
		ROCA NO METEORIZADA (FRESCA) (Rf)	I		MACIZO ROCOSO	NO METEORIZADO		• Roca fresca sin signos visibles de meteorización • Las discontinuidades mayores pueden presentar ocasionalmente decoloración y oxidación.

Fuente: tomado y adaptado de Ref. 5.

2.2.4.2.1.3 Caracterización de las unidades geológicas (condiciones geológico-geotécnicas)

Con base en la información obtenida (información de referencia y las investigaciones de campo), los materiales geológicos conformantes del sitio de estudio se clasifican teniendo en cuenta sus características físico – mecánicas, desde el punto de vista ingenieril. En el área de ubicación del sitio de estudio (Sierra

Morena-Corte vial) y sus alrededores, se identificaron materiales geológicos (rocas, R), agrupados en la Formación Guaduas, conjunto medio, K2E1gm), y materiales de suelos (S), correspondientes a depósitos coluviales (Qc, Qcr), y de naturaleza antrópica (relleno antrópico, Qra, y relleno ingenieril, Qri).
En la siguiente figura se ilustra el mapa y los perfiles geológicos del sitio de estudio.

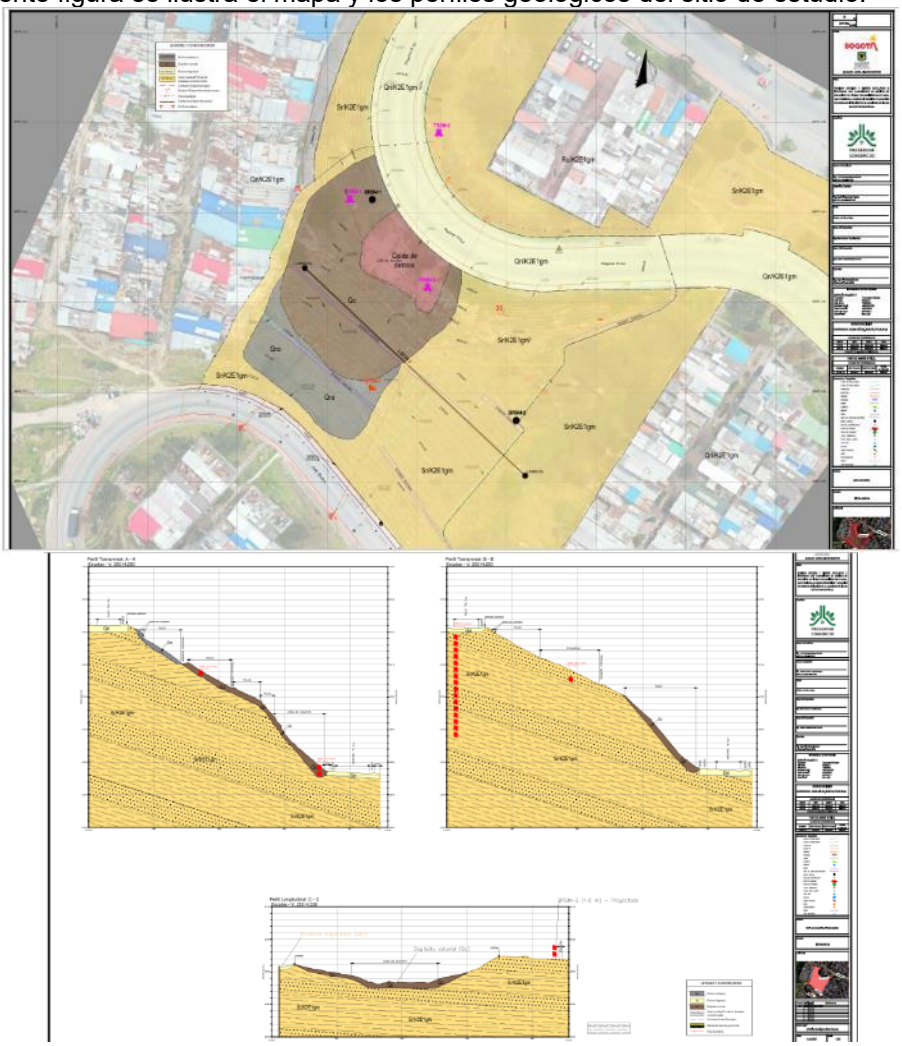


Figura 33. Mapa y perfiles geológicos. Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.2.1.3.1 Unidad de rocas (R) (Formación Guaduas, Conjunto Medio, K2E1gm)

De acuerdo con la información obtenida (investigaciones de campo, BRSM-2 y SSM1), esta unidad, se encuentra constituida por una secuencia interestratificada (intercalaciones) de niveles de areniscas, color amarillo, grano fino a medio, de arcillolitas, color amarillo; las rocas presentan, una consistencia media a dura, en estratos delgados a medios, moderadamente meteorizadas y poco fracturadas.

En la siguiente figura se presentan las características de las rocas presentes en el sitio de estudio y sus alrededores.



Figura 34. Ilustración por fotografías de los afloramientos rocosos del sitio de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Los estratos rocosos presentan como elementos estructurales, (R/B), N60°W/20°NE.

2.2.4.2.1.3.2 Unidad de suelos (s) (depósitos coluviales y antrópicos)

La unidad de suelos está conformada por depósitos coluviales antiguos (Qc) y subrecientes (Qcr); depósitos antrópicos (relleno de escombros, Qra, y depósitos de relleno ingenieril, Qri).

- **Depósitos coluviales (Qc)**

  Los depósitos coluviales corresponden a depósitos antiguos presentes en la parte baja de las laderas y ubicados en la parte norte y sur oriental del sitio de estudio, resultado de procesos de inestabilidad (deslizamientos) igualmente antiguos.

  De acuerdo con la información del barreno 1 (están constituidos por Bloques de areniscas, de tamaño y forma heterométrica, en matriz areno-limosa, de color amarillo; estos depósitos presentan buena consistencia, cuyo espesor puede alcanzar los 10.00m, y sobre este tipo de materiales se presentado desarrollo urbanístico importante.

- **Depósitos coluviales subrecientes (Qcr)**

Estos depósitos se presentan en la parte intermedia del sitio de estudio, originados por procesos de inestabilidad subreciente (deslizamientos), generados posiblemente como resultados de la explotación de fuentes de materiales del sector. Están constituidos por bloques de arenisca y arcillolitas, embebido en una matriz arena-arcillosa-limosa, de color amarillo claro; estos materiales presentan una consistencia baja. De acuerdo con la información de los registros sísmicos (línea LSSM-1), presentan espesores de hasta 3.00m; igualmente este depósito ha sufrido inestabilidad reciente (caída de detritos) en el talud superior de la vía.



Figura 35. Ilustración por fotografías de los depósitos coluviales (Qc) antiguos y subrecientes (Qcr).
***Fuente:** Elaboración propia.*

- **Depósitos de relleno de escombros (Qra)**

Corresponden a materiales resultantes principalmente del desarrollo de la vía que atraviesa la zona en su parte superior del sitio. Están constituidos por materiales de composición y tamaño heterogéneos.

Depósitos de relleno de relleno ingenieril (Qri)

Corresponden a materiales resultantes del desarrollo urbanístico de los alrededores del sitio (capas de base y subbase de las vías y viviendas), están constituidos por bloques y fragmentos de areniscas, en matriz areno-limosa, cuyos espesores oscilan entre 0.50m-1.50m, aproximadamente.

2.2.4.2.2 Condiciones geomorfológicas

2.2.4.2.2.1 Condiciones geomorfológicas

Desde el punto de vista geomorfológico, el sitio de estudio y sus alrededores presenta como características morfológicas: i) subunidades de ambiente/origen estructural (ladera estructural), y ii) subunidades de ambiente denudacional, de origen antrópico.

- **Subunidades de origen Estructural (S)(Ladera estructural, Sle)**

  Se hace referencia a las geoformas originadas por la influencia de la actividad tectónica sobre los macizos rocosos, generando expresiones en general de pendiente alta a muy alta, así como por la disposición de sus estratos con respecto a la pendiente del terreno, en las cuales el buzamiento de los estratos rocosos muestran una dirección en el mismo sentido de la pendiente de las laderas/taludes del sector, las cuales son indicadas en los afloramientos rocosos presentes en el sitio(margen izquierda de la vía (sentido sur norte).

  Esta subunidad conforma los terrenos de la parte occidental del sitio. Las rocas para el sitio muestran como datos estructurales (Rumbo/Buzamiento), N60°W/20°NE. Como procesos morfodinámicos se observa desarrollo de erosión, en general de tipo laminar y en surcos, y procesos de inestabilidad antiguos y subrecientes (deslizamiento/caída de detritos.
  En las siguientes figuras se ilustran el mapa geomorfológico del sitio de estudio, fotografía del lugar, las subunidades y elementos geomorfológicos del sector.

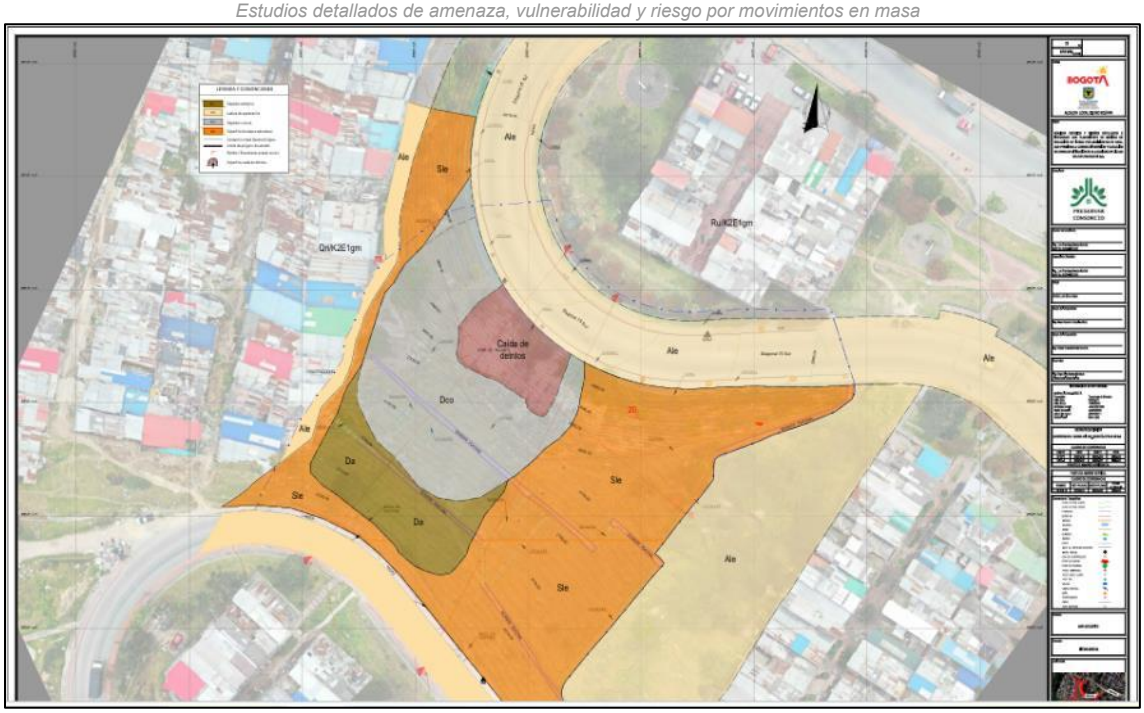


Figura 36. Mapa geomorfológico del sitio de estudio, correspondiente a Sierra Morena.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 37. Ilustración en fotografía de las subunidades/elementos geomorfológicos del sitio de estudio.

Convenciones: ***(Seco),*** ladera estructural; **(De),** superficie de depósito coluvial; **(Dcr**), superficie de depósito coluvial subreciente, y el proceso de inestabilidad.

- Subunidades de Ambiente Denudacional (D)

Corresponde a superficies de forma irregular, generadas por la erosión, remoción y acumulación de materiales (suelo y/o roca) en la parte media baja de las laderas, las cuales por efectos hidro-gravitacionales sobre materiales, han generado por lo tanto superficies con pendientes de menor inclinación a las laderas adyacentes, conformado superficies de los depósitos coluviales antiguos (Qc) y subrecientes (Qcr) dentro de la zona de estudio y sus alrededores.

- Superficies de depósitos coluviales antiguos (Dc).

Corresponden a geoformas originadas por movimientos de inestabilidad antiguos ocurridos en el sector norte del área; presentan una morfología de pendientes moderadas a altas.

- Superficies de depósitos coluviales subrecientes (Dcr).

Se hace referencia a geoformas menores /elementos originados por movimientos de inestabilidad subrecientes presentes en la parte intermedia de los terrenos conformantes del sitio; presentan una morfología de pendientes moderadas a altas.

- Subunidades/elementos de origen antrópico (a)

Se hace referencia a geoformas menores/elementos, correspondientes a superficies de depósitos de escombros (Da) y superficies de laderas de explanación (Ale)para el desarrollo urbanístico (viviendas y vías de comunicación).

2.2.4.2.2.2 Condiciones morfodinámicas (procesos morfodinámicos)

Desde el punto de vista morfodinámico, el sitio Sierra Morena se encuentra influenciado principalmente por un proceso de inestabilidad de tipo caída de detritos, que ha afectado la parte baja de la ladera de la zona (talud superior izquierdo de la vía en sentido sur-norte. Este fenómeno se desarrolla en materiales inconsolidados del depósito coluvial subrecientes (Qcr), sobre una ladera de pendiente muy alta a abrupta.

Como procesos morfodinámicos menores en intensidad y magnitud se presentan los fenómenos erosivos de tipo laminar y en surcos.

2.2.4.2.2.3 Inventario de procesos morfodinámicos

Dentro de la zona del sitio de estudio, se presenta como procesos morfodinámicos /inestabilidad único y correspondiente a un movimiento tipo caída de detritos que afecta materiales de depósitos coluviales subrecientes presentes en la ladera/talud superior izquierdo de la vía.

En la siguiente figura se ilustra en fotografía el proceso de morfodinámico/caída de detritos.

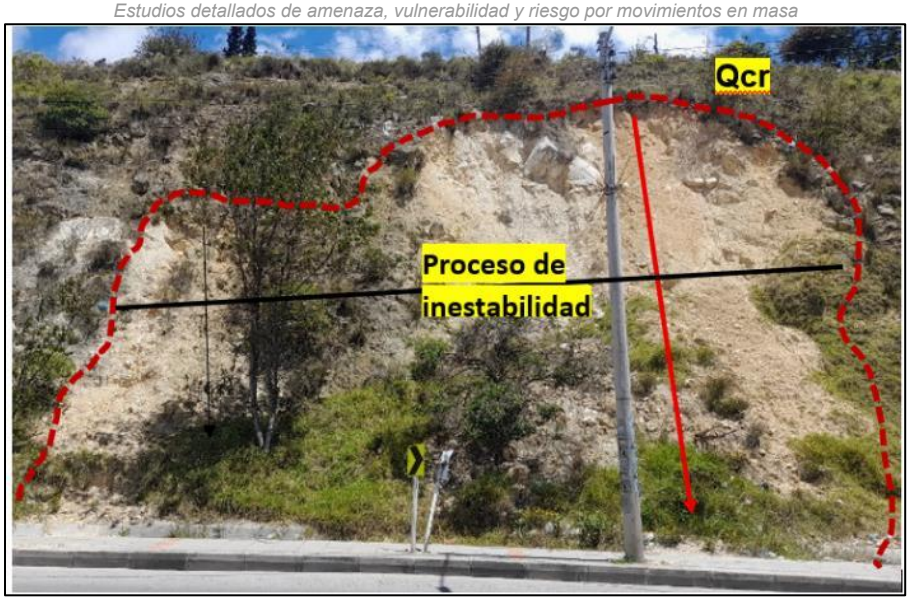


Figura 38. Ilustra en fotografía del proceso de morfodinámico/caída de detritos presente en el sitio de estudio.

2.2.5 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los objetivos y los alcances de los términos de referencia para el desarrollo del estudio del sitio Sierra Morena-Corte Vial, se presenta en este numeral, las conclusiones y recomendaciones, teniendo en cuenta, los elementos de la información de referencia obtenida, de la fotointerpretación de aerofotografías, del reconocimiento de campo y de la información de las investigaciones del subsuelo, del análisis de los aspectos temáticos correspondientes entre los que se tienen como fundamentales: geología, geomorfología, procesos morfodinámicos, aspectos morfológicos, entre otros, para lo cual se obtiene las siguientes consideraciones:

1- El área de estudio y sus alrededores desde el punto de vista geológico regional, se encuentra constituida fundamentalmente por rocas sedimentarias, agrupadas en la unidad, Formación Guaduas, conjunto medio (K2E1gm), y depósitos Cuaternarios de origen coluvial (Qc) y antrópico (Qan).
2- Desde el punto de vista geomorfológico, en la zona de influencia directa e indirecta del sitio en estudio, son el resultado de la dinámica de los complejos procesos tectónicos relacionados al levantamiento de la Cordillera Oriental, con la generación para el sector, de subunidades/elementos de ambiente estructural-denudacional (laderas estructurales, Sle), y de origen denudacional (depósitos coluviales, Dc).
3- Desde el punto de vista morfológico, el área se caracteriza por presenta terrenos de características variadas, desde sectores con pendiente suave a moderada hasta laderas con pendientes muy altas hasta abruptas.
4- Con base en los análisis de los diferentes elementos temáticos, en el sitio de estudio se presentan como procesos morfodinámicos para relacionar, movimientos de inestabilidad, de tipo caída de detritos, de magnitud local y de importancia, el cual ha afectado desde hace unos años a las laderas/taludes de la parte baja del sector margen izquierda de la vía (sentido sur-norte).
5- Dentro de las investigaciones complementarias para la caracterización geológica-geotécnica de los materiales del corredor en estudio, se programaron y ejecutaron apiques, barrenos, trincheras al igual que sondeos con profundidades hasta de 31.00m. Igualmente, se realizó investigación con líneas sísmicas.

2.3 COMPONENTE DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO.

En el anexo 3. Cartografía, se presentan los archivos correspondientes a la cartografía donde se incluye la localización de las tres áreas de intervención, el inventario forestal realizado, sobre las coberturas de la tierra, bajo la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.

Las coberturas de la Tierra fueron interpretadas a partir de una ortofoto del IDECA de la cuidad de Bogotá y una imagen o base map de Esri para el año 2026, permitiendo observar dinámicas o no. Para el barrio Sierra Morena se encontraron 2 coberturas. En las siguientes tablas se presentan la interpretación del año 2017 y los resultados del 2026.

Tabla 21. Coberturas de la tierra año 2017.

UNIDAD VEGETAL	NIVELES CORINE LAND COVER (CLC)					AREA (m2)	%
	2	3	4	5	6		
SIERRA MORENA							
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial y terrenos asociados			1428,27	17,60
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.3. Pastos	2.3.3 Pastos enmalezados				6687,32	82,40
TOTAL						8115,59	100

Fuente: Consorcio Preservar, 2026

La cobertura más amplia la posee el barrio Sierra Morena con 8115,59 m^2.

Particularmente, entre el 2017 y 2026 el área presentada en la siguiente figura se tiene un incremento de individuos leñosos y especies pioneras, evidenciando un proceso sucesional inicial. Sin embargo, la cobertura dominante continúa siendo herbácea, con presencia de pastos altos, arbustos dispersos y pequeños parches de suelo desnudo, por lo que se mantiene la clasificación como pastos enmalezados.

Figura 39. Coberturas de la tierra 2017 y 2026 Sierra Morena.



Fuente: Consorcio Preservar, 2026

Tabla 22. Coberturas de la tierra año 2026.

UNIDAD VEGETAL	NIVELES CORINE LAND COVER (CLC)					AREA (m2)	%
	2	3	4	5	6		
SIERRA MORENA							
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial y terrenos asociados			1499,56	18,48
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.3. Pastos	2.3.3 Pastos enmalezados				6616,21	81,52
TOTAL						8115,77	100,00

Fuente: Consorcio Preservar, 2026

Las coberturas de la tierra de los diferentes barrios están representadas por áreas intervenidas, consecuencia de la construcción de vías que dejan áreas estabilizadoras y en conjunto con el análisis multitemporal, no es apreciable un aumento significativo de individuos y/o cambio en las dinámicas intrínsecas de la cuidad, para generar un cambio de cobertura significativo. Entre las más importantes están los pastos, que en el contexto urbano puede ser parte de otras zonas verdes como resultado de un manejo del arbolado, sendero o caminos. Pero, cuando eso no sucede y se abandona el área, empiezan a presentarse una regeneración natural, esto sucede en Sierra Morena, pese a presentar la mayoría de los individuos, estos no pasan de 2 m en promedio de altura total, con especies como Chilco de tipo arbustivo e individuos aislados de acacias su cobertura permanece como pastos enmalezados.

2.4 EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL

2.4.1 METODOLOGÍA

La metodología apropiada para obtención de los caudales máximos de escorrentía superficial para diseño de las estructuras hidráulicas de conducción y descarga, es el método racional adecuado para microcuencas hidrográficas aferentes de hasta 2.5 km^2 de área, según se especifica en el Manual de Drenaje del INVÍAS; este método se apoya en las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia IDF.

2.4.2 DEFINICIÓN AREAS DE APORTE O SUBCUENCAS

Para la zanja de coronación o canal proyectado de escorrentía superficial de las aguas lluvias, se halló el área aportante de 2,113 m^2 que se presenta en la planta de la **Figura 40**, anotando que, dicha área es la misma sin o con proyecto.

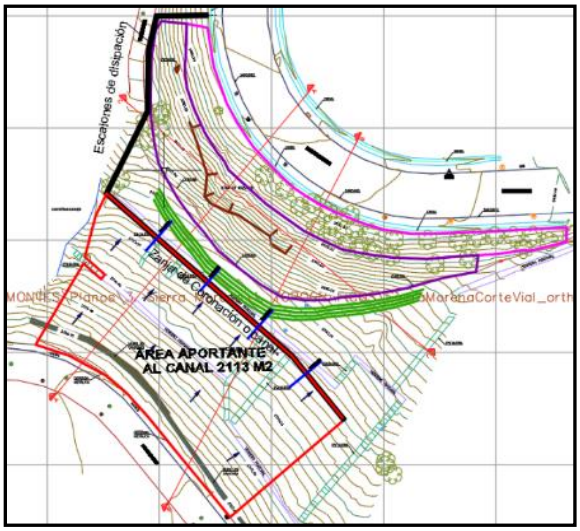


Figura 40. Planta de localización de la zanja de coronación o canal de aguas lluvias proyectado, con el área aportante de escorrentía superficial.

2.4.3 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS REGISTROS HIDROCLIMATOLÓGICOS

De acuerdo con las redes de las estaciones hidrometeorológicas existentes en la zona, se dispone de la estación climatológica ordinaria Sierra Morena (Código 21202170) del INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO – IDIGER, aunque en la página del IDEAM aparece como Colegio Sierra Morena Sede A (Código 2120500202), como se observa en el mapa de la **Figura 41**, con registros históricos desde octubre del 2000, siendo las mismas coordenadas geográficas y ubicación en ambas entidades.

Las precipitaciones mensuales totales y máximas en 24 horas, se adjuntan en el **Anexo D1**.

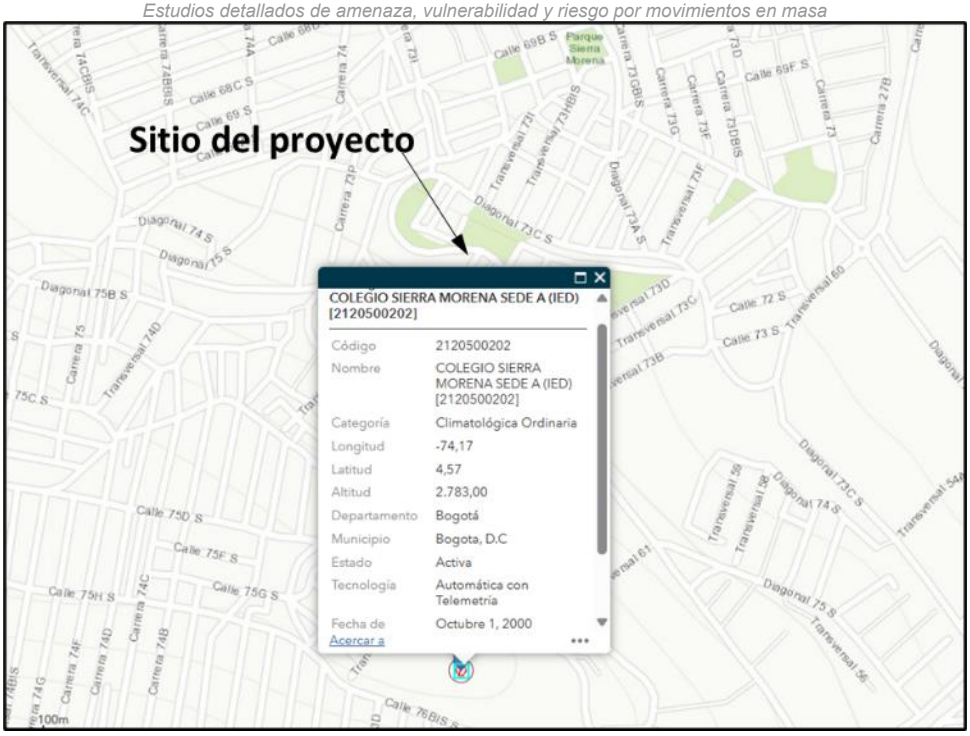


Figura 41. Estación climatológica ordinaria del IDIGER
Fuente: Página web del IDEAM.

1.1.1.1 Precipitaciones Medias

Las precipitaciones medias mensuales multianuales de la estación climatológica ordinaria Colegio Sierra Morena del IDIGER, se presentan en la **Figura 42**, donde se aprecia una distribución de tipo bimodal, con valores máximos en los meses de abril y mayo para el primer semestre y octubre a noviembre para el segundo y mínimos entre enero y febrero y a mediados del año entre octubre y noviembre en el período de verano; la precipitación media anual en la estación meteorológica es de 612 mm.

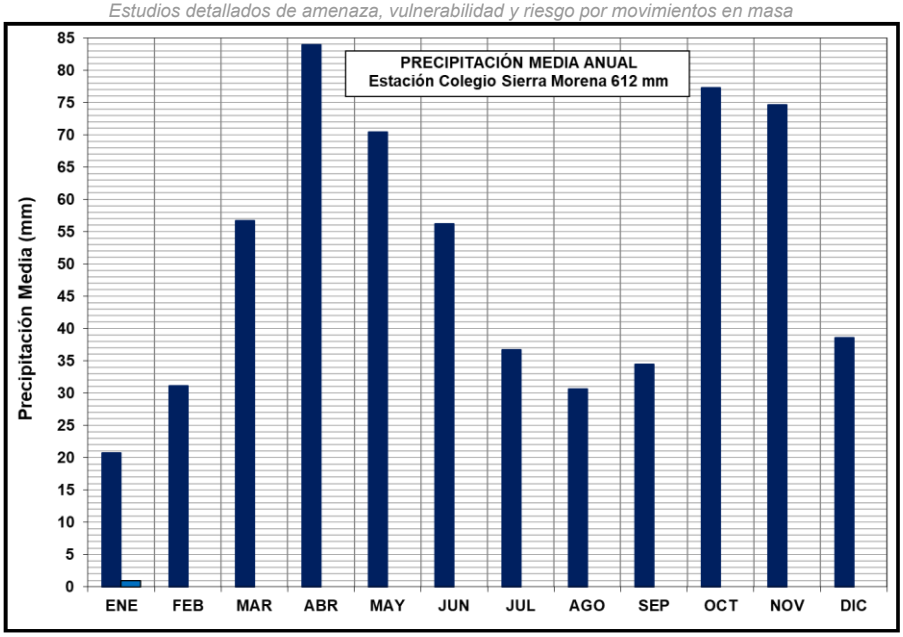


Figura 42. Distribución de las Precipitaciones medias mensuales en la estación meteorológica Colegio Sierra Morena del IDIGER. Período 2000-2026

Fuente: Elaboración propia con información del IDIGER.

2.4.3.1 Precipitaciones Máximas

Las precipitaciones máximas en 24 horas mensuales multianuales en la estación meteorológica Colegio Sierra Morena del IDIGER, cuya distribución durante el año se observa en la **Figura 43**¸ no presenta una configuración definida; el valor máximo de 68.7 mm se presenta en el mes de abril y bajos en los meses del período de verano entre enero y febrero de 19.5 mm.

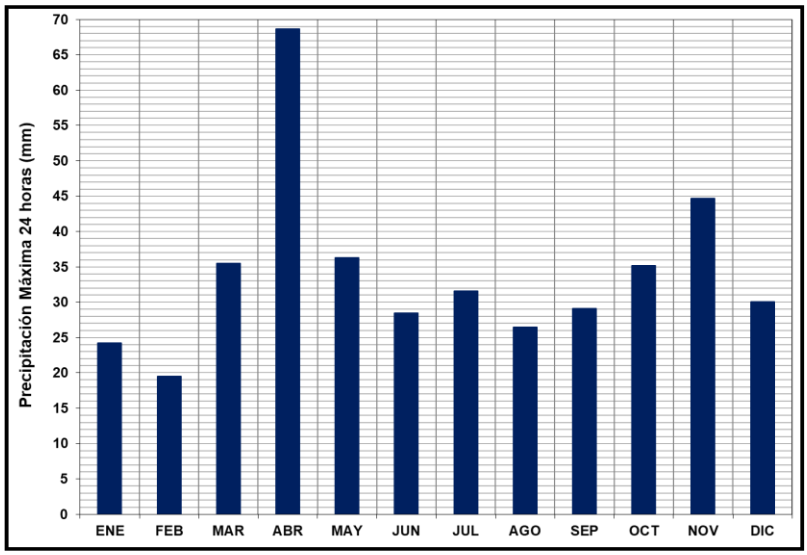


Figura 43. Distribución de las Precipitaciones máximas en 24 horas mensuales multianuales en la estación meteorológica Colegio Sierra Morena. Período 2000-2026.

Fuente: Elaboración propia con información del IDIGER

2.4.4 LLUVIAS CRITICAS O DE DISEÑO

2.4.4.1 Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia IDF

Las curvas de intensidad, duración y frecuencia IDF de las lluvias máximas, resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno; gráficamente expresan de cuan intensa es una precipitación, en función de cuánto dura el episodio de lluvia y con que, probabilidad puede excederse ese episodio de lluvias.

Para el presente estudio, dichas curvas fueron suministradas por el Área de Hidrología dependencia de la Dirección de Ingeniería Especializada de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB, para las coordenadas del sitio del proyecto en Sierra Morena, cuya ecuación y coeficientes se presentan en la **Tabla 23**, disgregados para diversos períodos de retorno.

Tabla 23. Ecuación de las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia IDF en el sitio del proyecto Sierra Morena, según la EAAB.

Ecuación cálculo curvas IDF

$$INTENSIDAD = C_1 \left(DURACIÓN + X_0 \right)^{C_2}$$

Tabla coeficientes ecuación IDF

Id	Punto (E,N) EPSG:3116	Tiempo de retorno 3 años			Tiempo de retorno 5 años			Tiempo de retorno 10 años			Tiempo de retorno 25 años			Tiempo de retorno 50 años			Tiempo de retorno 100 años		
		C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2
0	989736,998083	1716.65	20.7	-0.99637	1979.75	19.6	-0.99679	2458.13	19.5	-1.00891	2996.89	19.2	-1.01392	3595.85	19.6	-1.02871	3991.03	19.3	-1.03009

NOTAS:

1) Unidades en la aplicación de la ecuación IDF: Intensidad [mm/h], Duración [min]

2) Sistema de Referencia de Coordenadas: MAGNA-SIRGAS / Zona Bogotá Colombia, EPSG 3116.

Fuente: Área de Hidrología – Dirección de Ingeniería Especializada de la EAAB.

2.4.4.2 Lluvia Crítica en Movimientos de Masa

2.4.5 RELACIONES ENTRE LA LLUVIA ANUAL Y LA LLUVIA CRÍTICA QUE DISPARA LOS MOVIMIENTOS EN MASA

La lluvia es el evento o parámetro hidrológico que dispara con mayor frecuencia los fenómenos de remoción en masa, por esta razón los autores descritos al pie de página[1], desarrollaron algunas relaciones de precipitación crítica y duración de lluvias que disparan movimientos en masa en Colombia y su relación con la lluvia anual de cada lugar.

Las lluvias tienen características variables definidas por su intensidad, duración y distribución, por esta razón los umbrales de falla por lluvia varían de un sitio a otro debido a las condiciones locales tanto de la precipitación como de la ladera.

[1] *Relaciones entre la Lluvia Anual y la Lluvia Crítica que dispara Movimientos en Masa. IX Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Ingenieros Álvaro González y Ramiro Castellanos*.

Cuando se cuenta con una buena información pluviométrica, o mejor aún pluviográfica de una zona determinada, es posible identificar los períodos de lluvia, su distribución espacial y temporal y cuantificar la relación intensidad-duración o los volúmenes de agua que han caído como precipitación en determinadas épocas, especialmente, coincidiendo con la ocurrencia de deslizamientos.
Las relaciones de Precipitación-Frecuencia de cada evento, tienden a demostrar que existe una relación evidente entre los movimientos en masa y las lluvias antecedentes al evento y el umbral de falla se alcanza cuando se presenta un volumen acumulado de lluvia que se obtiene con una duración específica, la cual se denomina *Duración Crítica*.

La cantidad de lluvia requerida para disparar deslizamientos, tiende a ser mucho mayor en las zonas donde la precipitación anual es alta que en aquellas zonas con precipitaciones anuales bajas.

En general, la lluvia acumulada crítica (LLcr) está relacionada con la lluvia anual (LLa) en forma lineal, mientras que la duración de la lluvia (Dr) se relaciona de manera exponencial con la lluvia acumulada crítica, relaciones que se expresan en las siguientes ecuaciones:

$$\mathbf{LLcr\ (mm) = 51 + 0.41\ LLa(mm)}$$
$$\mathbf{Dr\ (días) = 3.3\ (LLcr)^{0.42}}$$

Donde:

LLcr = Lluvia crítica en mm
LLa = Lluvia Anual en mm
Dr = Duración de la Lluvia en días o Duración crítica

No se ha logrado establecer una relación confiable entre el período de retorno y la lluvia acumulada crítica, por lo que este análisis se debe efectuar para cada caso en particular.

La duración de la precipitación crítica es diferente para los deslizamientos y avalanchas. La duración de la lluvia antecedente a la ocurrencia de las avalanchas, tiende a ser de 1, 5 ó 10 días y en algunos casos hasta de 45 días.

Los deslizamientos presentan en general una duración crítica en algunos eventos hasta de 90 días, siendo la precipitación en este tiempo o precipitación crítica del orden de 44% de la precipitación anual.
Para el cálculo del factor de seguridad o probabilidad de falla durante el análisis de estabilidad de un talud, se deberá considerar una lluvia de diseño con período de retorno superior o igual al identificado para la lluvia crítica que dispara movimientos en masa en la región.

El factor de seguridad se incrementa con un adecuado programa de estabilización que involucre sistemas de drenaje tanto superficial como subsuperficial y profundo, diseñados y proyectados para una lluvia de características similares o mayores a la lluvia identificada como crítica.

2.4.6 APLICACIÓN PARA EL PRESENTE ESTUDIO

Desarrollando el análisis descrito para la estación meteorológica representativa Colegio Sierra Morena, la duración crítica media anual oscila entre 28 y 41 días, siendo en promedio de 36 días; para fines prácticos y con el fin de estar por el lado de la seguridad, se consideró inicialmente una duración crítica de 60 días, graficando para cada mes los porcentajes máximos de las lluvias acumuladas en dos meses consecutivos con relación a la lluvia anual, según se presenta en la **Figura 44**. Adicionalmente, se calculó la duración crítica de 30 días cercana a la calculada de 36 días, según se observa en la **Figura 45**.

El porcentaje anual de la lluvia crítica con relación a la lluvia anual constante para los 12 meses del año que representa el umbral crítico promedio, es del 50%, oscilando entre 47 y 59%, porcentajes iguales para ambas duraciones críticas graficadas de 30 y 60 días. Los cálculos de este procedimiento se adjuntan en el **Anexo D2**.

Como se aprecia en las gráficas de las figuras antes descritas, la relación en porcentaje de la lluvia máxima acumulada con relación a la lluvia anual para las duraciones graficadas de 30y 60 días, no superan las granjas de los umbrales críticos, por lo tanto, desde el punto de vista hídrico no se esperan movimientos en maza o deslizamientos por acumulación de aguas en la ladera; sin embargo, se debe tener en cuenta que este análisis se basa en las pocas investigaciones elaboradas sobre deslizamientos en el territorio nacional y las ecuaciones planteadas son muy generales, lo que podría originar sesgos en los resultados por defecto y aún por exceso, por lo que se requiere ajustar dichas ecuaciones a áreas locales o departamentales para una mayor precisión.

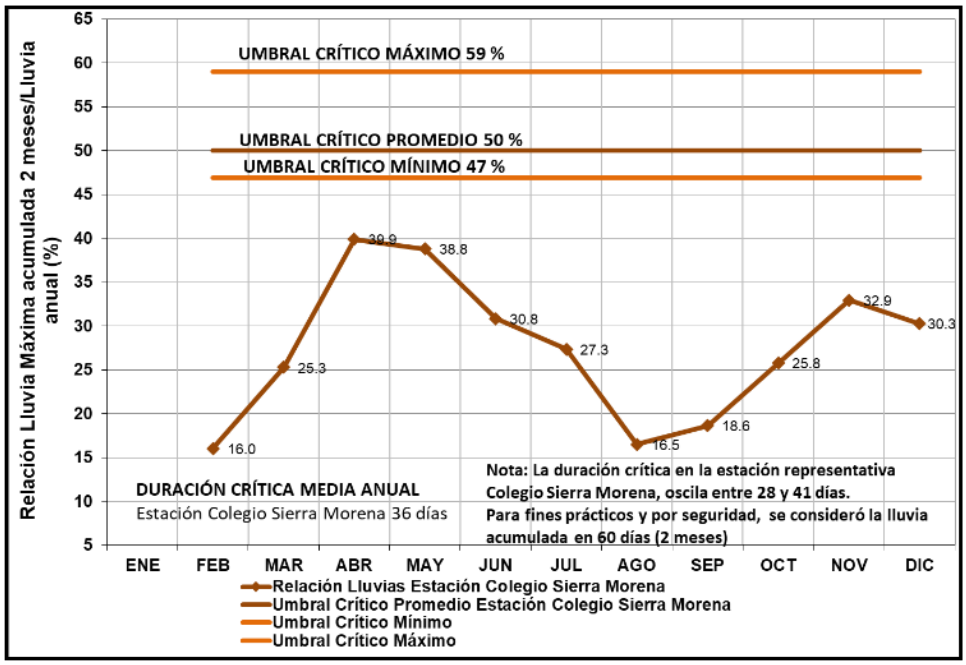


Figura 44. Porcentaje mensual de la lluvia máxima acumulada en 60 días, con relación a la lluvia anual y umbrales críticos que definen la ocurrencia de movimientos en masa.

Fuente: Elaboración propia con información de estaciones del IDIGER y el artículo de las IX Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Ingenieros Álvaro González y Ramiro Castellanos.

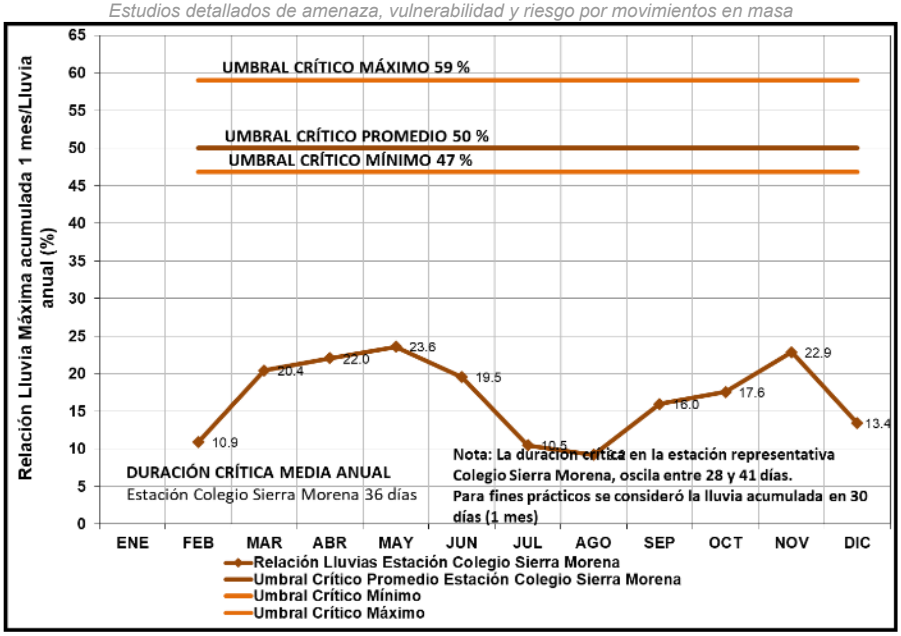


Figura 45. Porcentaje mensual de la lluvia máxima acumulada en 30 días, con relación a la lluvia anual y umbrales críticos que definen la ocurrencia de movimientos en masa.

Fuente: Elaboración propia con información de estaciones del IDIGER y el artículo de las IX Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Ingenieros Álvaro González y Ramiro Castellanos.

2.4.7 CALCULO CAUDALES DE ESCORRENTÍA

2.4.7.1 Método Racional

Para el cálculo de los caudales máximos aferentes a las estructuras de drenaje superficial proyectadas, se aplicó el método racional adecuado para áreas de microcuencas hidrográficas hasta de 2.5 km^2 y los siguientes aspectos básicos:

2.4.8 PERÍODOS DE RETORNO DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PROYECTADAS

Los períodos de retorno para diversas estructuras hidráulicas, según lo descrito en la Tabla 13.1.1 de la nota bibliográfica a pie de texto[2] son los siguientes:

Cunetas, escalones de disipación y alcantarillas: 10 años
Box-culverts o alcantarillas de cajón: 20 años
Pontones: 50 años
Puentes: 100 años

Por las características del proyecto, para los diseños de las cunetas y la zanja de coronación, se asumió un período de retorno general de 10 años.

[2] *Hidrología Aplicada de Ven Te Chow.*

El cálculo de los caudales máximos para diversos períodos de retorno se efectuó por el método racional aplicable a cuencas hasta de 250 hectáreas (2.5 Km^2) según el Manual de Drenajes de INVÍAS, mediante la expresión relacionada a continuación:

$$Q_{Tr} = 0.278\ C\ I_{Tr}\ A$$

Donde:

Q_{Tr} = Caudal máximo en m^3/s para un período de retorno "Tr".
C = Coeficiente de escorrentía adimensional
A = Área de drenaje, en km^2.
I_{Tr} = Intensidad de la lluvia en mm/h para un período de retorno "Tr" y una duración de lluvia igual al tiempo de concentración.

El procedimiento de la obtención de los parámetros básicos del Método Racional, como son el coeficiente de escorrentía, se describe más adelante y la intensidad de la lluvia para el área de la cuenca hidrográfica aferente.

2.4.9 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda una gota de agua, precipitada en el punto más lejano de la cuenca, en llegar hasta el sitio de interés. Cuando el tiempo de concentración es igual a la duración de la lluvia se produce el máximo aporte simultáneo de toda la cuenca hidrográfica, es decir el caudal máximo de escorrentía[4]; con dicha duración se obtiene de las curvas IDF la intensidad máxima de lluvia para los diversos períodos de retorno considerados.
En este subcapítulo se describen las cuatro metodologías utilizadas en el presente estudio:

- **Método de Kirpich**

Dentro de las formulaciones para el tiempo de concentración, se utiliza la fórmula de Kirpich, adecuada para pendientes del cauce entre 3 y 10%, que corresponde a la siguiente ecuación:

$$T_c = 0.000325 * \frac{L^{0.77}}{J^{0.385}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración en horas
L = Longitud del cauce principal en metros
J = Pendiente media o ponderada del cauce principal en m/m

- **Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos**

$$T_c = 0.3 * \frac{L^{0.76}}{J^{0.19}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de Concentración en horas
L = Longitud del cauce en km
S = Pendiente media del cauce en m/m

- **Californiana**

Expresión deducida de Kirpich según datos de Ramser, adoptada por la Dirección General de Carreteras y el State of California Division of Highways.

[4] *Chow, V.T. Handbook of Applied Hydrology*.

$$T_c = 0.066 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración en horas
L = Longitud del cauce principal en km
J = Pendiente media del cauce principal en m/m

- **Ven Te Chow**

$$T_c = 0.197 * \frac{L^{0.64}}{S^{0.32}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración en horas
L = Longitud del cauce principal en km
J = Pendiente media del cauce principal en m/m

Como tiempo de concentración representativo se consideró el promedio de los cuatro métodos aplicados, estableciendo un umbral mínimo de 10 minutos cuando resultan tiempos inferiores, como es el caso de todas las áreas hidrográficas aferentes a las estructuras de drenaje.

2.4.10 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía en cada subcuenca se definió mediante la evaluación de los coeficientes parciales en las diversas áreas que las componen, acorde con la delimitación de las características del terreno, cubierta vegetal y pendiente media, en función del período de retorno, de acuerdo con los recomendados por Chow (1988).
Aunque el coeficiente de escorrentía medio en una subcuenca, es la suma del producto de los coeficientes y las áreas parciales, ponderándolo con relación al área total de la subcuenca; para el presente estudio al resultar muy pequeñas las áreas aferentes a las estructuras proyectadas, se escogió un solo tipo de suelo predominante, clasificado como áreas desarrolladas con la condición promedio con cubierta de pasto mayor del 75% del área, con pendiente promedio 2 a 7%, según se describen en la **Tabla 24**

Tabla 24. Coeficientes de Escorrentía propuestos

Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años) 2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58

Fuente: Chow, V. T. Maidment, D. R. Mays, L.W, Hidrología Aplicada, 1988.

Tabla 25. Coeficientes de escorrentía obtenidos para el área aportante a la zanja de coronación o canal

ÁREA APORTANTE	CARACTERÍSTICA DE LA SUPERFICE	PENDIENTE ÁREA APORTANTE%	COEFICIENTE (años)[1] 2.33	5	10	25	50	100	ÁREA PARCIAL m^2	ÁREA APORTANTE TOTAL m^2	Cálculo Coeficientes de Escorrentía $C_{2.33} \times$ Área	$C_5 \times$ Área	$C_{10} \times$ Área	$C_{25} \times$ Área	$C_{50} \times$ Área	$C_{100} \times$ Área
Sierra Morena	Concreto/Techo	60.6	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	68	2113	51.0	54.4	56.4	59.8	62.6	66.0
Zanja o Canal	Pastizales		0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	2045		756.7	818.0	858.9	940.7	1002.1	1083.9
										Suma	807.7	872.4	915.3	1000.5	1064.6	1149.8
										Coeficiente Escorrentía	**0.38**	**0.41**	**0.43**	**0.47**	**0.50**	**0.54**

[1] Tomado de la Tabla 15.1.1 Coeficientes de Escorretía para ser usados por el Método Racional. Hidrología Aplicada Ven Te Chow, pág.511

2.4.11 PROCEDIMIENTO CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO

El procedimiento de cálculo se desarrolló obteniendo inicialmente los caudales máximos del área aportante, para diversos períodos de retorno, aplicando el método racional, los que se describen en la **Tabla 26**.

Tabla 26. Cálculo de los caudales máximos de escorrentía superficial esperados en la zanja de coronación o canal proyectado, para diversos períodos de retorno

Zona	Estructura	Período de Retorno	Parámetros áreas aportantes Area (m^2)	Coeficiente Escorrentía	CxA	L (m)	ΔH (m)	S (m/m)	Tconc. (min)	Intensidad (mm/h)	Qescorrentía (m^3/s)
Sierra Morena	Zanja o Canal	**10**	2,113	0.43	908.590	29.7	18.00	0.6061	10.00	80.9	0.020
		25		0.47	993.110					97.9	0.027
		50		0.50	1056.500					110.2	0.032

2.4.12 MODELACIÓN HIDRÁULICA

2.4.12.1 Generalidades

Los parámetros dinámicos en el canal de conducción de aguas lluvias, se generaron por el modelo hidráulico matemático denominado Hec Ras V6.5 del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, simulando el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno.

2.4.12.2 Descripción General del Modelo Unidimensional Hec Ras

El Modelo Matemático HEC-RAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos denominado "Water Surface Profiles", calcula además de las características geométricas tales como el área, perímetro mojado, radio hidráulico y la profundidad media, las características dinámicas como velocidades y esfuerzos del flujo, la pendiente hidráulica y el número de Froude entre otros e indirectamente el factor hidráulico, para las condiciones de un tipo de flujo permanente o no permanente, uniforme y no uniforme y perfil gradualmente variado en canales naturales o artificiales no prismáticos.
Este procedimiento está basado en solucionar la ecuación unidimensional de energía con las pérdidas por fricción evaluadas por medio de la ecuación de Manning y el método convencional por pasos; en el presente estudio se consideró un tipo de flujo permanente y no uniforme.

2.4.12.3 Resultados de la modelación hidráulica unidimensional para el canal de aguas lluvias

Para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno en el canal proyectado con magnitud 0.020 m^3/s, mediante la modelación hidráulica unidimensional con el programa Hec Ras V6.5, resultados que se describen en la
Tabla 27, se obtuvo en el tramo en estudio de 73.3 m, un régimen de flujo supercrítico o rápido, dados los números de Froude entre 1.25 y 7.23; las velocidades medias del flujo oscilaron entre 1.00 y 3.25 m/s (inferiores al valor permisible de 5 m/s para el concreto); la lámina de agua se presenta entre 0.02 y 0.07 m. En la planta de la Figura 46 se presenta el abscisado del modelo Hec Ras y en la Figura 47, el perfil longitudinal del canal y el perfil hidráulico de la lámina de agua, para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno.

El coeficiente de rugosidad de Manning para el concreto se asumió de 0.017, un poco mayor al valor normal, considerando desgaste y acumulación de basuras; como parámetros de frontera se adoptaron la pendiente del tramo inicial del lecho aguas arriba en la misma frontera y la pendiente crítica en el control hidráulico de la frontera aguas abajo.

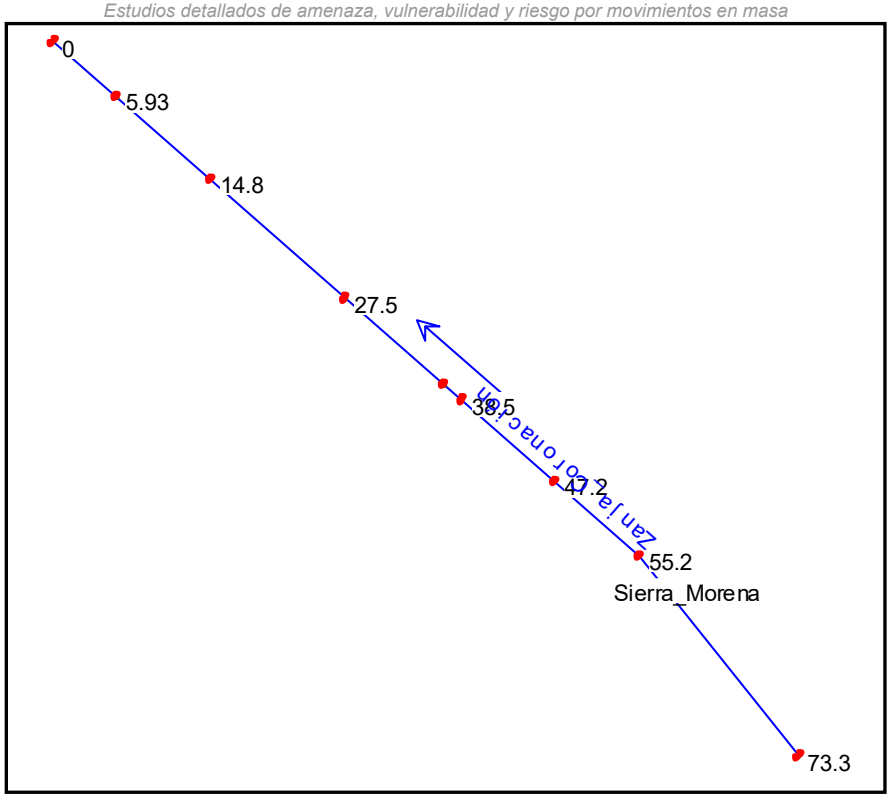


Figura 46. Planta de la zanja de coronación o canal proyectado de aguas lluvias en la modelación hidráulica unidimensional, con el abscisado en el programa Hec Ras.

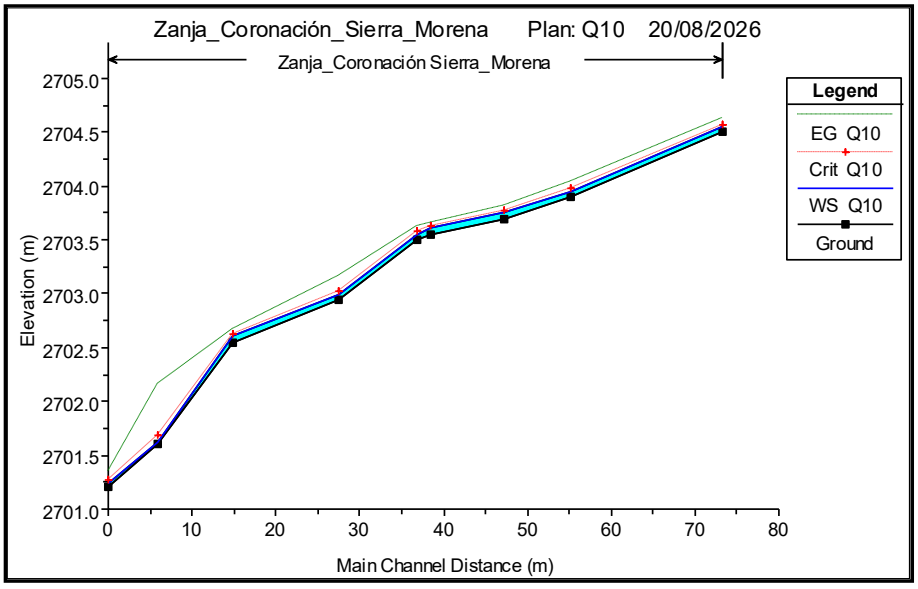


Figura 47. Perfil longitudinal de la zanja de coronación o canal proyectado de aguas lluvias en la modelación hidráulica unidimensional, con el nivel de agua para el caudal máximo de 10 años de retorno.

Tabla 27. Resumen de los resultados de la modelación hidráulica unidimensional de la zanja de coronación o canal de aguas lluvias, con los parámetros hidráulicos y geométricos más relevantes, para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno.

HEC-RAS Plan: Q_10 River: Zanja_Coronación Reach: Sierra_Morena Profile: Q10

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Total	Vel Chnl	Mann Wtd Total	Shear LOB	Shear Chan	Shear ROB	Hydr Depth	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m/s)		(N/m2)	(N/m2)	(N/m2)	(m)	(m)	
Sierra_Morena	73.3	Q10	0.02	2704.50	2704.55	2704.58	2704.63	0.029998	1.25	1.25	0.016		11.56		0.05	0.30	1.73
Sierra_Morena	55.2	Q10	0.02	2703.90	2703.95	2703.98	2704.04	0.035627	1.33	1.33	0.016		13.16		0.05	0.30	1.89
Sierra_Morena	47.2	Q10	0.02	2703.70	2703.76	2703.78	2703.82	0.020063	1.09	1.09	0.016		8.53		0.06	0.30	1.41
Sierra_Morena	38.5	Q10	0.02	2703.55	2703.62	2703.63	2703.67	0.015671	1.00	1.00	0.016		7.07		0.07	0.30	1.25
Sierra_Morena	36.8	Q10	0.02	2703.50	2703.55	2703.58	2703.63	0.028548	1.23	1.23	0.016		11.14		0.05	0.30	1.69
Sierra_Morena	27.5	Q10	0.02	2702.95	2702.99	2703.03	2703.17	0.103480	1.88	1.88	0.016		29.08		0.04	0.30	3.19
Sierra_Morena	14.8	Q10	0.02	2702.55	2702.61	2702.63	2702.67	0.018175	1.06	1.06	0.016		7.92		0.06	0.30	1.34
Sierra_Morena	5.93	Q10	0.02	2701.60	2701.62	2701.68	2702.16	0.569365	3.25	3.25	0.016		100.86		0.02	0.30	7.23
Sierra_Morena	0	Q10	0.02	2701.20	2701.25	2701.28	2701.35	0.047127	1.45	1.45	0.016		16.23		0.05	0.30	2.17

1.1.1.2 Diseño hidráulico escalones de disipación

El método se basa en que el flujo escalón a escalón o "nappe flow", sigue una trayectoria tipo jet con un lente de aire bajo la napa, golpeando la huella del escalón aguas abajo y generando un resalto hidráulico parcial como se observa en el esquema de la **Figura 48**.
La pérdida de energía se produce entonces por la dispersión del chorro en el aire, por la mezcla del agua en el impacto y por el desarrollo total o parcial del resalto hidráulico. La metodología para el análisis de este flujo es presentada por Chanson (1994) y Ven Te Chow en su libro de Canales Abiertos denominado Método del número de caída, que se expresa mediante la siguiente formulación:

$$D = q^2 / g\, h^3$$

Donde:

D = Número de caída
q = Caudal por unidad de ancho
g = Aceleración de la gravedad
h = Altura de la caída
Las características de los escalones se definen así:

$L_d = 4.30\ h^{D^{0.27}}$
$d_p = h\ D^{0.22}$
$d_1 = 0.54\ h\ D^{0.425}$
$d_2 = 1.66\ h\ D^{0.27}$

Siendo:

L_d = Longitud de caída, desde el muro hasta la posición de d_1 inicio del resalto (m)
d_1 = Profundidad al pie de la napa o inicio del resalto (m)
d_2 = Profundidad secuente de salida correspondiente a d_1 (m)
d_p = Lámina de agua al pie del escalón bajo la napa (m)

Para el diseño de los escalones se considera únicamente la longitud de caída desde el muro o la contrahuella del escalón, hasta el inicio del resalto con altura de la lámina "d_1", sin que se forme el resalto hidráulico o aun permitiendo que se forme una pequeña longitud de este, pero nunca completo. Los parámetros hidráulicos básicos se presentan en la
Tabla *28*, mientras que sus características geométricas e hidráulicas son objeto de la **Tabla 29**; en esta última tabla, de acuerdo con las diversas pendientes de la ladera, se buscan en la tabla individualmente la de mayor similitud y que siempre debajo del chorro se preserve una lámina de agua "dp" inferior a la altura del escalón para una aireación adecuada, haciendo algunas veces un pequeño ajuste de la longitud en el escalón en el dibujo, siempre alargándolo, sin que se presente resalto hidráulico completo. La altura de los muros laterales se fijó por encima de la lámina crítica y medidas en el filo del escalón, pero no menor a 0.20 m, así como su ancho de 0.30 m, magnitudes mínimas desde el punto de vista constructivo.

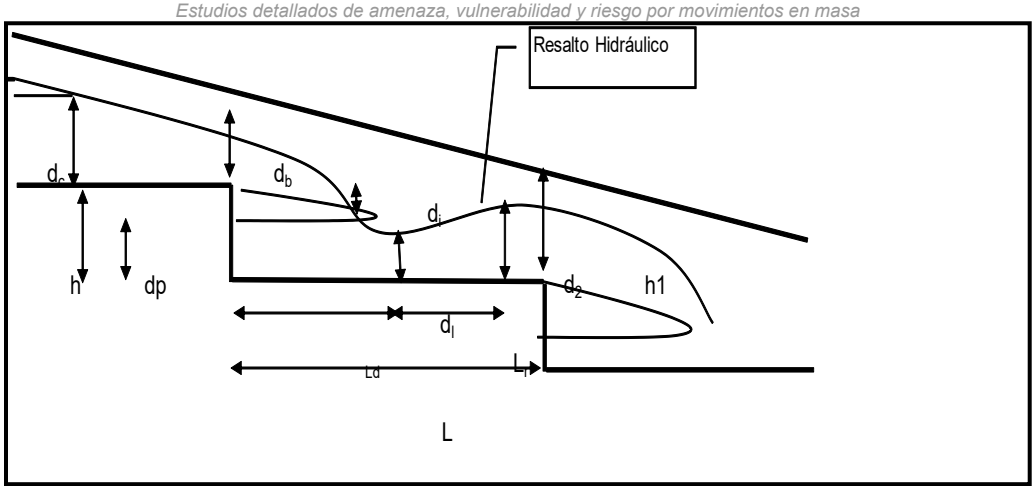


Figura 48. Esquema con los componentes del cálculo hidráulico de los escalones de disipación

Tabla 28. Parámetros hidráulicos básicos diseño escalones de disipación, para el caudal máximo de 10 años de retorno.

Información Básica		
Parámetros Básicos	**Valor**	**Unidad**
Caudal Máximo Q_{10}	0.020	m^3/s
Ancho "B"	0.30	m
Caudal Unitario "q"	0.07	$m^3/s/m$
Lámina crítica $d_c = (q^2/g)^{1/3}$	0.08	m
Lámina escalón $d_b = 0.715 * d_c$	0.05	m
Área Escalón $A_b = B * d_b$	0.02	m^2
Velocidad Escalón $V_b = Q/A_b$	1.21	m/s

Tabla 29. Características geométricas e hidráulicas de los escalones de disipación, proyectados para el caudal máximo de 10 años de retorno.

Dimensiones y Características Escalones sin Resalto Hidráulico						
h (m)	Ld (m)	d1 (m)	d2 (m)	dp (m)	L (m)	Pendiente Escalón (m/m)
0.20	0.40	0.03	0.15	0.11	0.64	0.314
0.20	0.40	0.03	0.15	0.11	0.60	0.335
0.25	0.41	0.03	0.16	0.11	0.66	0.376
0.25	0.41	0.03	0.16	0.11	0.54	0.460
0.25	0.41	0.03	0.16	0.11	0.51	0.487
0.30	0.43	0.03	0.17	0.12	0.53	0.568
0.35	0.44	0.03	0.17	0.13	0.65	0.542
0.40	0.45	0.03	0.17	0.13	0.66	0.606
0.40	0.45	0.03	0.17	0.13	0.62	0.645
0.45	0.46	0.03	0.18	0.14	0.56	0.801
0.50	0.47	0.02	0.18	0.15	0.60	0.833
0.50	0.47	0.02	0.18	0.15	0.57	0.875
0.55	0.48	0.02	0.19	0.15	0.61	0.909
0.55	0.48	0.02	0.19	0.15	0.58	0.948
0.60	0.49	0.02	0.19	0.15	0.59	1.020
0.65	0.50	0.02	0.19	0.16	0.60	1.091
0.70	0.50	0.02	0.19	0.16	0.63	1.110
0.70	0.50	0.02	0.19	0.16	0.60	1.162
0.75	0.51	0.02	0.20	0.17	0.61	1.231
0.80	0.52	0.02	0.20	0.17	0.64	1.251

2.5 EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA

2.5.1 GENERALIDADES

En este numeral se presenta la caracterización hidrogeológica del área de ubicación de los sitios de estudio, el cual se desarrolla en el marco conceptual general del proyecto, que se enfoca al cumplimiento de los Términos de referencia para la elaboración del diagnóstico de evaluación de las amenazas geológicas de los sitios programados.

La hidrogeología define la como la “rama de la hidrología que estudia las aguas subterráneas y se basa en la geología y la mecánica de fluidos.”.

El campo de acción de la hidrogeología son las aguas que se encuentran bajo la superficie terrestre, relacionando factores que controlan el flujo del agua y los cambios químicos que acontecen en este proceso; estos parámetros se pueden asociar a la incidencia del hombre en la explotación y aprovechamiento del agua subterránea para temas industriales, domésticos o agropecuarios.

Para el análisis del componente hidrogeológico de los sitios en estudio, se tuvo en cuenta las características geológicas (condiciones litológicas y estructurales) y geomorfológicas, presentes en el área de estudio y sus alrededores, y por consiguiente tomando como base la información de referencia, así como la información de los reconocimientos de campo y las investigaciones del subsuelo de cada uno de los sitios referenciados.

La caracterización geológica y geomorfológica regional y general, al igual que las investigaciones temáticas se analizaron en los numerales correspondientes de la geología y geomorfología.

Para la evaluación de las condiciones hidrogeológicas del área de interés, se consideró como parámetros básicos, las características de los materiales geológicos (litología, composición, textura, porosidad, permeabilidad y estructura) y geomorfológicos (subunidades y elementos) de los terrenos componentes del área de ubicación de los sitios de estudio.

2.5.2 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

Para la evaluación de las condiciones hidrogeológicas de los sitios de estudio, se tuvo en cuenta fundamentalmente los parámetros geológicos y geomorfológicos que pueden tener influencia en la zona y sus alrededores.

- **Desde el punto de vista geológico**, se tiene que en el sitio de estudio (Sierra Morena-Corte Vial) y sus alrededores, se presentan, las rocas de Formación Guaduas, en su conjunto medio(K2E1gm), la cual aflora ampliamente y depósitos coluviales (Qc).

    - *La Formación Guaduas, en su conjunto medio (K2E1gm),* en el sitio de estudio, está constituida por una secuencia interestratificada de niveles de areniscas, color amarillo, grano fino a medio, con arcillolitas, color amarillo; las rocas presentan, una consistencia media a dura, en estratos delgados a medios, moderadamente meteorizadas y poco fracturadas. Las rocas presentan buzamientos en el mismo sentido de la pendiente de las laderas (ladera estructural).

    - *Los Depósitos coluviales (Qc),* afloran hacia la parte norte y noroeste del área, corresponden a depósitos antiguos, presentes en los sectores bajos de las laderas. Están constituidos por Bloques de areniscas, de tamaño y forma heterométrica, en matriz areno-limosa, de color amarillo; estos depósitos presentan buena consistencia, cuyo espesor puede alcanzar los 10.00m.

- **Desde el punto de vista geomorfológico**, los terrenos del área de ubicación del sitio de estudio, están conformados principalmente por, geoformas de laderas estructurales (Sle), cuyos estratos rocosos buzan en el mismo sentido de la pendiente de los terrenos, y por superficies de depósitos coluviales(Qc).

2.5.3 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

De los aspectos temáticos anteriores se obtiene que, las condiciones hidrogeológicas de los terrenos del sitio de estudio y sus alrededores, se encuentran determinadas por: i) las rocas del conjunto medio de la Formación Guaduas (K2E1gm), constituida por niveles de areniscas y arcillolitas, y ii) por los depósitos coluviales (Qc), materiales inconsolidados, de baja consistencia.

Por lo tanto, los componentes de las unidades geológicas muestran las siguientes características:

- *i)* ***Las rocas del conjunto medio de la Formación Guaduas (K2E1gm****),* constituida por niveles intercalados de areniscas y arcillolitas, los cuales, esta sucesión genera un comportamiento hidrogeológico heterogéneo, en el que las areniscas constituyen los principales niveles acuíferos y las arcillolitas actúan como unidades confinantes y cuyas características nos muestran:

    - *Los niveles de arenisca,* presentan las mejores condiciones para el almacenamiento y circulación de agua subterránea debido a:

- Porosidad primaria moderada y permeabilidad incrementada por fracturamiento.
- Espesores variables entre los estratos rocosos.
- Comportamiento como acuíferos libres en las zonas de afloramiento y como acuíferos confinados o semiconfinados hacia el interior de la cuenca.

- *Los Niveles de arcillolitas* presentan características muy diferentes así:

- Muy baja permeabilidad.
- Elevada capacidad de retención de agua.
- Funcionan principalmente como acuitardos o, localmente, como acuicludos.
- Limitan el flujo vertical del agua subterránea y generan condiciones de confinamiento sobre los niveles arenosos.
- Cuando están fracturadas pueden transmitir pequeñas cantidades de agua, pero generalmente los caudales son bajos.

Por lo tanto, el régimen hidrogeológico para las rocas la zona de estudio presenta las siguientes características.

- Las areniscas constituyen los principales conductos del flujo subterráneo.
- Las arcillolitas separan hidráulicamente los diferentes niveles acuíferos.
- El flujo subterráneo sigue preferentemente la dirección del buzamiento de los estratos (en el mismo sentido de la pendiente de las laderas) y las principales fracturas regionales.

- **ii) Los Depósitos Coluviales (Qc),** son masas heterogéneas de fragmentos de roca, en matriz de arena, limo y arcillas, depositadas por gravedad en la parte baja de las laderas, son materiales de baja consolidación.

El régimen hidrogeológico para los depósitos coluviales presentes en la zona de estudio presenta las siguientes características.

- Generalmente forman acuíferos libres locales.
- Su permeabilidad es variable; el agua se infiltra rápido en coluviones de bloques gruesos, pero se estanca y satura el terreno en coluviones con alta matriz arcillosa.
- Son altamente propensos a la licuación y deslizamientos cuando se saturan durante temporadas de lluvias intensas o por fugas en redes subterráneas.

2.6 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA PARA LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.

3 ESTUDIOS DETALLADOS

3.1 INVENTARIO DETALLADO

El presente capítulo consolida el inventario detallado de los elementos que intervienen en la condición de amenaza y riesgo del sector de Sierra Morena III – Corte vial, localizado en la Localidad de Ciudad Bolívar (Bogotá D.C.), sobre la Diagonal 75B Sur y su corte vial, entre la Carrera 73N y la Transversal 73I. El inventario integra la información secundaria recopilada ante las entidades distritales de gestión del riesgo (DPAE, FOPAE e IDIGER) —conceptos técnicos (CT), diagnósticos técnicos (DI) y registros de obra (RO)— con las observaciones directas obtenidas durante los reconocimientos de campo y el levantamiento topográfico. Su propósito es caracterizar de manera sistemática el proceso morfodinámico activo, las cargas actuantes, el área de influencia y las redes de servicios comprometidas, así como las estructuras existentes y afectadas, con el fin de constituir el insumo base para la modelación geotécnica y la evaluación de vulnerabilidad de las fases posteriores del estudio.

El inventario se estructura en cinco componentes: (i) inventario del proceso morfodinámico; (ii) cargas actuantes por edificaciones y tránsito; (iii) afectación del área de influencia y de las redes de servicios públicos; (iv) estructuras afectadas; y (v) estructuras existentes de contención y protección, con la geometría asociada del talud.

3.1.1 INVENTARIO DEL PROCESO MORFODINÁMICO

El proceso morfodinámico predominante en el sector de Sierra Morena – Corte vial corresponde a caídas de roca y desprendimientos, con deslizamiento asociado, sobre un talud de corte vial desconfinado donde interactúan los depósitos coluviales y la Formación Guaduas (Conjunto Inferior). La problemática principal radica en la severa meteorización diferencial que afecta tanto a los depósitos coluviales como al sustrato rocoso; la dinámica está dominada por el rápido desleimiento de las intercalaciones de arcillolitas y el lavado continuo de la matriz areno-arcillosa del estrato cuaternario, lo que genera pérdida de soporte basal y deja en voladizo los fragmentos y bloques de arenisca, propiciando su desprendimiento por gravedad.

La condición actual de desconfinamiento y degradación del talud es el detonante directo de la caída constante de material rocoso (bloques y fragmentos angulares de arenisca, hasta cerca de 1 m de diámetro) y de suelo areno-arcilloso hacia la vía. El diagnóstico proyecta que la corona del talud mantendrá una cinemática de retroceso progresivo mientras no se ejecuten obras de contención y protección, configurando una amenaza doble sobre la seguridad vial y sobre la infraestructura aledaña.

La evidencia gráfica del proceso se presenta en la siguiente figura:



Figura 49. Ilustración de los procesos morfodinámicos que afectan el talud de corte vial de la Diagonal 75B Sur (Sierra Morena – Corte vial): zona de desprendimiento, trayectoria, lóbulo del deslizamiento y matriz fina.

Fuente: *Elaboración propia a partir de los reconocimientos de campo.*

El levantamiento de detalle permitió cartografiar en planta el escarpe de caída de rocas y la dirección del movimiento del material sobre el talud de corte, como se presenta en la Figura 50. La disposición del escarpe a lo largo del borde del corte y las direcciones de movimiento hacia la vía confirman el retroceso progresivo de la corona y la caída de material hacia la calzada.



Figura 50. Escarpe de caída de rocas y dirección del movimiento sobre el talud de corte vial, en vista de ortomosaico (Sierra Morena – Corte vial).

Fuente: *Elaboración propia.*

Desde el punto de vista geológico, el sustrato del sector corresponde al Conjunto Inferior de la Formación Guaduas, caracterizado por una alternancia de arcillolitas, lodolitas y limolitas con intercalaciones de areniscas, sobre el cual reposan discordantemente depósitos coluviales de bloques y fragmentos de arenisca embebidos en una matriz areno-arcillosa, junto con rellenos antrópicos (escombros). Las excavaciones para la conformación de la vía han dejado el material topográficamente desconfinado y expuesto a la intemperie, propiciando una meteorización diferencial.

Geomorfológicamente, el sector se enmarca dentro del componente de Área Urbanizada (Aur), cuya expresión morfológica más destacada es un rasgo antrópico: el corte vial, incisión que ha modificado el ángulo de reposo natural de los materiales generando un escarpe subvertical expuesto. Esta alteración suprime el soporte lateral de la ladera, propiciando desprendimientos, erosión concentrada y el retroceso progresivo de la corona. Conforme al Decreto 523 de 2010, el sector se localiza en la Zona Geotécnica Cerros A.

El sector de Sierra Morena – Corte vial concentra el mayor número de diagnósticos técnicos asociados a un único sector de corte vial: dieciséis (16) pronunciamientos emitidos entre 2008 y 2025. La línea de tiempo evidencia tres grupos de actividad (2008–2011, 2015–2022 y 2025), con reconocimiento explícito de los taludes de corte como fuente del riesgo (DI-8841) y reactivaciones recientes. La relación se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 30. Inventario de antecedentes técnicos del sector de Sierra Morena III – Corte vial.

#	Documento	Año	Dirección	Escenario
1	DI-3706	2008	KR 73P 69F-98 Sur	RPMM

#	Documento	Año	Dirección	Escenario
2	DI-3749	2008	KR 74 69F-20 Sur	RPMM
3	DI-3777	2008	Sector Corte vial	RPMM
4	DI-3935	2008	KR 74 69F-32 Sur	RPMM
5	DI-5977	2011	DG 75B Sur 74-25	RPMM
6	DI-8841	2015	Talud de corte (Dg 75 Sur)	RPMM
7	DI-10464	2017	KR 73N 69F-83 Sur	RPMM
8	DI-12847	2019	KR 73P 69F Sur-96	RPMM
9	DI-14997	2020	KR 73N 69F Sur-83	RPMM
10	DI-15008	2020	CL 75A Sur 73G Bis A-00	RPMM
11	DI-15610	2021	TV 73N 69B Sur-46	RPAC
12	DI-17269	2022	DG 75B Sur 74-07	RPMM
13	DI-17714	2022	KR 73P 69F-43 Sur	RPMM
14	DI-22320	2025	Sector Corte vial	RPMM
15	DI-22321	2025	Sector Corte vial	RPMM
16	DI-22991	2025	TV 73H Bis A 75-35 Sur	RPMM

Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario Consolidado SIRE, Contrato CIN-1104-2025.

3.1.2 CARGAS ACTUANTES

Las cargas relevantes en el Polígono 4 corresponden a la sobrecarga del tránsito vehicular sobre el corredor vial que discurre junto al corte y a las cargas de las edificaciones ubicadas en la parte alta del talud. Para la sobrecarga vehicular se adopta el valor mínimo del numeral H.5.1.2 del Título H de la NSR-10, q = 15 kPa; para las edificaciones se estima una carga de 1,0 t/m² por piso.

Tabla 31. Cargas y sobrecargas actuantes adoptadas para el inventario y los análisis de estabilidad.

Fuente de carga	Descripción	Valor adoptado	Referencia
Tránsito vehicular (corredor vial)	Sobrecarga uniforme en la vía sobre/junto al corte	q = 15 kPa (1,5 t/m²)	NSR-10, num. H.5.1.2
Edificaciones (parte alta)	Viviendas sobre la corona del corte vial	≈ 1,0 t/m² por piso (≈ 10 kPa/piso; 1–3 pisos: 1,0–3,0 t/m² ≈ 10–30 kPa)	Estimación / campo

Fuente: Elaboración propia con base en NSR-10 y reconocimiento de campo.

3.1.3 AFECTACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA Y DE LAS REDES DE SERVICIOS

El área de influencia abarca el talud de corte de la Diagonal 75B Sur y su entorno inmediato (Carrera 73N a Transversal 73I). El corredor vial es el elemento expuesto crítico, dado que recibe directamente la caída de bloques y suelo; a ello se suma la ausencia de estructuras de drenaje sobre el corte, que acelera la meteorización y el lavado de finos.

Tabla 32. Elementos del área de influencia y redes de servicios inventariados.

Elemento	Descripción	Afectación / interacción con el proceso
Corredor vial (Diagonal 75B Sur)	Vía sobre/junto al talud de corte	Caída de bloques y suelo a la calzada; riesgo a vehículos y peatones
Manejo de aguas	Ausencia de estructuras de drenaje sobre el corte	Meteorización y lavado de finos; retroceso de corona

Elemento	Descripción	Afectación / interacción con el proceso
Edificaciones parte alta	Viviendas sobre la corona del corte	Pérdida de soporte por retroceso del talud
Zona de influencia	Talud de corte y su entorno (Kr 73N – Tv 73I)	Exposición de población e infraestructura vial

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 ESTRUCTURAS AFECTADAS

El inventario de estructuras afectadas recoge los pronunciamientos del IDIGER sobre el talud de corte y su entorno, que identifican la caída de material y el retroceso de la corona como la principal amenaza para la vía y las edificaciones aledañas. La relación se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 33. Estructuras afectadas documentadas en los diagnósticos técnicos.

Documento	Año	Predio / sector	Afectación	Recomendación
DI-3706 a DI-3935	2008	Talud de corte (Kr 73P–74)	Eventos de remoción en masa sobre el corte vial	Atención de emergencia; estabilización
DI-8841	2015	Talud de corte (Dg 75 Sur)	Taludes de corte identificados como fuente del riesgo	Monitoreo frecuente; valoración del IDU
DI-15008	2020	Calle 75A Sur con Cra 73G Bis A	Inestabilidad de talud; riesgo a edificaciones aledañas	Monitoreo frecuente
DI-17269	2022	Diagonal 75B Sur	Caída de material y retroceso de la corona	Obras de contención y protección
DI-22320 a DI-22991	2025	Sector Corte vial	Reactivación del sector	Intervención estructural urgente

Fuente: Elaboración propia a partir de los diagnósticos técnicos del IDIGER.

3.1.5 ESTRUCTURAS EXISTENTES Y GEOMETRÍA DEL TALUD

La geometría del sector está dominada por un talud de corte con escarpe subvertical expuesto, de altura considerable, sin obras de contención ni protección superficial. Las estructuras existentes se limitan a elementos temporales de protección vial (barreras tipo New Jersey), sin capacidad de contención del talud. No se identificaron estructuras de contención ni de drenaje formales. Las estructuras existentes se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 34. Estructuras existentes y geometría del talud inventariadas.

Estructura / elemento	Descripción	Geometría / dimensión	Estado
Talud de corte vial	Corte para conformación de la vía; escarpe subvertical expuesto	Escarpe subvertical, altura considerable	Desconfinado, sin contención
Obras de contención / protección	No existentes sobre el corte vial	No existentes	Deficiencia; caída de bloques
Estructuras de drenaje	No existentes o insuficientes sobre el corte	No existentes	Ausencia generalizada

Estructura / elemento	Descripción	Geometría / dimensión	Estado
Barreras viales (tipo New Jersey)	Elementos temporales de protección en la vía	Puntual	Temporal / insuficiente

Fuente: Elaboración propia a partir de los reconocimientos de campo.

3.1.6 CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO Y ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD

Conforme al marco del SGC (2017), PMA: GCA (2007) y Cruden & Varnes (1996), el proceso del sector de Sierra Morena – Corte vial corresponde a caídas de roca y desprendimientos con deslizamiento asociado, sobre un talud de corte vial en depósitos coluviales y el Conjunto Inferior de la Formación Guaduas. Sus atributos se sintetizan en la siguiente tabla.

Tabla 35. Clasificación del movimiento en masa según SGC (2017) / PMA: GCA (2007).

Atributo	Descripción / valor
Tipo de movimiento	Caída de roca y desprendimiento, con deslizamiento asociado
Subtipo	Caída de bloques/fragmentos de arenisca; lavado de matriz areno-arcillosa
Partes identificadas	Escarpe (corona del corte); cuerpo/lóbulo y depósito sobre la vía
Estilo	Múltiple
Distribución	Retrogresivo (retroceso de corona)
Estado de actividad	Activo
Edad relativa	Reciente
Material involucrado	Depósitos coluviales y Conjunto Inferior de la Formación Guaduas (arcillolitas, lodolitas, limolitas y areniscas)
Dirección del movimiento	Ladera abajo, hacia la calzada (Diagonal 75B Sur)
Factor detonante	Desconfinamiento por el corte vial; meteorización diferencial; aguas
Zona geotécnica (Dec. 523/2010)	Cerros A

Fuente: Elaboración propia con base en SGC (2017) y PMA: GCA (2007).

En cuanto a la velocidad, las caídas de bloques y los desprendimientos se producen de manera súbita, con velocidades rápidas a extremadamente rápidas (clases 5 a 7 de la escala de Cruden & Varnes, Tabla 7), mientras que el retroceso de la corona por meteorización y lavado de finos corresponde a un proceso de fondo lento. Esta combinación de un mecanismo de falla rápido con un deterioro progresivo constituye la principal amenaza para la vía.

Tabla 36. Escala de velocidad de los movimientos en masa.

Clase	Descriptor	Velocidad típica
7	Extremadamente rápida	> 5 m/s
6	Muy rápida	5 m/s – 3 m/min
5	Rápida	3 m/min – 1,8 m/h
4	Moderada	1,8 m/h – 13 m/mes
3	Lenta	13 m/mes – 1,6 m/año
2	Muy lenta	1,6 m/año – 16 mm/año
1	Extremadamente lenta	< 16 mm/año

Fuente: Cruden & Varnes (1996), adoptada por SGC (2017).

En síntesis, el inventario detallado confirma que el sector de Sierra Morena III – Corte vial presenta una condición de inestabilidad activa gobernada por un talud de corte desconfinado sin obras de contención, con caída constante de bloques de arenisca y retroceso progresivo de la corona que amenazan directamente el corredor vial. Este inventario constituye el insumo directo para la definición de las secciones de análisis, la modelación de estabilidad y la evaluación de vulnerabilidad de las fases subsiguientes.

3.2 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

3.2.1 PLAN DE EXPLORACIÓN.

La campaña de exploración geotécnica contempló la ejecución de perforaciones profundas con recuperación continua de muestras, incluyendo la realización de ensayos de penetración estándar (SPT), así como la obtención de muestras inalteradas tipo Shelby y/o tipo SS, en función de las condiciones geológicas y geotécnicas encontradas en el subsuelo. De manera complementaria, se efectuaron exploraciones superficiales y subsuperficiales mediante barrenos manuales, apiques y trincheras, orientadas a la identificación detallada de la estratigrafía del sitio y a la extracción de muestras tipo bolsa destinadas a la realización de ensayos de laboratorio especializados.

En las siguientes figuras se ilustran los esquemas de los tipos de perforaciones y excavaciones realizadas en el sector Sierra Morena, como parte de los trabajos ejecutados:

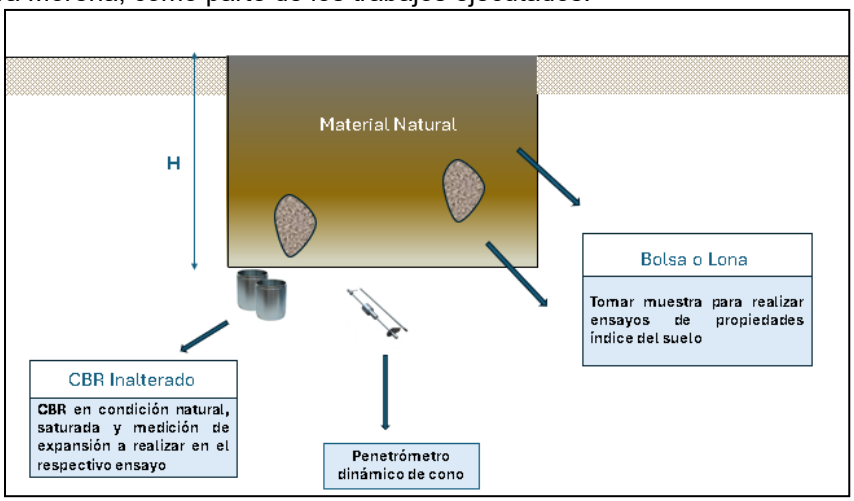


Figura 51. Esquema de Apique en terreno natural.
Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de perforación consiste en la excavación manual de una sección cuadrada 1,00 m x 1,00 m hasta una profundidad de 1.50 m, permitiendo la exposición directa del material natural para su inspección y evaluación geotécnica, tal como se observa en la figura anterior. Durante el proceso se identifican visualmente las características del suelo y se extraen muestras representativas, las cuales se colocan cuidadosamente en bolsas para la posterior realización de ensayos de propiedades físicas y mecánicas. En el interior del apique se efectúa el ensayo CBR inalterado, especialmente en condición natural o saturada, con el fin de evaluar la capacidad portante y expansión del suelo en su estado original.

Adicionalmente, se emplea un penetrómetro dinámico de cono para determinar la resistencia del terreno in situ, complementando la caracterización geotécnica. Este conjunto de actividades y equipos permiten garantizar una evaluación confiable del suelo, basada tanto en observaciones directas como en mediciones obtenidas mediante ensayos de campo.

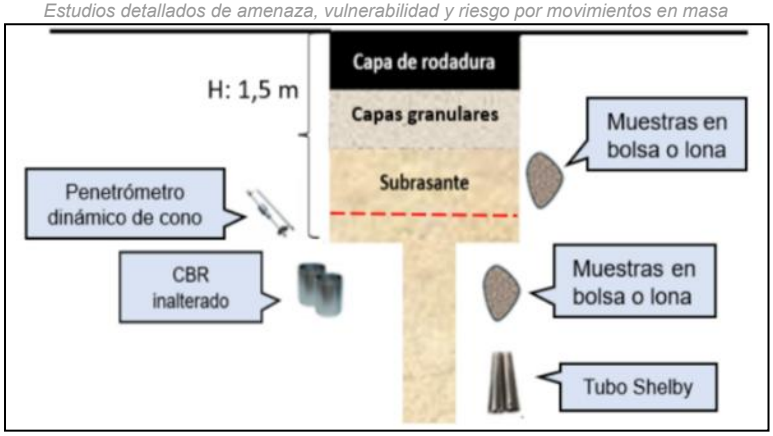


Figura 52. Esquema de Apique Barreno en pavimento existente.
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la ejecución de un apique barreno se desarrolla inicialmente mediante la excavación manual del apique, conforme al procedimiento previamente descrito y hasta alcanzar una profundidad aproximada de 1,50 m. Seguidamente, se procede con la perforación tipo barreno de manera manual o mecánica, con el fin de profundizar la investigación del subsuelo. Durante esta fase se realiza la extracción de muestras utilizando tubos tipo Shelby para obtener muestras inalteradas, así como tubos Split Spoon y/o tipo NQ, según el tipo de material encontrado en el sitio. La combinación de ambos permite complementar la información estratigráfica y mecánica del terreno, asegurando una caracterización más detallada y representativa de las condiciones del subsuelo a una mayor profundidad.

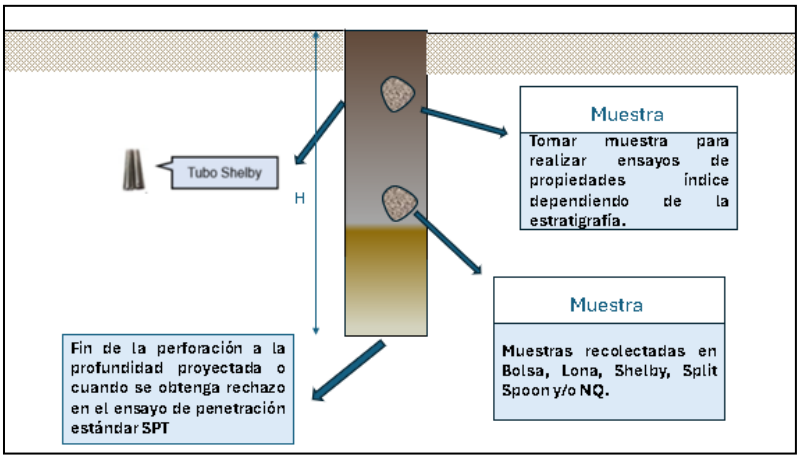


Figura 53. Esquema de Barreno en terreno natural.
Fuente: Elaboración propia.

Particularmente, la ejecución de una perforación tipo barreno en terreno natural se lleva a cabo con el objetivo de profundizar la investigación geotécnica del subsuelo en un sitio particular de interés de análisis geotécnico en base a las condiciones observadas en campo. El procedimiento inicia con la preparación y nivelación del punto de perforación, seguido de la excavación progresiva mediante barreno manual o mecánico, de acuerdo con la profundidad proyectada. Durante la perforación se realiza el registro estratigráfico continuo, identificando los cambios litológicos, niveles de humedad y consistencia del material. La obtención de muestras se efectúa utilizando tubos tipo Shelby para muestras inalteradas y tubos Split Spoon o NQ para muestras alteradas o semiinalteradas, según el tipo de suelo y el ensayo a

ejecutar. Estas muestras son debidamente rotuladas, protegidas y almacenadas para su posterior análisis en laboratorio, garantizando la representatividad y calidad de la información.

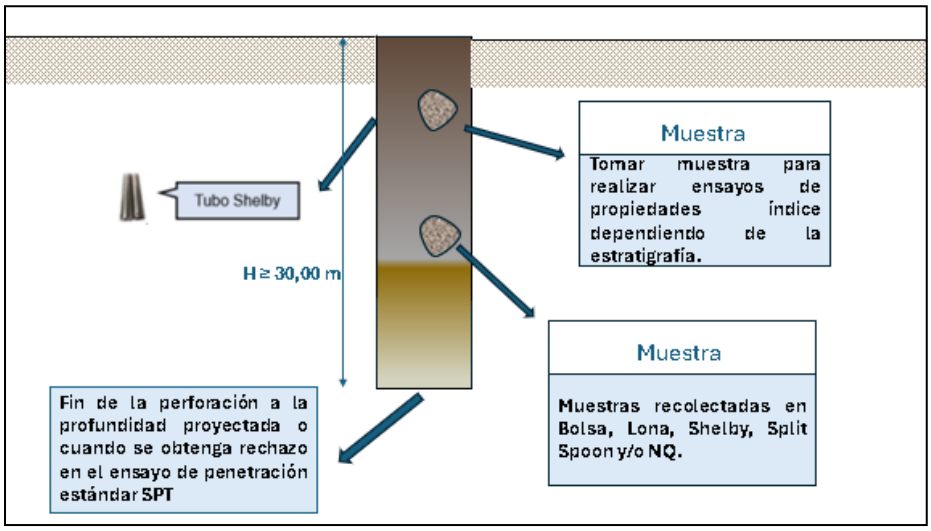


Figura 54. Esquema de Sondeo en terreno natural.

Fuente: Elaboración propia.

Particularmente, la ejecución de un sondeo mecánico profundo en terreno natural se realiza con el propósito de caracterizar las condiciones geotécnicas del subsuelo a mayores profundidades, permitiendo identificar la variabilidad estratigráfica, las propiedades mecánicas de los materiales y la presencia de niveles freáticos en el área de estudio.

El procedimiento inicia con la localización, adecuación y nivelación del punto de perforación, garantizando condiciones estables para la instalación del equipo. Posteriormente, se procede con la perforación mediante equipo mecánico rotatorio (tipo GY o similar), empleando herramientas como brocas trícono, muestreadores y circulación de fluido (agua).
Durante el avance de la perforación, el proceso se desarrolla de forma continua y controlada hasta alcanzar profundidades del orden de 30,00 m o mayores, registrando sistemáticamente el porcentaje de recuperación de la muestra, revestimiento utilizado, RQD y color del agua. De manera simultánea, se lleva a cabo el registro estratigráfico detallado, identificando cambios litológicos, grado de meteorización, color, estructura, condiciones de humedad y competencia de los materiales encontrados.

La obtención de muestras se realiza de acuerdo con la naturaleza del material encontrado y los objetivos del estudio. Para suelos se emplean muestreadores tipo Split Spoon (SPT) que permiten, además, determinar la resistencia a la penetración, así como tubos Shelby para la recuperación de muestras relativamente inalteradas. En materiales más competentes o rocosos, se realiza la perforación empleando brocas tipo NQ para obtener muestras de roca o registros de lavado cuando la recuperación es limitada debido a la fracturación o baja cohesión del material.

A lo largo del sondeo, se controla la estabilidad de las paredes mediante el uso de revestimiento temporal o presión de fluido, particularmente en estratos sueltos o altamente fracturados. Asimismo, se realiza la verificación del nivel freático durante y al finalizar la perforación, registrando su profundidad una vez alcanzadas condiciones de equilibrio hidráulico.

Finalmente, todas las muestras recuperadas son debidamente rotuladas, Preservardas y almacenadas, asegurando su integridad para ensayos de laboratorio. En conjunto, este procedimiento permite obtener una caracterización geotécnica confiable y representativa en profundidad, fundamental para el análisis y diseño de obras civiles, especialmente en condiciones complejas del subsuelo.

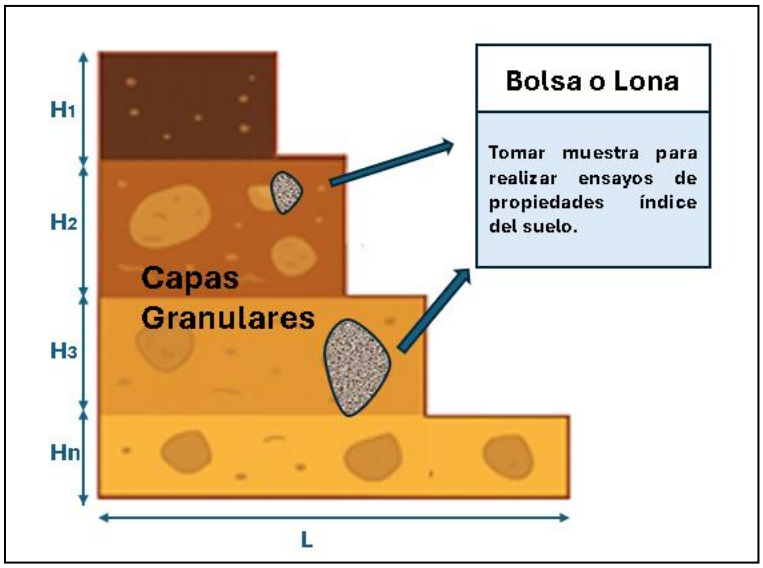


Figura 55. Esquema de una excavación tipo Trinchera.
Fuente: Elaboración propia.

Por último, se ejecutaron excavaciones manuales tipo trinchera, las cuales constituyen un método de exploración superficial a subsuperficial, en aquellos sectores donde se identificaron taludes naturales, con el propósito de realizar una exploración directa del subsuelo. A diferencia de las perforaciones, la trinchera se desarrolla longitudinalmente sobre la ladera y expone el perfil en la pared de la excavación, de modo que la dimensión reportada en la tabla de exploración corresponde a su longitud y no a una profundidad de investigación. Estas excavaciones permitieron exponer de forma continua el perfil estratigráfico, evidenciando la secuencia y espesor de las distintas capas granulares presentes, así como sus características visuales y condiciones de compacidad. Durante la ejecución de las trincheras, se efectuó la descripción geotécnica in situ de cada horizonte y la recolección de muestras representativas, las cuales fueron almacenadas en bolsas debidamente rotuladas, para la posterior realización de ensayos de laboratorio orientados a la determinación de las propiedades mecánicas del suelo. Este procedimiento permitió una caracterización confiable de las condiciones del terreno natural y aportó información relevante para el análisis de estabilidad.

Es importante resaltar que, las perforaciones proyectadas fueron distribuidas de manera estratégica dentro del polígono de estudio, priorizando las zonas críticas previamente identificadas. Su localización y número se definieron con base en criterios técnicos y en las condiciones particulares del terreno, con el objetivo de garantizar una caracterización representativa, consistente y confiable del sector antes mencionado.

Cabe señalar que la totalidad de los trabajos de campo, así como las actividades asociadas a la toma, manipulación, transporte y Preservarción de las muestras de suelo, se ejecutaron en estricto cumplimiento de los procedimientos y recomendaciones establecidos en las Normas de Ensayo del INVÍAS, Sección 100, garantizando de esta manera la calidad, representatividad y confiabilidad de la información geotécnica obtenida.
Con base en lo anteriormente expuesto, se ejecutaron actividades de exploración geotécnica que incluyeron la realización de un (01) apique de 1.60 de profundidad, la excavación de tres (03) trincheras con una longitud total de 19.60 m lineales y la ejecución de dos (02) perforaciones tipo barreno con una profundidad total alcanzada de 7.50 m.

Con base en lo anteriormente expuesto, se ejecutaron siete (07) exploraciones directas: un (01) apique de 1,60 m de profundidad, tres (03) trincheras de exploración subsuperficial con una longitud total de 19,60 m lineales, dos (02) barrenos mecánicos de 3,50 m y 4,00 m y un (01) sondeo mecánico profundo con

recuperación de núcleo que alcanzó 31,00 m. El sondeo SSM-1 constituye la única exploración que atraviesa el macizo rocoso en profundidad y aporta los registros de recobro, RQD y nivel freático empleados en la caracterización del capítulo 3.3.

Estas perforaciones permitieron la obtención de muestras de suelo representativas, tanto alteradas como inalteradas, mediante el empleo de equipos manuales y mecánicos junto con el uso de herramientas menores. Las muestras extraídas fueron destinadas a su posterior análisis en laboratorio, con el fin de determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales obtenidos. Por otro lado, las perforaciones posibilitaron la verificación de la presencia o ausencia del nivel freático en el área bajo estudio.

A continuación, se presenta de manera esquemática en la siguiente figura la ubicación de la exploración geotécnica ejecutada en el sector Sierra Morena.



Figura 56. Localización de la exploración geotécnica.
Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta de manera resumida la relación de los puntos donde se ejecutaron las perforaciones proyectadas, indicando para cada uno de ellos; el tipo de exploración realizada, coordenadas y la profundidad final alcanzada:

Tabla 37. Exploración ejecutada.

PERFORACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PROFUNDIDAD (m)				
	LATITUD	LONGITUD	APIQUE	BARRENO	TRINCHERA	SONDEO	TOTAL
APSM-1	4°34'42.20"N	74°10'15.10"W	1.60	-	-	-	1.60
TRSM-1	4°34'43.9"N	74°10'15.4"W	-	-	5,70	-	5.70

TRSM-2	4°34'44.50"N	74°10'14.60"W	-	-	4,90	-	4.90
TRSM-3	4°34'43.10"N	74°10'14.70"W	-	-	9,00	-	9.00
BRSM-1	4°34'43.9"N	74°10'15.2"W	-	3,50	-	-	3.50
BRSM-2	4°34'41.90"N	74°10'13.90"W	-	4,00	-	-	4.00
SSM-1	4°34'40.3"N	74°10'14.4"W	-	-	-	31,00	31,00

Fuente: Elaboración propia.

Al respecto, en el **anexo 1 titulado "Exploración del subsuelo",** se incluyen los registros de campo correspondientes a cada una de las perforaciones ejecutadas en el sector bajo estudio junto con sus correspondientes ensayos de laboratorio.

Las litologías descritas en los registros de campo corresponden a las unidades del modelo geológico-geotécnico desarrollado en el capítulo 3.3. Los limos orgánicos superficiales conforman la capa orgánica; los materiales con bloques de arenisca en matriz fina y los rellenos identificados se agrupan en los Depósitos y Rellenos Antrópicos - Botaderos (Qb) y los Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra); los materiales de ladera conforman el depósito de coluvión (Qc); las arcillas y limos de alteración corresponden al Suelo Residual (Qsr); y las areniscas y limolitas descritas en profundidad corresponden a la Formación Guaduas (K2E1gm), equivalente a la antigua denominación Kppg.

La Formación Guaduas se identifica a partir de 1,50 m en el barreno BRSM-2, de 2,20 m en la trinchera TRSM-3 y de 0,50 m en el sondeo SSM-1; el apique APSM-1, las trincheras TRSM-1 y TRSM-2 —exploraciones subsuperficiales— y el barreno BRSM-1 no alcanzaron la formación en el tramo expuesto. Debe precisarse que la presencia de la formación no implica que el material se comporte como macizo rocoso: en el sondeo SSM-1 la roca se encuentra completamente alterada hasta aproximadamente 6,00 m de profundidad, en grado de meteorización IV a V —saprolito—, es decir, material que conserva la fábrica y la estructura de la roca original pero que ha perdido la cementación entre granos, se disgrega con la presión de los dedos y no admite recuperación de núcleo, por lo cual se muestrea con cuchara partida y se ensaya con SPT y granulometría como si fuera suelo. Hacia los 4,50 m (cota 2711,5) el registro de perforación comienza a describir el material como roca y, por debajo de los 6,00 m, el grado de meteorización disminuye de forma progresiva, la cementación se recupera y se obtienen núcleos continuos representativos del macizo. Esta evolución se refleja en los parámetros medidos en el SSM-1, donde el recobro varió entre 48 % y 86 % y el RQD entre 6,7 % y 29,3 %, valores que sustentan la clasificación del macizo desarrollada en el capítulo 3.3.

3.2.2 EXPLORACIÓN DIRECTA

Esta consiste en el reconocimiento y evaluación in situ del subsuelo. Comprende, por una parte, la exploración superficial y subsuperficial —apiques, trincheras y barrenos, ejecutados mediante excavación manual o mecánica y limitados a los primeros metros del perfil— y, por otra, la exploración profunda mediante sondeo mecánico rotatorio con recuperación de núcleo. Ambas permiten observar de manera directa el perfil estratigráfico existente, permitiendo identificar la secuencia, espesor y características de los diferentes estratos de suelo, así como la evaluación de su humedad, consistencia, estructura y compacidad. En el siguiente numeral, se muestra a el registro fotográfico que documenta y respalda la ejecución de los trabajos de exploración del subsuelo realizados, incluyendo la realización de apiques, trincheras y barrenos, así como la realización de las pruebas de campo efectuadas durante la campaña de investigación geotécnica.



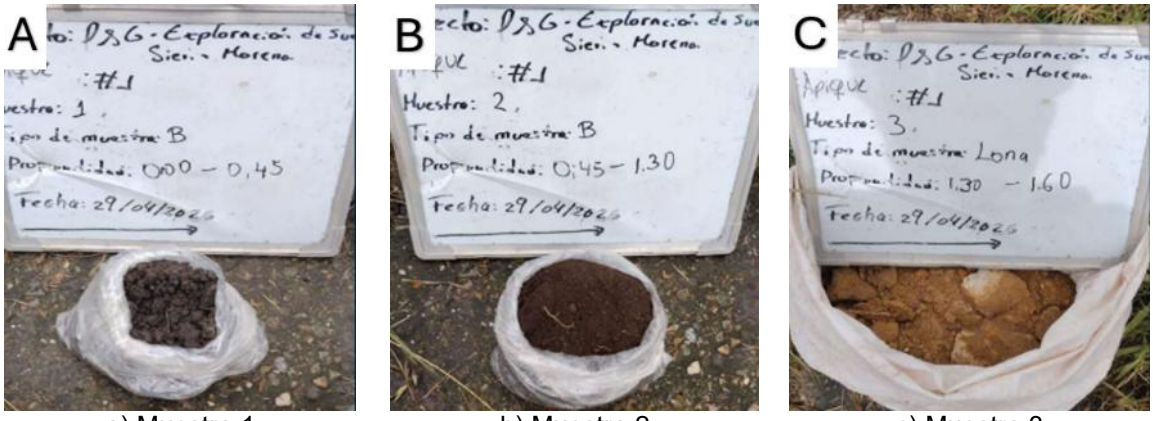
a) Apique 1 b) Presencia de bloques de areniscas.

Figura 57. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Apique).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se documenta la ejecución del Apique 1 (APSM-1), situado en una zona intermedia de área verde con cobertura vegetal, adyacente al corredor vial principal que atraviesa el sector y próximo al alineamiento de la línea sísmica ejecutada en el área. La profundidad alcanzada en el Apique APSM-1, correspondiente a 1,60 m permitió la observación directa del perfil estratigráfico superficial del sitio, así como la evaluación del estado y las características físicas de los materiales presentes, sin evidenciarse la presencia del nivel freático durante la excavación.

De acuerdo con las observaciones realizadas, el perfil estratigráfico identificado presenta en su nivel superior un relleno compuesto por limo arcilloso de color negro, con presencia de bloques de arenisca. Seguidamente, se identifica un estrato conformado por bloques de arenisca embebidos en una matriz de limo orgánico de color café de humedad baja, mientras que, en el último estrato se identificó la presencia de bloques de arenisca en una matriz de arena amarilla, con vetas oxidadas y humedad baja.

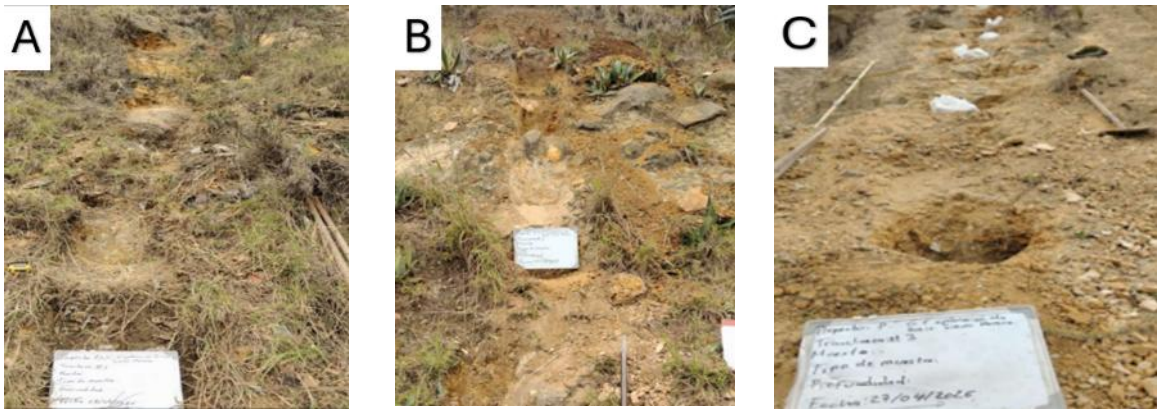


a) Muestra 1 b) Muestra 2 c) Muestra 3

Figura 58. Muestras extraídas en el Apique 1.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el ensayo de infiltración del suelo no pudo ser ejecutado, debido a la elevada dureza del último estrato a causa de la presencia de los bloques de arenisca, los cuales impidieron realizar la excavación necesaria para la realización de dicha prueba, conforme a los procedimientos técnicos establecidos por el método Porchet.



a) Trinchera 1 b) Trinchera 2 c) Trinchera 3

Figura 59. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Trincheras).

Fuente: Elaboración propia.

En las fotografías presentadas se documentan los trabajos de exploración del subsuelo correspondientes a las excavaciones ejecutadas mediante trincheras, las cuales permitieron reconocer de manera directa la estratigrafía y las condiciones geotécnicas del área de estudio. La trinchera TRSM-1 se sitúa en un área de transición entre zona urbana y espacio verde, sobre una franja con cobertura vegetal, adyacente a edificaciones residenciales ubicadas hacia el costado norte del área analizada. Este tipo de excavación permitió la observación directa de un perfil estratigráfico continuo hasta una profundidad aproximada de 5,70 m, proporcionando información detallada sobre la variabilidad estratigráfica del subsuelo en el sector bajo estudio. De acuerdo con lo observado en campo, se identifica un primer estrato compuesto por un limo arenoso de color café claro, con capa orgánica y humedad baja. Subyacente a este nivel se identificó un limo arcilloso de color amarillo, seguido por la aparición progresiva de areniscas en matriz de arena amarilla. A mayor profundidad se detectan bloques de arenisca en matriz de arena con oxidaciones. Finalmente, en los últimos estratos, se identificaron bloques de limolita de color habano, en matriz arcillosa con oxidaciones y bloques de arenisca, sin detectarse la presencia del nivel freático.



a) Muestra 1	b) Muestra 2	c) Muestra 5	d) Muestra 7

Figura 60. Muestras extraídas en la Trinchera 1.

Fuente: Elaboración propia.

La trinchera TRSM-2 se ubica hacia el sector nororiental del área analizada, sobre una franja adyacente al corredor vial principal, en inmediaciones de la intersección vial situada al extremo norte del polígono. Esta excavación alcanzó una profundidad aproximada de 4.90 m que permitió la observación directa de la secuencia estratigráfica del subsuelo en el sector Sierra Morena. De acuerdo con lo observado en campo, el perfil estratigráfico identificado presenta en superficie un primer estrato compuesto por un limo arenoso de color café rojizo, de textura grumosa y humedad baja, seguido por un limo orgánico de color café claro con presencia de raíces. Posteriormente, se identifica un limo arenoso de color amarillo, seguido de la presencia de bloques de arenisca embebidos en una matriz de arena limosa amarilla con oxidaciones. A mayor profundidad se visualiza el incremento en la frecuencia y tamaño de los bloques de arenisca, sin detectarse la presencia del nivel freático hasta la profundidad alcanzada. (Ver ***Figura 61***)



a) Muestra 1 b) Muestra 3 c) Muestra 5 d) Muestra 7

Figura 61. Muestras extraídas en la Trinchera 2.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la trinchera TRSM-3 se ubica al oeste de una vía principal en sentido norte–sur, identificada como Calle 69F Sur. En base al perfil estratigráfico identificado en esta excavación, se observó un primer estrato compuesto por bloques de arenisca embebido en una matriz de arena amarilla oxidada, seguido de un estrato de arcilla de color habano con oxidaciones. Posteriormente, se visualizó un estrato conformado por bloques de limolita de color habano con oxidaciones en una matriz de arcilla. Por último, a partir de los 3.50 m hasta la profundidad máxima alcanzada de 9.00 metros se encuentran bloques de limolita de color habano con oxidaciones.



a) Muestra 1 b) Muestra 2 c) Muestra 5 d) Muestra 8

Figura 62. Muestras extraídas en la Trinchera 3.

Fuente: Elaboración propia.

En conjunto, las trincheras permitieron la identificación de materiales residuales y rocosos meteorizados, así como evidencias asociadas a procesos de inestabilidad del terreno. Asimismo, facilitaron la obtención de muestras tipo bolsa para la ejecución de ensayos de laboratorio mecánicos, constituyéndose en un insumo fundamental para la caracterización geotécnica integral del sitio y el análisis de los procesos de remoción en masa presentes en el área de estudio.



Figura 63. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Barreno 1).

Fuente: Elaboración propia.

El barreno BRSM-1 se ubica dentro de una zona urbana consolidada, caracterizada por alta densidad de edificaciones y vías locales. El barreno alcanzó una profundidad final de 3.50 m, sin que se detectara la presencia del nivel freático durante el desarrollo de la perforación.

En primer lugar, se identificó un relleno constituido por limo de color café oscuro con capa orgánica y detritos de demolición. Seguidamente, se encuentra un limo arenoso de color café con bloques de arenisca. A partir de los 1.50 m hasta la finalización del barreno a los 3.50 metros predomina un material conformado por bloques de arenisca en una matriz de arena amarilla.

En las imágenes que se presentan a continuación, se muestran las muestras de suelo extraídas durante la ejecución del Barreno 1 (BRSM-1), las cuales corroboran las condiciones estratigráficas previamente descritas y permiten validar la interpretación del perfil geotécnico identificado en campo.



a) Muestra 1 b) Muestra 2 c) Muestra 5

Figura 64. Muestras extraídas en el Barreno 1.

Fuente: Elaboración propia.

Durante la ejecución del barreno se obtuvieron muestras alteradas y se realizaron ensayos de penetración estándar (SPT), lo que permitió evaluar la resistencia y variabilidad de los materiales. La información obtenida en el Barreno 1 constituye un insumo relevante para la correlación estratigráfica con las trincheras y demás puntos de exploración cercanos, y contribuye al análisis de las condiciones geotécnicas y de estabilidad del terreno en el área de estudio.

Por último, es importante resaltar que, en el desarrollo de las exploraciones someras antes mencionadas apique APSM-1, trincheras TRSM-1 a TRSM-3 y barrenos BRSM-1 y BRSM-2 no se evidenció la presencia de nivel freático dentro de los rangos de profundidad explorados. El nivel freático se registró únicamente en el sondeo SSM-1, a 7,00 m de profundidad (cota 2709), medido al terminar la perforación.



Figura 65. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Barreno 2).
Fuente: Elaboración propia.

El barreno BRSM-2 se localiza en el sector suroriental del área de estudio, dentro de un entorno urbano consolidado, con presencia de edificaciones y vías locales. Esta perforación alcanzó una profundidad final de 4.00 m, sin que se detectara la presencia del nivel freático durante el desarrollo de la perforación.
Primeramente, se identificó un limo orgánico de color café oscuro con presencia de raíces. Seguidamente, se encuentra un estrato conformado por bloques de arenisca en una matriz de arena de color amarillo con evidencias de oxidación, representando un material de transición. A partir de los 1.50 metros y hasta la finalización del barreno a los 4,00 m, predomina un material constituido por areniscas de color amarillo con bloques oxidados y de humedad baja.

En las siguientes imágenes se presentan las muestras de suelo extraídas durante la ejecución del Barreno 2 (BRSM-2), las cuales corroboran las condiciones estratigráficas previamente descritas y permiten validar la interpretación del perfil geotécnico identificado en campo.



a) Muestra 1 b) Muestra 2 c) Muestra 7

Figura 66. Muestras extraídas en el Barreno 2.
Fuente: Elaboración propia.

Durante la ejecución del barreno se obtuvieron muestras alteradas y se realizaron ensayos de penetración estándar (SPT), lo que permitió evaluar la resistencia y variabilidad de los materiales. La información obtenida en el Barreno 2 constituye un insumo relevante para la correlación estratigráfica con las trincheras

y demás puntos de exploración cercanos, y contribuye al análisis de las condiciones geotécnicas y de estabilidad del terreno en el área de estudio.

Por último, es importante resaltar que, en el desarrollo de las exploraciones someras antes mencionadas apique APSM-1, trincheras TRSM-1 a TRSM-3 y barrenos BRSM-1 y BRSM-2 no se evidenció la presencia de nivel freático dentro de los rangos de profundidad explorados. El nivel freático se registró únicamente en el sondeo SSM-1, a 7,00 m de profundidad (cota 2709), medido al terminar la perforación.



a) Sondeo 1 b) Perforación rotatoria

Figura 67. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Sondeo).
Fuente: Elaboración propia.

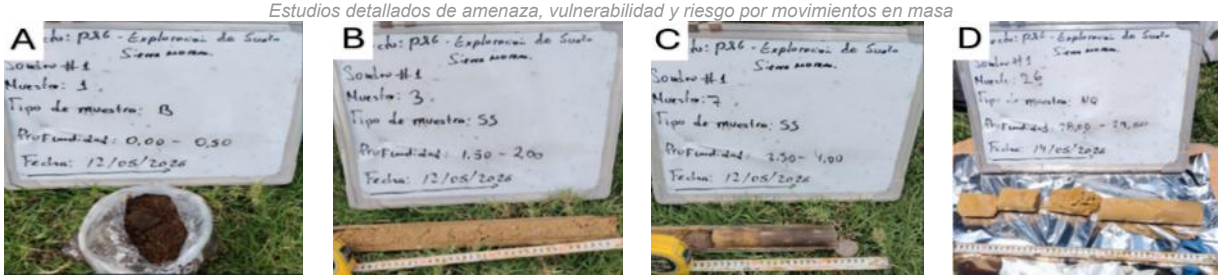
En el sector suroriental del polígono de estudio, en un área abierta próxima al corredor vial curvo que bordea el límite oriental, se ejecutó el Sondeo SSM-1. Este punto de exploración se localiza hacia la franja inferior del área delimitada, en una zona intermedia entre sectores urbanizados y zonas con cobertura vegetal.

El sondeo alcanzó una profundidad final de 31,00 m, registrándose el nivel freático a los 7,00 m de profundidad al terminar la exploración.

De acuerdo con lo identificado en campo, el perfil estratigráfico presenta en superficie un suelo orgánico constituido por limo de color marrón oscuro con presencia de raíces, el cual se extiende hasta los 0.50 m de profundidad. Seguidamente, se evidencia un estrato conformado por arenisca de color amarillo con bloques meteorizados que se prolonga hasta los 1.50 m. Por debajo de este nivel, y hasta los 3.50 m, se identifica una arenisca de color amarillo.

Entre los 3.50 m y los 4.50 m de profundidad, el material cambia a una arenisca de color amarillo inmersa en una matriz arcillosa con presencia de intercalaciones de arenisca gris. Posteriormente, hasta los 6.00 m, se identifican bloques de arenisca amarilla con un alto grado de oxidación en matriz arcillosa de la misma tonalidad.

A partir de los 6.00 m y hasta los 16.50 m, predominan bloques de arenisca de color amarillo (localmente con oxidaciones) dentro de una matriz de arena arcillosa. Finalmente, desde los 16.50 m hasta el fondo de la perforación (31.00 m), prevalecen areniscas de color gris claro con presencia de oxidaciones y variaciones locales a bloques de areniscas amarillas. Con respecto a los parámetros de calidad del material, dicho estrato registra un porcentaje de recuperación variable entre el 18% y 66%, acompañado de valores de RQD (*Rock Quality Designation*) que se sitúan en el rango del 7% al 27%.



a) Muestra 1 b) Muestra 3 c) Muestra 7 d) Muestra 26

Figura 68. Muestras extraídas en el sondeo 1.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que conforman el Sierra Morena se realizaron ensayos de laboratorio sobre muestras representativas obtenidas durante la exploración geotécnica. Estos ensayos permitieron caracterizar de manera geotécnica los parámetros del suelo y evaluar su comportamiento frente a la humedad, la granulometría, la plasticidad y otros parámetros fundamentales para el análisis geotécnico. Es importante resaltar que, las pruebas se ejecutaron en conformidad con las Normas de Ensayos para Carreteras, edición 2013 vigente, emitidas por el INVIAS, garantizando la trazabilidad y confiabilidad de los resultados. A continuación, se relacionan cada uno de los ensayos ejecutados:

Tabla 38. Relación de la cantidad de ensayos de laboratorio ordenados del sector Sierra Morena.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TOTAL
Análisis granulométrico de suelos por tamizado. INV E-123-13	UN	20
Determinación en laboratorio del contenido de agua (Humedad natural) del suelo y agregados. INV E-122-13.	UN	20
Determinación del Límite líquido, limite plástico e Índice de plasticidad de suelos (INV E 125/126 NTC 4630)	UN	20
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición. INV E-121-13	UN	1
Determinación de la masa volumétrica (peso unitario) de los suelos. INV E-161-13.	UN	11
Determinación de la gravedad específica de los suelos. INV E-128-13.	UN	16
Determinación del índice de carga puntual en rocas. INV E-185-13.	UN	20
Ensayo de compresión simple en roca, ASTM D 7012-10 METODO C.	UN	7
TOTAL, DE ENSAYOS	**UN**	**115**

3.2.4 EXPLORACIÓN INDIRECTA

La exploración indirecta del subsuelo se llevó a cabo mediante la ejecución de líneas sísmicas, con el propósito de complementar y correlacionar la información obtenida a partir de la exploración directa, así como de evaluar en detalle las condiciones geotécnicas del terreno en el área de estudio. Este procedimiento comprendió el trazado, levantamiento y georreferenciación de las líneas sísmicas, las cuales fueron ubicadas estratégicamente para interceptar sectores representativos del sitio donde

previamente se habían ejecutado apiques, sondeos, barrenos y trincheras, permitiendo una adecuada integración de la información geológica, geotécnica y geofísica.

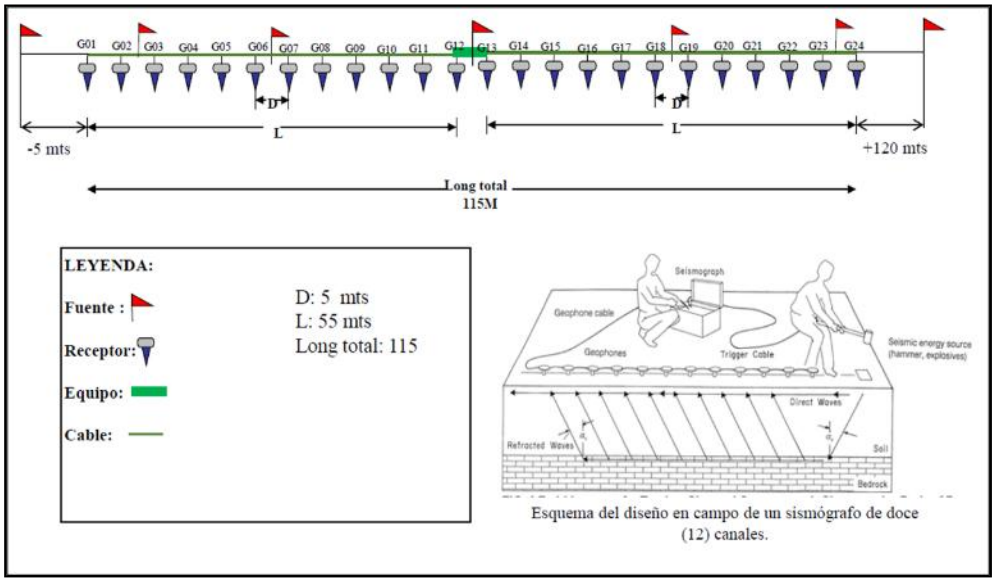
Las líneas sísmicas corresponden a perfiles de datos geofísicos obtenidos a lo largo de alineamientos específicos del terreno, adquiridos mediante la aplicación del método de refracción sísmica. Esta técnica se basa en el registro de la propagación de ondas sísmicas generadas por impulsos controlados en superficie, utilizando sismógrafos y arreglos de geófonos, con el fin de determinar las velocidades sísmicas de los materiales del subsuelo. El procesamiento e interpretación de dichos registros permiten obtener modelos bidimensionales de alta resolución, a partir de los cuales se infiere la geometría, profundidad, espesor y velocidad de propagación de las capas, así como la presencia de discontinuidades o contrastes litológicos.

En el marco del presente proyecto se ejecutó una (01) línea sísmica, mediante la cual se adquirieron datos geofísicos de alta calidad, que facilitaron una caracterización detallada de las propiedades dinámicas del subsuelo. La ubicación de estas líneas respondió a criterios técnicos orientados a maximizar la representatividad de la información, aportando insumos fundamentales para el análisis estructural del terreno y la evaluación de su comportamiento ante solicitaciones sísmicas, especialmente en zonas con potencial riesgo geodinámico.

A lo largo de cada línea sísmica se efectuaron registros mediante la generación de ondas sísmicas en superficie y la medición de los tiempos de llegada de las ondas refractadas, lo que permitió estimar la variación espacial de parámetros dinámicos tales como la rigidez del material, la compacidad relativa, el grado de consolidación y la profundidad relativa de los estratos. A partir de la interpretación de los resultados se logró diferenciar estratos de materiales sueltos, densos y competentes, identificar cambios en la profundidad de las capas y estimar la posible presencia de suelos blandos, suelos competentes y/o roca.

En este contexto, los trabajos realizados se ejecutaron en estricto cumplimiento del plan de exploración y ensayos geotécnicos aprobado, ajustándose a las condiciones específicas del sitio y atendiendo los requerimientos técnicos y normativos del estudio, garantizando la confiabilidad y coherencia de la información empleada para el diseño y análisis geotécnico del proyecto.

En la siguiente figura, se presenta un esquema ilustrativo referente al proceso de ejecución de las líneas sísmicas ejecutadas en el área bajo estudio:



Esquema del diseño en campo de un sismógrafo de doce (12) canales.

Figura 69. Esquema de líneas sísmicas.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra con detalle, la disposición de las líneas ejecutadas para el plan de exploración geotécnica establecido.



Figura 70. Localización de la línea sísmica ejecutada.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presentan las coordenadas de los puntos inicial y final de las líneas sísmicas. Estas coordenadas se tomaron en campo con un GPS y están referidas al sistema de Proyección para Colombia, con origen nacional (CTM12).

Tabla 39. Coordenadas de líneas sísmicas.

LÍNEA SÍSMICA (ID)	***Coordenadas Geográficas***			
	Inicial		***Final***	
	Latitud	***Longitud***	***Latitud***	***Longitud***
LSSM-1	*4°34'43.28"N*	*74°10'15.84"W*	*4°34'41.39"N*	*74°10'13.81"W*

Fuente: Elaboración propia.

El procesamiento e inversión de los registros permitió obtener el perfil de velocidad de onda de corte del sitio. La línea LSSM-1 arrojó una velocidad promedio en los primeros 30 m de Vs30 = 565 m/s, el valor más alto de los tres sectores del estudio; conforme a la Tabla A.2.4-1 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, dicho valor clasifica el perfil de suelo del sector como tipo C.

El modelo obtenido sitúa los materiales competentes a menor profundidad que en los demás sectores: el techo del cuerpo de alta velocidad (Vp superior a 1.800 m/s) se ubica entre 5 y 8 m bajo el sector central del tendido y asciende hasta 2 a 3 m hacia el extremo oriental, en concordancia con los afloramientos observados en el corte vial y con el contacto suelo–roca de 4,50 m registrado en el sondeo SSM-1. Este resultado valida de forma independiente el modelo geológico-geotécnico del capítulo 3.3.

3.3 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

3.3.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

La caracterización geotécnica se desarrolló a partir de los resultados de la exploración del subsuelo y de los ensayos de campo y laboratorio consignados en la tabla resumen de resultados del estudio, siguiendo el CCP-14 numeral 10.4.6. Con esa información se estimaron los parámetros geotécnicos en cinco etapas encadenadas: primero se identificaron los materiales (estratos) presentes y se analizaron sus espesores y profundidades por perforación, clasificándolos como carpeta asfáltica, suelo o roca; luego se clasificaron los suelos por el Sistema Unificado (SUCS) y se evaluó su potencial expansivo; a continuación se determinaron los parámetros de resistencia al corte y de deformación de cada material de suelo a partir de la corrección del ensayo de penetración estándar y de las correlaciones aplicables; se caracterizó la resistencia del macizo rocoso por el criterio de Hoek-Brown con la clasificación RMR; y finalmente se consolidaron los parámetros de diseño por material en el resumen. Todos los valores provienen de los ensayos medidos; los parámetros que se estiman por correlación o se asumen se declaran de forma explícita en cada numeral.

3.3.1.1 Análisis de espesores

El análisis de espesores identifica los materiales (estratos) que conforman el subsuelo y establece su distribución en profundidad, a partir de las profundidades medidas en las perforaciones del estudio. Su resultado —el inventario de materiales y el modelo de espesores por sondeo— constituye la base de las etapas siguientes: la clasificación de suelos, la resistencia y la caracterización del macizo rocoso.

Tipos de materiales (estratos): 6 (5 de suelo, 1 de roca). Muestras: 69. Perforaciones: 7.

3.3.1.1.1 Identificación de los tipos de materiales

El punto de partida es un **análisis de espesores y profundidades**: en cada perforación las muestras se ordenan por profundidad y se agrupan según la unidad geológica registrada, y el espesor de cada material se obtiene de las profundidades reales de muestreo. Cada material se clasifica luego como carpeta asfáltica, suelo o roca —la carpeta asfáltica por corresponder a una capa de pavimento; la roca por tratarse de una formación geológica y contar con ensayos propios como la carga puntual o la compresión simple; y el suelo por contar con SPT y ensayos de granulometría y plasticidad—.

En este proyecto se identifican 6 tipos de materiales (5 de suelo y 1 de roca), que se relacionan a continuación con su presencia y profundidad reales, sin interpretación adicional. En este informe la unidad K2E1gm corresponde a la Formación Guaduas, que en el sondeo SSM-1 se diferencia en dos niveles: un saprolito superior, entre 0,00 y 6,00 m, con comportamiento de suelo granular, y el macizo rocoso subyacente, por debajo de 6,00 m.

- **Capa orgánica (suelo):** 4 perforaciones, 4 muestras, entre 0 y 0.7 m de profundidad.
- **Depósitos y Rellenos Antrópicos - Botaderos (Qb) (suelo):** 1 perforación (APSM-1), 1 muestra, entre 0 y 0.45 m de profundidad.
- **Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra) (suelo):** 1 perforación (TRSM-2), 3 muestras, entre 0 y 2.0 m de profundidad; clasificación USC predominante CL, SC.
- **Depósito de coluvión (Qc) (suelo):** 6 perforaciones, 19 muestras, entre 0 y 5.7 m de profundidad; clasificación USC predominante GC, SC, GP-GC.
- **Suelo Residual (Qsr) (suelo):** 1 perforación (TRSM-3), 2 muestras, entre 1.0 y 2.2 m de profundidad.
- **Formación Guaduas (K2E1gm) (roca):** 3 perforaciones, 40 muestras, entre 0.5 y 31.0 m de profundidad; clasificación USC predominante SC, SM, SP-SM.

Tabla 40. Tipos de materiales (estratos) identificados.

Material	Tipo	Muestras	Perforaciones	Prof. (m)	USC predom.
Capa orgánica	Suelo	4	4	0–0.7	—
Depósitos y Rellenos Antrópicos - Botaderos (Qb)	Suelo	1	1	0–0.45	—
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	Suelo	3	1	0–2.0	CL, SC
Depósito de coluvión (Qc)	Suelo	19	6	0–5.7	GC, SC, GP-GC
Suelo Residual (Qsr)	Suelo	2	1	1.0–2.2	—
Formación Guaduas (K2E1gm)	Roca	40	3	0.5–31.0	SC, SM, SP-SM

Nota. Muestras = número de muestras del material; Perforaciones = número de perforaciones donde aparece. El color de cada material corresponde al usado en la tabla de resultados del estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.1.2 Análisis estratigráfico

El perfil del sector se compone de los 6 materiales descritos, reconocidos en 7 perforaciones. La secuencia es consistente: una cobertura somera de capa orgánica, botaderos (Qb) y rellenos de adecuación (Qra), seguida del depósito de coluvión (Qc) y de suelo residual (Qsr), sobre el basamento de la Formación Guaduas (K2E1gm). El sondeo SSM-1 alcanzó 31,00 m y registró el techo de roca a 4,50 m (cota 2711,5), el más somero del estudio.

De las 7 perforaciones, 3 alcanzaron la Formación Guaduas y 4 permanecieron en suelo en toda su profundidad explorada. La Formación Guaduas se identifica a partir de 1,50 m en BRSM-2, de 2,20 m en TRSM-3 y de 0,50 m en SSM-1. Los dos valores reportados para el SSM-1 —0,50 m en la tabla de resultados y 4,50 m (cota 2711,5) en el registro de perforación— no se contradicen: describen estados de meteorización distintos de una misma unidad. La formación está presente desde 0,50 m, pero hasta aproximadamente 6,00 m de profundidad se encuentra en grado de meteorización IV a V —saprolito—, esto es, material que conserva la fábrica y la estructura de la roca original pero ha perdido la cementación entre granos, se disgrega con la presión de los dedos y no admite recuperación de núcleo; por ello se muestrea con cuchara partida y se ensaya con SPT y granulometría como si fuera suelo. Hacia los 4,50 m el registro comienza a describir el material como roca y, por debajo de los 6,00 m, el grado de meteorización disminuye de forma progresiva, la cementación se recupera y se obtienen núcleos continuos representativos del macizo. En consecuencia, el límite relevante para la modelación no es un techo de roca único, sino la transición del horizonte saprolítico al macizo con recuperación de núcleo, situada en torno a los 6,00 m.

Profundidad al techo de roca (Formación Guaduas) por perforación:

- BRSM-2: techo de roca a 1.50 m; explorado hasta 4.00 m.
- TRSM-3: techo de roca a 2.20 m; explorado hasta 9.00 m.
- SSM-1: Formación Guaduas identificada desde 0,50 m, en grado de meteorización IV–V (saprolito) hasta aproximadamente 6,00 m —el registro la describe como roca a partir de 4,50 m, cota 2711,5— y con recuperación de núcleos continuos por debajo de esa profundidad; explorado hasta 31,00 m.
- **Exploraciones directas sin roca (todo suelo):** TRSM-1 (hasta 5.7 m), TRSM-2 (hasta 4.9 m), BRSM-1 (hasta 3.5 m), APSM-1 (hasta 1.6 m).

Zonas de transición (saprolito): En tres perforaciones la Formación Guaduas presenta ensayos de SPT y granulometría propios de suelo, en lugar de recuperarse como núcleo de roca, consistente con roca meteorizada (saprolito) en el contacto suelo–roca.

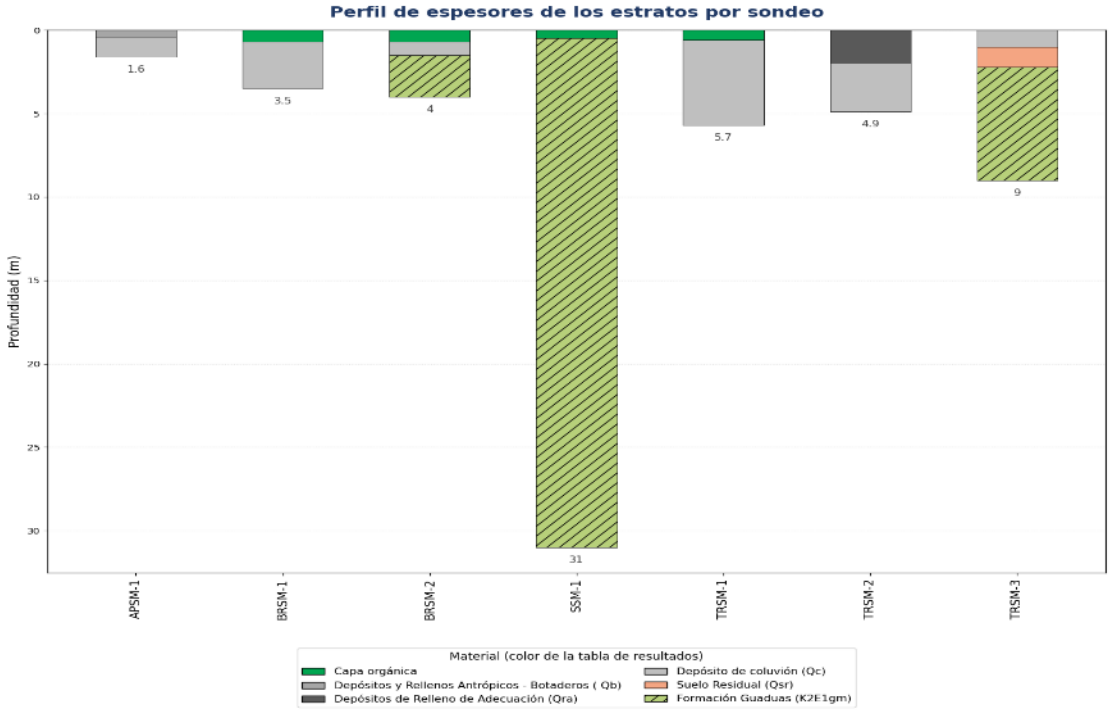


Figura 71. Perfil de espesores de los estratos por sondeo (profundidad hacia abajo; el color de cada estrato corresponde al material en la tabla de resultados y la roca se distingue con trama).

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.1.3 Clasificación de los materiales según su origen

Los materiales se clasifican según su origen en dos grandes mecanismos (**SGC, 2017**): la meteorización de la roca in situ, que da lugar a los suelos residuales, y el transporte por agentes externos (agua, gravedad, viento, hielo o acción antrópica), que forma los suelos transportados. El origen orienta el comportamiento geotécnico esperado. La asignación siguiente se deriva del nombre de cada unidad geológica y se confirma con la descripción de campo.

Tabla 41. Clasificación de los materiales según su origen (SGC, 2017).

Material	Origen	Mecanismo (SGC 2017)
Capa orgánica	Cobertura orgánica	Cobertura superficial
Depósitos y Rellenos Antrópicos - Botaderos (Qb)	Antrópico	Suelo transportado — depósitos antrópicos
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	Antrópico	Suelo transportado — depósitos antrópicos
Depósito de coluvión (Qc)	Transportado — coluvial / de ladera	Suelo transportado — depósitos de gravedad y ladera
Suelo Residual (Qsr)	Suelo residual	Meteorización de la roca in situ
Formación Guaduas (K2E1gm)	Roca in situ	Formación rocosa (basamento)

Fuente: Elaboración propia con base en SGC (2017).

3.3.1.1.4 Perfiles de meteorización

Los horizontes de meteorización del macizo rocoso se describen según el Geological Society Engineering Group (1970) y Dearman (1974), en seis grados: I roca fresca, II ligeramente meteorizada, III moderadamente meteorizada, IV altamente meteorizada (saprolito grueso), V completamente meteorizada (saprolito fino) y VI suelo residual. El grado asignado a cada material se sustenta en la descripción de campo del macizo y en el RQD y el recobro registrados en la exploración, que se relacionan a continuación.

Tabla 42. Grado de meteorización (Geological Society 1970 / Dearman 1974) por material, asignado a partir de la clase del estrato y de la descripción de campo.

Material	Clase	Grado	Descripción	Observación
Suelo Residual (Qsr)	Suelo	VI	suelo residual (roca madre completamente transformada)	Horizonte VI; conserva relación con la roca de origen.
Formación Guaduas (K2E1gm)	Roca	IV–V	saprolito (roca altamente a completamente meteorizada)	RQD de 6,7 a 29,3 % y recobro de 48 a 86 % en el sondeo SSM-1; techo de roca a 4,5 m (cota 2711,5). Consistente con grado IV–V.

Fuente: Elaboración propia con base en Geological Society (1970) y Dearman (1974).

Evidencia de campo de la meteorización (registros de perforación, SIERRA MORENA). El sondeo SSM-1 registra la Formación Guaduas desde 4,50 m (cota 2711,5) hasta 31,00 m, con recobro de 48 a 86 % en las muestras de cuchara partida y RQD de 6,7 a 29,3 % (mediana 19,3 %) en las maniobras de núcleo, indicativo de un macizo de muy mala calidad y grado de meteorización IV–V (saprolito).

3.3.1.2 Clasificación de suelos

La clasificación de los suelos tiene por objeto establecer el tipo de cada material por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS, ASTM D2487), consolidar sus propiedades índice y evaluar su potencial expansivo por el índice de plasticidad y el límite líquido (norma INV-132-13). Los materiales orgánicos se

reclasifican; la roca no entra en esta clasificación y los materiales sin ensayos se señalan de forma explícita.

3.3.1.2.1 Clasificación de los materiales de suelo (SUCS)

Los materiales de suelo se clasifican por el **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)** a partir de la granulometría —la fracción que pasa el tamiz No. 200— y los límites de Atterberg. Se distingue entre suelos **granulares** (menos del 50 % pasa el No. 200) y suelos **finos o cohesivos** (50 % o más), y se contrasta la clasificación del estudio con la que resulta de los ensayos.

De los 5 materiales de suelo con ensayos de clasificación, 3 son granulares (Depósitos de Relleno Ingenieril, Depósitos de Relleno de Adecuación, Depósitos de Deslizamientos Recientes), 1 cohesivos (Suelo Residual) y 1 orgánico (Capa orgánica, clasificado OL según la carta de plasticidad). Los suelos residuales y el limo arenoso son finos de baja a alta plasticidad (CL a CH); los depósitos y rellenos son en su mayoría arenas y gravas arcillosas (SC, GC). Los rangos de propiedades índice por material se presentan en la siguiente tabla y figuras.

Tabla 43. Clasificación SUCS, propiedades índice (rangos mínimo–máximo) y potencial expansivo por material de suelo.

Material	Naturaleza	USC	w (%)	LL (%)	IP (%)	% < No.200	Potencial expansivo
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	cohesivo	CL, SC	12.5–23.2	31–33	17–18	34.7–68.3	Medio
Depósito de coluvión (Qc)	granular	GC, SC, GP-GC	6.8–9.7	21–55	9–35	10.6–29.4	Sí (Muy Alto)
Formación Guaduas (K2E1gm)	granular	SC, SM, SP-SM	0.8–12.1	21–25	8–15	9.3–30.2	Medio

Nota. w = humedad natural; LL = límite líquido; IP = índice de plasticidad; % < No.200 = fracción fina. Potencial expansivo según Norma IS 1498 (Sí = grado Alto o Muy Alto; Marginal = Medio; No = Bajo).
Fuente: Elaboración propia.

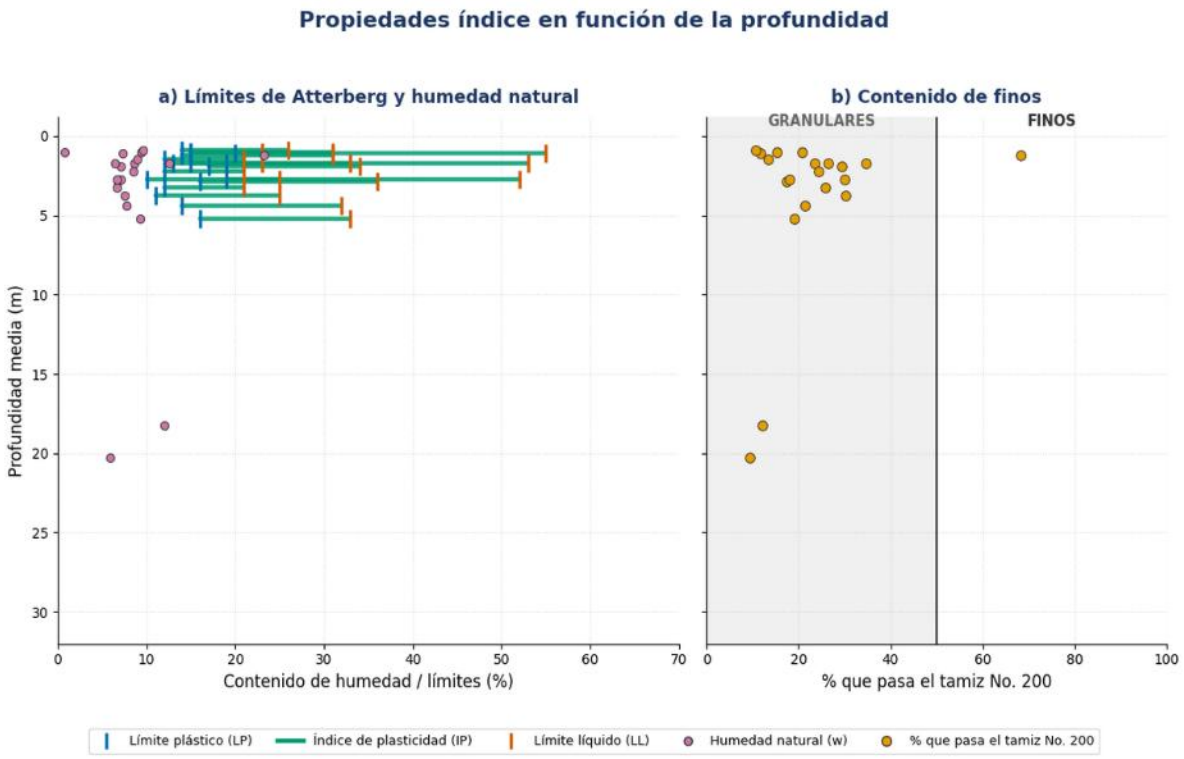


Figura 72. Propiedades índice en función de la profundidad: a) límites de Atterberg (LP, IP, LL) y humedad natural; b) porcentaje que pasa el tamiz No. 200, con el umbral del 50 % que separa suelos granulares de finos.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 72 muestra que los ensayos de plasticidad se concentran en los primeros metros del perfil. La humedad natural se ubica de manera consistente por debajo del límite líquido, lo que indica suelos en estado firme a semiduro, y el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 alterna entre valores menores y mayores al 50 %, lo que confirma la intercalación de materiales granulares y finos identificada en el análisis de espesores.

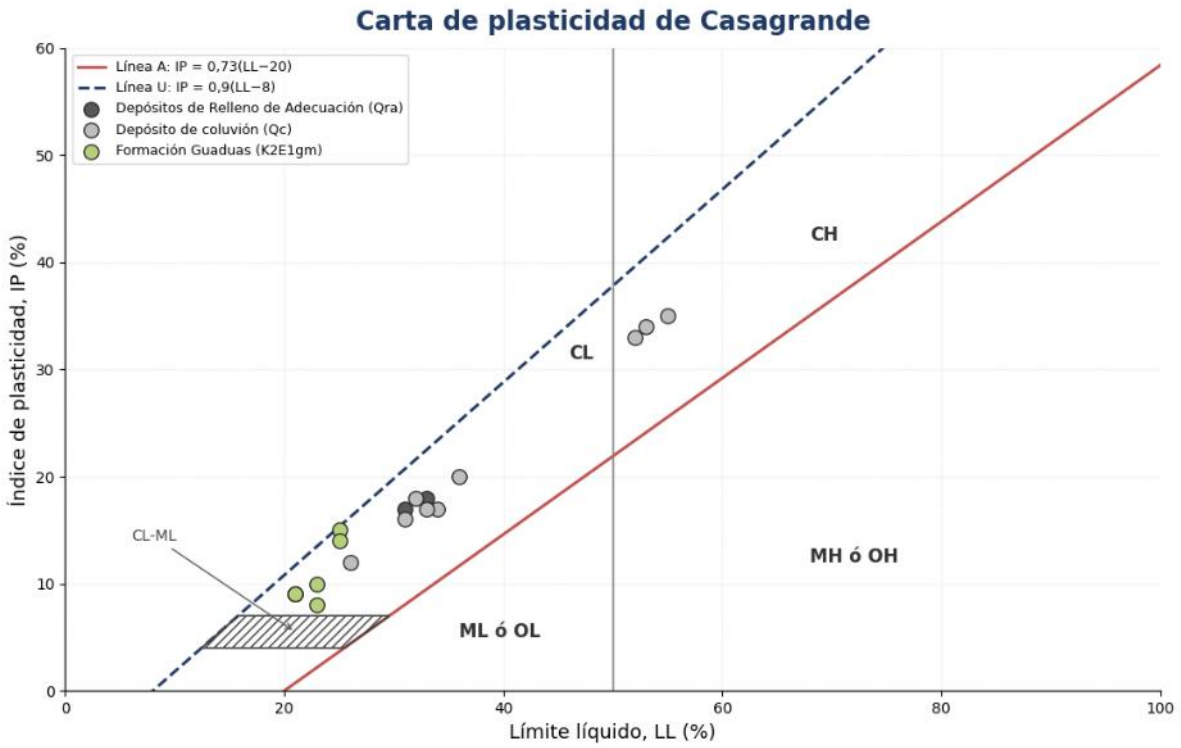


Figura 73. Carta de plasticidad de Casagrande; los puntos se agrupan por material.
Fuente: Elaboración propia.

En la carta de plasticidad la mayoría de los puntos se ubican sobre o por encima de la línea A y por debajo de la línea U, en los campos CL y CH, lo que confirma el predominio de arcillas de plasticidad baja a alta. Los materiales granulares con finos plásticos (SC) se sitúan igualmente cerca de la línea A, en el campo CL.

3.3.1.2.2 Evaluación del potencial expansivo (INV-132-13)

El potencial de expansión de los suelos finos se evalúa según la norma **INV-132-13** en función del límite líquido y del índice de plasticidad, empleando los criterios de Chen y de la Norma IS 1498.

Potencial de expansión en función del límite líquido.

Tabla 44. Potencial de expansión en función del límite líquido (LL, %).

Grado de expansión	Chen	Norma IS 1498
Bajo	< 30	20 – 35
Medio	30 – 40	35 – 50
Alto	40 – 60	50 – 70
Muy Alto	> 60	70 – 90

Fuente: Chen y Norma IS 1498, según INV-132-13.

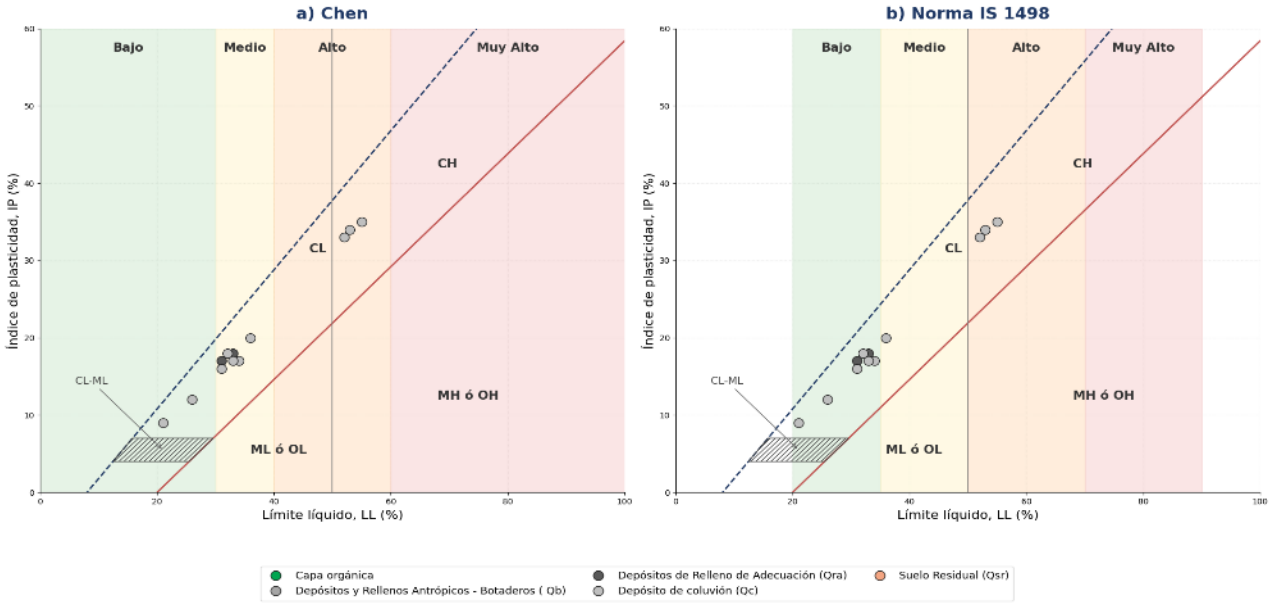


Figura 74. Revisión del potencial de expansión en función del límite líquido: a) Chen; b) Norma IS 1498.

Fuente: Elaboración propia con base en INV-132-13.

Potencial de expansión en función del índice de plasticidad.

Tabla 45. Potencial de expansión en función del índice de plasticidad (IP, %).

Grado de expansión	Chen	Norma IS 1498
Bajo	0 – 15	< 12
Medio	10 – 35	12 – 23
Alto	20 – 55	23 – 32
Muy Alto	> 35	> 32

Nota: los rangos de Chen se traslapan en la fuente; para las bandas se usaron los valores de inicio de cada categoría.

Fuente: Chen y Norma IS 1498, según INV-132-13.

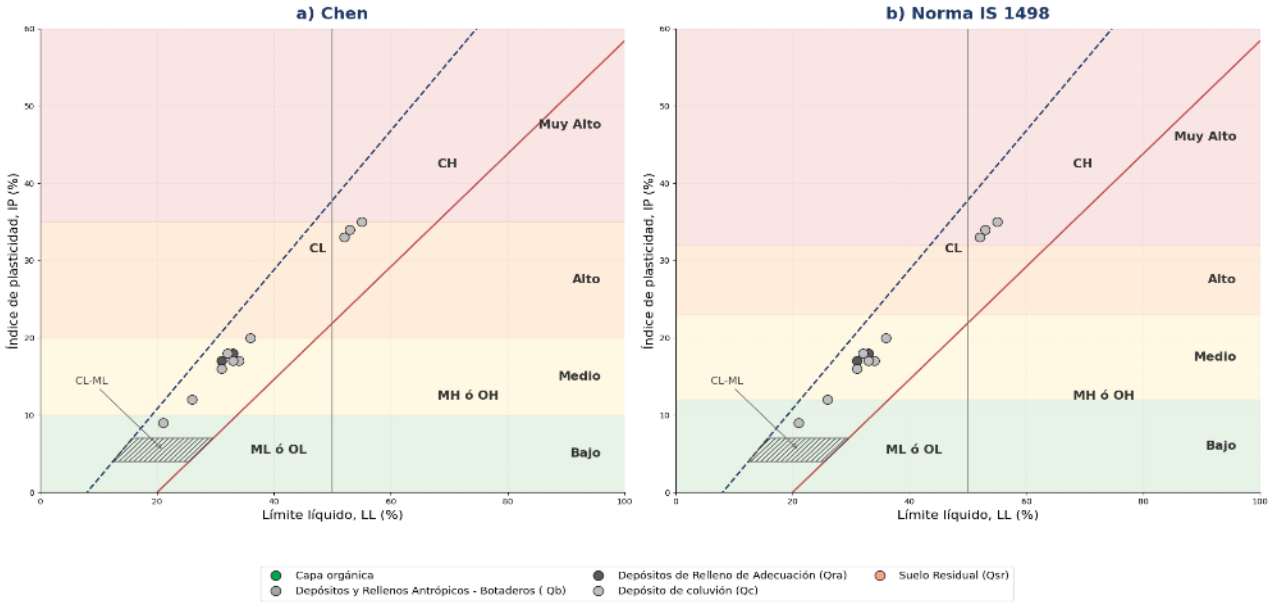


Figura 75. Revisión del potencial de expansión en función del índice de plasticidad: a) Chen; b) Norma IS 1498.

Fuente: Elaboración propia con base en INV-132-13.

En ambos criterios, los materiales finos más plásticos del proyecto —Suelo Residual, Depósitos de Relleno de Adecuación— alcanzan grados de expansión **Alto a Muy Alto**, por lo que se consideran potencialmente expansivos. Las unidades de roca no se incluyen en esta evaluación.

3.3.1.2.3 Conclusiones

El subsuelo del sector está conformado por una cobertura orgánica somera (OL), seguida de rellenos y depósitos de deslizamiento clasificados como arenas y gravas arcillosas (SC, GC) y de suelo residual (Qsr) de plasticidad media a alta (CL–CH), sobre la roca de la Formación Guaduas. En la carta de plasticidad, los suelos finos se ubican predominantemente sobre la línea A, en los campos CL y CH.

El potencial de expansión se concentra en el Depósito de coluvión (Qc), que alcanza grado Muy Alto (LL hasta 55 % e IP hasta 35 %). El Relleno de Adecuación (Qra) y la Formación Guaduas presentan expansividad media. La unidad de roca no requiere esta evaluación.

3.3.1.2.4 Nivel freático y peso unitario

Antes de estimar la resistencia y la deformabilidad se establecen, para cada material, el nivel freático, el peso unitario γ y el coeficiente de presión de poros Ru, empleados en el cálculo del esfuerzo vertical efectivo σ′v y en los análisis de estabilidad.

Nivel freático: El nivel freático se registró en el sondeo SSM-1 a 7,00 m de profundidad (cota 2709), medido al terminar la perforación; en las demás exploraciones no se detectó dentro de la profundidad explorada. Dado su carácter puntual, la posición del agua no se emplea para asignar el Ru material por material, sino que el coeficiente de presión de poros se define mediante dos condiciones de análisis: una condición saturada (Ru = 0,5 en los suelos), que representa la hipótesis desfavorable de ascenso de la superficie freática hasta el terreno, y una condición seca (Ru = 0), con la superficie freática por debajo de las superficies de falla. Ambas se describen a continuación.

Peso unitario total: El peso unitario γ se adopta de los ensayos de peso unitario donde existen (resaltados en la tabla) y, para los materiales sin ensayo, se asume un valor típico por familia USC, declarado. Estos valores alimentan el cálculo del esfuerzo vertical efectivo σ′v.

Peso unitario saturado: El peso unitario saturado γsat se estima como γsat = γd + n·γw, con el peso unitario seco γd = γ/(1 + w), la relación de vacíos e = Gs·γw/γd − 1 y la porosidad n = e/(1 + e); w es la humedad natural y Gs la gravedad específica de la Tabla resumen (Gs = 2,68 asumido cuando el material no tiene ensayo). Alimenta los escenarios saturados de los análisis de estabilidad. En la roca y la carpeta, por su baja porosidad, se toma γsat ≈ γ total.

Coeficiente de presión de poros (Ru): El coeficiente de presión de poros se define como la relación entre la presión de poros y el esfuerzo total de sobrecarga en el punto considerado (Bishop & Morgenstern, 1960):

$$Ru = u / (\gamma \cdot z)$$

Ecuación 1. Definición del coeficiente de presión de poros.
Fuente: Bishop & Morgenstern (1960).

donde u es la presión de poros, γ el peso unitario total del material y z la profundidad del punto bajo la superficie del terreno; el producto γ·z es el esfuerzo total de sobrecarga. Bajo régimen hidrostático, con la superficie freática a una profundidad d, la presión de poros en un punto situado a profundidad z > d vale u = γw · (z − d), de donde:

$$Ru = (\gamma w / \gamma) \cdot (1 - d/z)$$

Ecuación 2. Coeficiente de presión de poros bajo régimen hidrostático, con la superficie freática a profundidad d.
Fuente: Elaboración propia con base en Bishop & Morgenstern (1960).

De la Ecuación 2 se derivan los dos casos límite que definen los escenarios de análisis. Cuando la superficie freática coincide con la superficie del terreno (d = 0) resulta Ru = γw/γ, que para los pesos unitarios de este sector es del orden de 0,5; esta es además la única condición para la cual Ru se mantiene constante a lo largo de una superficie de falla, razón por la cual el parámetro solo es estrictamente representativo en dicho caso. Cuando la superficie freática se sitúa por debajo del punto considerado (z ≤ d) resulta u = 0 y por tanto Ru = 0.

Ru de la condición actual: Aplicando la Ecuación 2 a la superficie freática registrada en el sondeo SSM-1 (7,00 m) y ponderando por el espesor de cada unidad se obtienen los valores de la Tabla siguiente. La condición actual del sector queda entonces definida por: superficie freática a 7,00 m de profundidad; saprolito de la Formación Guaduas y suelos suprayacentes (0,00 a 6,00 m) íntegramente por encima de esa superficie y, en consecuencia, con presión de poros nula (Ru = 0); macizo de la Formación Guaduas (6,00 a 31,0 m), atravesado por la superficie freática, con Ru medio de 0,284; ausencia de solicitación sísmica; y geometría del talud tal como se encontró en campo. Estos valores describen la condición documentada durante la exploración, no la condición de diseño.

Tabla 46. Coeficiente de presión de poros Ru de la condición actual, calculado con la Ecuación 2 a partir de la superficie freática registrada en el sondeo SSM-1 (7,00 m) y ponderado por el espesor de cada unidad.

Unidad	Tramo (m)	γ (kN/m³)	NF (m)	Ru calculado
Saprolito de la Formación	0,0 – 6,0	18,6	7,00	0,00

Guaduas y suelos suprayacentes				
Macizo de la Formación Guaduas (K2E1gm)	6,0 – 31,0	18,8	7,00	0,284

Fuente: Elaboración propia con base en Bishop & Morgenstern (1960) y el registro de perforación del sondeo SSM-1.

Debe advertirse que el nivel se midió al terminar la perforación y en un único punto, por lo que no corresponde necesariamente a una superficie freática de equilibrio ni recoge las fluctuaciones estacionales. Por esta razón la condición actual no se adopta como escenario de diseño para el manto de suelo, sino que se documenta como referencia.

Ru de los escenarios de análisis: Los análisis de estabilidad se ejecutan en cuatro escenarios: estático y pseudoestático, cada uno en condición saturada y seca. En la condición saturada se asigna a los materiales de suelo Ru = 0,5, que conforme a la Ecuación 2 con d = 0 corresponde a la hipótesis desfavorable de ascenso de la superficie freática hasta el terreno por infiltración prolongada. En la condición seca se asigna Ru = 0 a todos los materiales, que corresponde a la superficie freática por debajo de las superficies de falla analizadas.

Al macizo rocoso no se le asigna el Ru = 0,5 del manto de suelo. La hipótesis de saturación representa la infiltración de la lluvia en el manto de suelo, que es la unidad que responde a los eventos de precipitación; la carga hidráulica dentro del macizo, en cambio, la gobierna el régimen regional que la exploración midió. Se adopta por tanto en la roca el Ru que arroja la Ecuación 2 con la piezometría registrada. La superficie freática registrada (7,00 m) se encuentra 1,0 m por debajo del techo del macizo (6,00 m en SSM-1), de modo que el metro superior del macizo se halla sobre el nivel de agua y le corresponde u = 0. El promedio ponderado por espesor resulta Ru = 0,168 en los primeros 10 m de macizo y Ru = 0,284 sobre todo el macizo explorado. Se adopta el valor sobre todo el espesor, Ru = 0,28, por ser el más desfavorable de los dos y no depender de una hipótesis sobre la profundidad que alcanzan las superficies de falla.

Tabla 47. Coeficiente de presión de poros Ru adoptado en cada escenario de análisis.

Escenario de análisis	**Saturado**	**Sismo**	Ru — suelos y saprolito	Ru — macizo
0. Condición actual representativa	In situ	No	0	0,28
1. Estático saturado	Sí	No	0,5	0,28
2. Estático seco	No	No	0	0
3. Pseudoestático saturado	Sí	Sí	0,5	0,28
4. Pseudoestático seco	No	Sí	0	0

Nota. *En los suelos, Ru = 0,5 corresponde a la Ecuación 2 con la superficie freática en el terreno (d = 0); en la roca, al valor que arroja la Ecuación 2 con la piezometría registrada. Se incluye además la condición actual representativa (fila 0): análisis estático con la superficie freática registrada (SSM-1, 7,00 m). Los materiales de suelo y el depósito de coluvión (Qc), situados por encima del nivel freático, se modelan con Ru = 0; el macizo de la Formación Guaduas (K2E1gm), que se extiende por debajo del nivel, con Ru = 0,28 según la Ecuación 2; corresponde a la sección A-A' y representa el estado del talud tal como se encontró. El saprolito de la Formación Guaduas (0,00 a 6,00 m) se asimila a los materiales de suelo por estar situado por encima de la superficie freática registrada y responder a la infiltración, por lo que toma Ru = 0,5 en condición saturada y Ru = 0 en la condición actual y en condición seca.*

Fuente: Elaboración propia con base en Bishop & Morgenstern (1960).

Tabla 48. Peso unitario total (γ) y saturado (γsat) y coeficiente de presión de poros Ru por material.

Material	γ total (kN/m³)	γsat (kN/m³)	Ru — saturado	Ru — seco	Fuente
Capa orgánica	15.0	17.9	0,5	0	asumido (familia USC O)
Depósitos y Rellenos Antrópicos - Botaderos (Qb)	18.5	18.5	0,5	0	asumido (familia USC S)
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	18.5	19.3	0,5	0	asumido (familia USC S)
Depósito de coluvión (Qc)	18.5	20.5	0,5	0	asumido (familia USC G)
Suelo Residual (Qsr)	18.5	19.6	0,5	0	asumido (familia USC S)
Formación Guaduas (K2E1gm) — macizo (> 6,00 m)	18.8	18.8	0,28	0	medido (n = 11; se excluye 1 atípico)

Nota. γ medido o asumido por familia USC, según se declara. Ru corresponde a los escenarios de análisis: en condición saturada, 0,5 en los suelos y 0,28 en el macizo de la Formación Guaduas; en condición seca, 0 en todos los materiales. En la Formación Guaduas se descartó una medida atípica (SSM-1, muestra 27 a 30,25 m: γ = 1,037 Ton/m³ ≈ 10,2 kN/m³), identificada tanto por el criterio de rango intercuartílico como por implausibilidad física —corresponde a la densidad del agua—; la media adoptada de 18,8 kN/m³ proviene de las 11 medidas restantes. Se emplean en el cálculo de σ'v y en los análisis de estabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.3 Resistencia de suelos

La resistencia y la deformabilidad de los materiales de suelo se determinan siguiendo el CCP-14 numeral 10.4.6.2 y 10.4.6.3, a partir del ensayo de penetración estándar. Con los valores corregidos N_{60} y $N_{1,60}$ se obtienen el ángulo de fricción de los suelos granulares y la resistencia no drenada de los cohesivos, complementados con la correlación de González (1999) para la cohesión y la fricción; de las correlaciones y ensayos disponibles se obtienen el módulo de Young, la relación de Poisson y los parámetros de consolidación. Los materiales sin ensayos de resistencia se retiran de las tablas con la nota correspondiente.

3.3.1.3.1 Resistencia de los materiales de suelo

La resistencia al corte se determina siguiendo el **CCP-14 numeral 10.4.6.2**. El número de golpes de campo del ensayo de penetración estándar se corrige por energía y por sobrecarga (numeral 10.4.6.2.4):

$$N_{60} = (ER / 60) \cdot N$$

Ecuación 3. Corrección del número de golpes del SPT por la energía del martillo. ER ≈ 45 % (martillo donut).

Fuente: CCP-14, numeral 10.4.6.2.4.

$$\sigma'v = \gamma \cdot z - u$$

Ecuación 4. Esfuerzo vertical efectivo.
Fuente: Elaboración propia.

$$C_n = 0.77 \cdot \log_{10}(1.92 / \sigma'v)$$

Ecuación 5. Factor de corrección del número de golpes por confinamiento efectivo. $C_n \leq 2{,}0$; σ'v en MPa.
Fuente: CCP-14, numeral 10.4.6.2.4.

$$N_{1,60} = C_n \cdot N_{60}$$

Ecuación 6. Número de golpes corregido por energía y por confinamiento efectivo.
Fuente: CCP-14, numeral 10.4.6.2.4.

En **suelos granulares** el ángulo de fricción φ′ se estima de la **Tabla 10.4.6.2.4-1 (CCP-14)** por interpolación en $N_{1,60}$, y se contrasta con Peck-Hanson-Thornburn (1974):

$$\varphi' = 27.1 + 0.3 \cdot N_{1,60} - 0.00054 \cdot N_{1,60}^2$$

Ecuación 7. Ángulo de fricción efectivo a partir del número de golpes corregido.
Fuente: Peck, Hanson & Thornburn (1974).

y con la correlación de **González (1999)** (*parametros-resistencia-spt*), que corrige el N a $N_{1,45}$ (energía 45 %), estima φ′eq y hace regresión de τ contra σ′ por material para obtener c′ y tan φ′:

$$\varphi'eq = 15 + \sqrt{(12.5 \cdot N_{1,45})} \quad ; \quad \tau = \sigma' \cdot \tan \varphi'eq \quad \rightarrow \quad (c', \tan \varphi')$$

Ecuación 8. Ángulo de fricción equivalente y regresión τ–σ′ por material para la obtención de c′ y φ′.
Fuente: González (1999).

El ángulo de fricción de diseño se adopta priorizando la correlación de González (1999); los valores de la Tabla CCP-14 y de Peck se reportan como comparación. El N_{60} de diseño por material es el valor característico media − 2σ, acotado al mínimo medido. La resistencia no drenada s_u de los suelos cohesivos se estima como qu/2 (Braja M. Das, Principles of Geotechnical Engineering). Excepción para el Suelo Residual (Qsr): este material cuenta únicamente con dos ensayos de penetración estándar (N_{60} = 21 a 1,75 m y N_{60} = 7 a 2,75 m), cuyos esfuerzos cortantes resultantes son prácticamente iguales (τ = 24,5 y 26,4 kPa) pese a que el esfuerzo normal efectivo sí varía (σ′ = 33 y 52 kPa). La regresión de τ contra σ′ sobre solo dos puntos con esa disposición produce una recta casi horizontal y, en consecuencia, un ángulo de fricción artificialmente bajo (≈ 6°) con un intercepto de cohesión espurio (≈ 21 kPa); el resultado refleja la geometría del ajuste y no el comportamiento del material.

Por lo anterior, para el Suelo Residual no se aplica la regresión y se adopta directamente el φ′eq de González, tomando el valor conservador de los dos ensayos (φ′ = 27°) con cohesión efectiva nula. Este valor se corrobora de forma independiente con la correlación del ángulo de fricción con el índice de

plasticidad (IP = 16 a 32), que arroja φ′ = 28 a 31°, y es consistente con el orden de magnitud reportado para materiales equivalentes del sector.

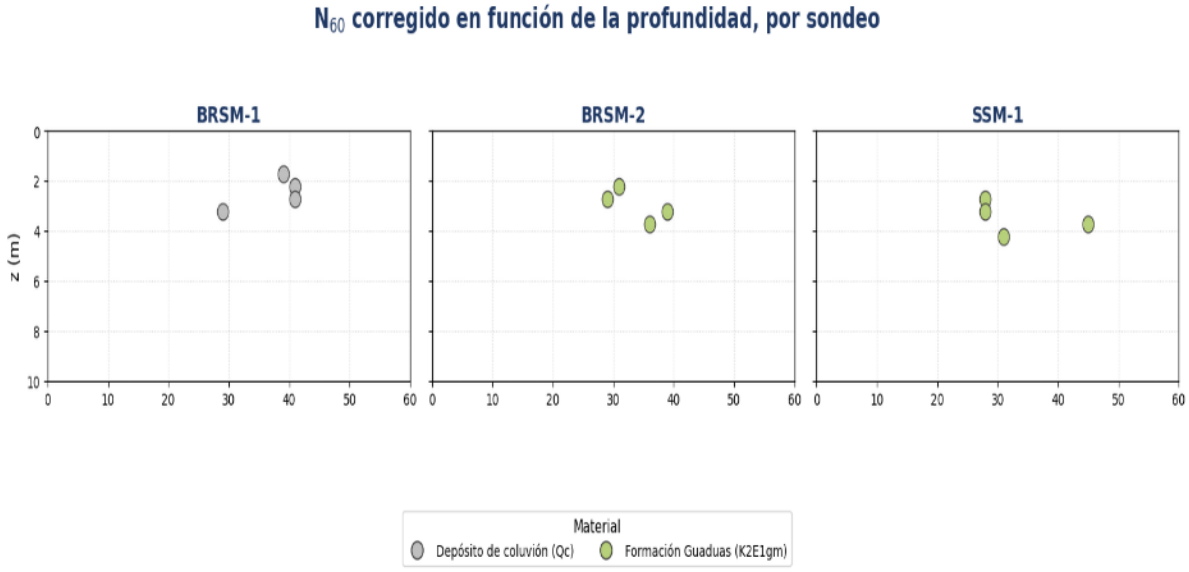


Figura 76. N_{60} corregido en función de la profundidad, por sondeo (escala común 0–6 m; abscisas hasta 50 golpes); puntos agrupados por material.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Parámetros de resistencia por material de suelo.

Material	Naturaleza	N60 dis.	φ′ CCP-14	φ′ Peck	φ′ diseño (Gonz.)	c′ (kPa)	s_u (kPa)
Depósito de coluvión (Qc)	granular	29	38.0–41.0	37.9–40.5	35.4°	0	—

Nota. N60 de diseño (media − 2σ, acotado al mínimo). El φ′ de diseño (resaltado) adopta la correlación de González (1999); φ′ por Tabla 10.4.6.2.4-1 (CCP-14) y Peck se muestran como comparación. c′ y s_u en kPa; (corr.) = s_u estimado por correlación (sin ensayo directo).

Fuente: Elaboración propia con base en CCP-14 y González (1999).

Los tres métodos entregan un cuadro consistente para los suelos granulares (φ′ ≈ 31–40°).

3.3.1.3.2 Constantes elásticas de los materiales de suelo

Las constantes elásticas (módulo de Young E_s y relación de Poisson v) se estiman de la **Tabla C10.4.6.3-1 (CCP-14)**: E_s = k·N (k = 0.4 en limos y mezclas ligeramente cohesivas, 0.7 en arenas y 1.1 en gravas). Los **valores de diseño se obtienen con el N_{60} de diseño de la tabla de parámetros de resistencia** (E_s,diseño = k·N_{60},dis), y la relación de Poisson de diseño se adopta como el valor medio del rango por tipo de suelo.

$$E_s = k \cdot N_{1,60}$$

Ecuación 9. Módulo de Young a partir del número de golpes corregido. k = 0,4 / 0,7 / 1,1 en limo / arena / grava.

Fuente: CCP-14, Tabla C10.4.6.3-1.

$$E_s, \text{diseño} = k \cdot N_{60}, \text{diseño}$$

Ecuación 10. Módulo de Young de diseño, calculado con el N_{60} de diseño de cada material.
Fuente: CCP-14, Tabla C10.4.6.3-1.

Tabla 50. Constantes elásticas por material de suelo (Tabla C10.4.6.3-1, CCP-14).

Material	E_s rango (MPa)	E_s diseño (MPa)	v diseño	Estimación
Depósito de coluvión (Qc)	36.5–56.6	31.9	0.3	$E_s = 1.1 \cdot N_{60}$,dis

Nota. E_s = módulo de Young; v = relación de Poisson. Los valores de diseño (resaltados) emplean el N_{60} de diseño de la tabla de parámetros de resistencia.
Fuente: Elaboración propia con base en CCP-14, Tabla C10.4.6.3-1.

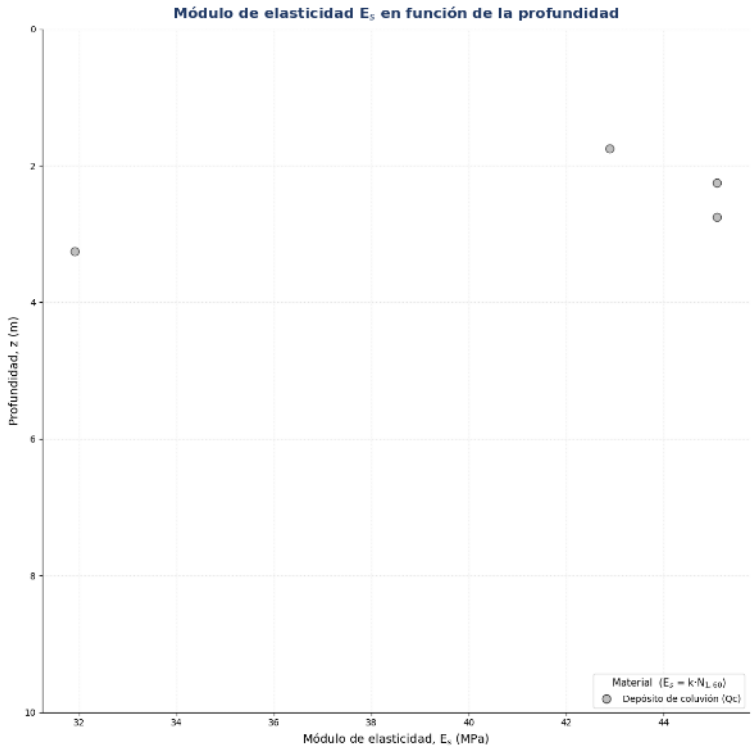


Figura 77. Módulo de elasticidad E_s ($E_s = k \cdot N_{1,60}$; Tabla C10.4.6.3-1) en función de la profundidad, por material de suelo.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.3.3 Estimación de parámetros con software GEO5®

Se ha recurrido al programa GEO5®, mediante su módulo Estratigrafía, el cual permite, según los valores de clasificación granulométrica, humedad y límites de consistencia de una muestra, establecer rangos y/o valores de parámetros de resistencia al corte y deformación, a partir de una base de datos bibliográficos

que este posee. Este procedimiento de análisis se realiza para las unidades geotécnicas de suelo que influyen directamente en el análisis de estabilidad de Sierra Morena III: Qra, Qc. Se excluyen la capa orgánica, que no participa en los modelos de estabilidad, y el macizo rocoso de la Formación Guaduas, cuya resistencia se establece mediante el criterio de Hoek-Brown conforme al numeral 10.4.6.4 de la CCP-14. El resultado de GEO5® se emplea como contraste independiente de los parámetros obtenidos por correlación, no como fuente de los valores adoptados.

Los valores de entrada corresponden al promedio por material de los ensayos de granulometría (INV E-123), humedad natural (INV E-122) y límites de consistencia (INV E-125 e INV E-126) ejecutados en el sitio. Se indica el número de muestras (n) de cada material, dado que condiciona la representatividad del rango estimado. Los porcentajes f, s y g se ajustaron en la primera cifra decimal cuando el redondeo del promedio no completaba el 100 % exigido por el programa; dicho ajuste no introduce información nueva. GEO5® solicita los límites de consistencia únicamente en los materiales que clasifica como plásticos.

Tabla 51. Valores de entrada para la clasificación manual de suelos en GEO5®.

Material	n	f (%)	s (%)	g (%)	w (%)	wl (%)	wp (%)
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	2	51.6	44.5	3.9	17.9	32.0	14.5
Depósito de coluvión (Qc)	10	17.9	31.3	50.8	8.2	37.3	—

Nota. f = partículas finas (0–0.06 mm); s = arenosas (0.06–2.0 mm); g = gravosas (2.0–60.0 mm); w = humedad natural; wl = límite líquido; wp = límite plástico; n = número de muestras.

Fuente: Elaboración propia con base en los ensayos de laboratorio del presente estudio.

Además de la granulometría y la humedad, GEO5® requiere definir el estado de densidad (materiales granulares) o de consistencia (materiales cohesivos), del cual dependen directamente los rangos de φ′ef, c′ef y Edef que entrega. En los materiales cohesivos el programa deriva la consistencia del índice de consistencia Ic = (wl − w)/(wl − wp), es decir, del ensayo. En los materiales granulares no la deriva y propone por defecto el estado denso; dicho valor por defecto no se adopta en el presente estudio. El estado se asigna a partir de la mediana de N60 del material según Terzaghi & Peck (1948): suelto para N60 < 10, medio denso entre 10 y 30, y denso para N60 > 30.

Tabla 52. Rangos de parámetros estimados por GEO5® para los materiales de suelo del sitio.

Material	Clasificación GEO5®	Estado	Origen del estado	v (–)	γ (kN/m³)	Edef (MPa)	φ′ef (°)	c′ef (kPa)
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	CS – Sandy clay	Firme (firm)	Derivado de Ic (ensayo)	0.35	18.5	4 – 6	22 – 27	10 – 18
Depósito de coluvión (Qc)	GC – Clayey gravel	Denso (Id > 0.67)	N60 = 40 (Terzaghi & Peck)	0.30	19.5	40 – 60	28 – 32	2 – 10

Fuente: Elaboración propia con base en GEO5® 2024, módulo Estratigrafía, y en Terzaghi & Peck (1948) para la asignación del estado de densidad.

Nota sobre los Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra): este material no cuenta con ensayo de penetración estándar y no dispone de parámetros de resistencia propios en el presente estudio. GEO5® deriva su consistencia de los límites de consistencia medidos, por lo que el rango de la Tabla anterior constituye la única estimación disponible para esta unidad y no admite contraste.

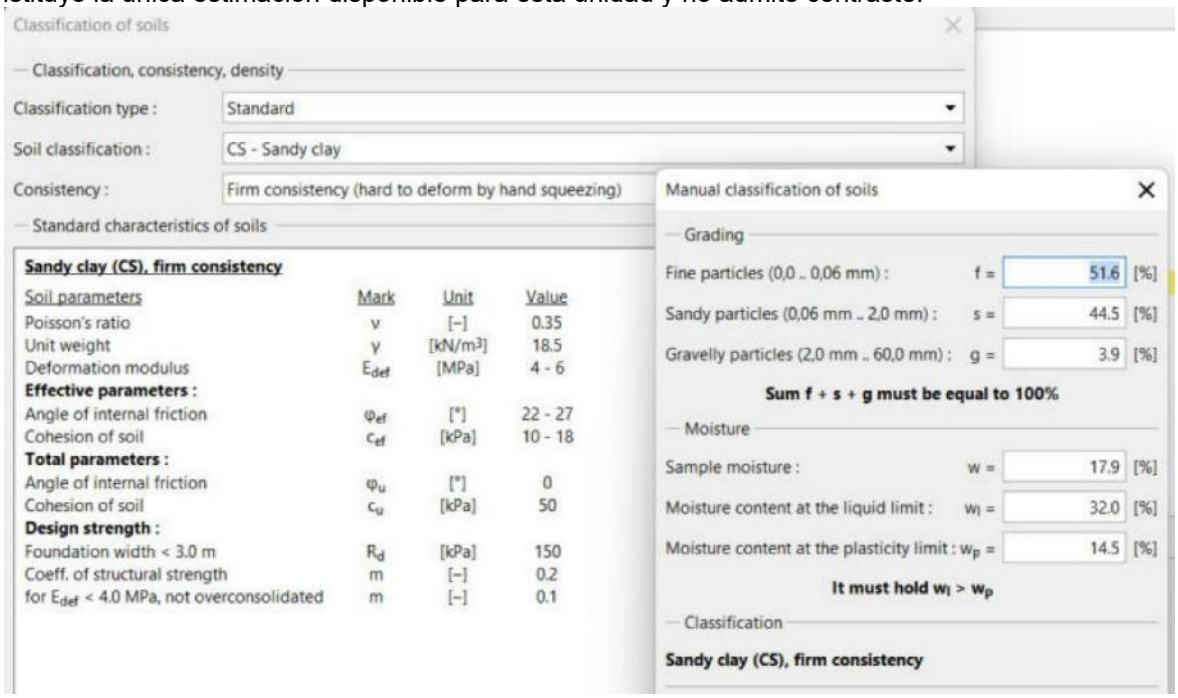


Figura 78. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra).
Fuente: GEO5® 2024, módulo Estratigrafía.

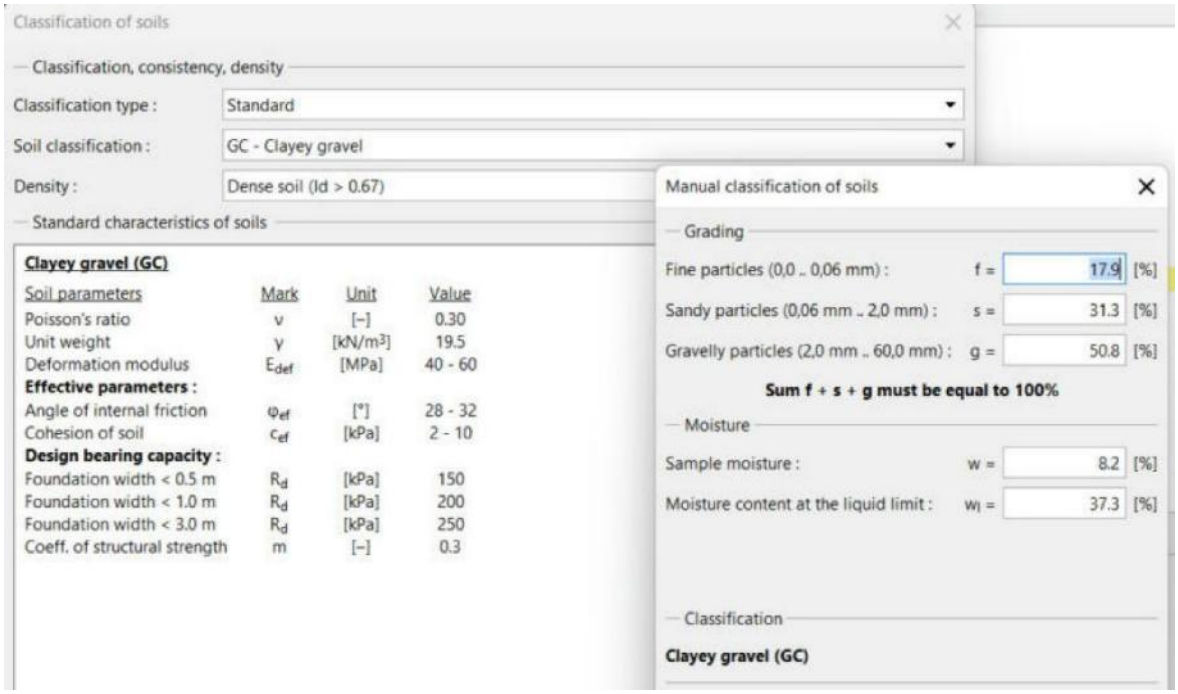


Figura 79. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Depósito de coluvión (Qc).
Fuente: GEO5® 2024, módulo Estratigrafía.

La comparación entre los parámetros adoptados y los rangos estimados por GEO5® no se efectúa sobre φ′ o c′ de forma aislada, dado que ambos criterios representan la misma envolvente de falla mediante combinaciones distintas: la caracterización del presente estudio adopta c′ = 0 con φ′ obtenido por correlación con N60, mientras que GEO5® asigna cohesión no nula con ángulos de fricción menores. Comparar un solo parámetro conduce por tanto a diferencias aparentes que no representan la resistencia real. El contraste se realiza sobre la resistencia al corte τ = c′ + σ′ · tan φ′, evaluada en el intervalo de esfuerzos efectivos representativo de las superficies de falla analizadas (25 a 100 kPa, equivalente a profundidades del orden de 2 a 8 m).

Tabla 53. Contraste de la envolvente de resistencia al corte: valor adoptado frente al rango estimado por GEO5®.

Material	c′ adop. (kPa)	φ′ adop. (°)	τ σ′=25 kPa	τ σ′=50 kPa	τ σ′=100 kPa
Depósito de coluvión (Qc)	0.0	35.4	17.8 / 15–26 (dentro)	35.5 / 29–41 (dentro)	71.1 / 55–72 (dentro)

Nota. Cada celda indica τ adoptado / rango GEO5® (posición relativa).
Fuente: Elaboración propia con base en los parámetros adoptados en el numeral 3.3.1.6 y en GEO5® 2024, módulo Estratigrafía.

El contraste de la Tabla anterior muestra que la envolvente adoptada para el Depósito de coluvión (Qc) se encuentra dentro del rango estimado por GEO5® en la totalidad del intervalo de esfuerzos analizado. La diferencia entre los ángulos de fricción de ambos criterios (35.4° frente a 28 – 32°) queda compensada por la cohesión que GEO5® asigna al material y que el presente estudio no adopta. Los parámetros adoptados en el numeral 3.3.1.6 se mantienen sin modificación.

3.3.1.3.4 Conclusiones

Los suelos granulares del sector —rellenos y depósitos de deslizamiento— presentan compacidad de suelta a densa, con φ′ ≈ 31.5–32.5° y N_{60} de diseño entre 6 y 6. El suelo residual (Qsr), de naturaleza cohesiva, presenta un ángulo de fricción efectivo de 27° con cohesión nula, adoptado del φ′eq de González por no ser aplicable la regresión τ–σ′ con solo dos ensayos, y una resistencia no drenada de 48,4 a 115,1 kPa estimada por correlación.

3.3.1.4 Resistencia de macizos rocosos

El macizo rocoso del sector corresponde a la Formación Guaduas, unidad K2E1gm, cuyo macizo rocoso propiamente dicho se desarrolla por debajo de 6,00 m; el nivel superior, entre 0,00 y 6,00 m, corresponde al saprolito y se caracteriza como suelo en el numeral 3.3.1.4. Su resistencia al corte se estimó por el criterio de Hoek-Brown con clasificación RMR, según el CCP-14 numeral 10.4.6.4. Los valores de recobro y RQD medidos en el sondeo con recuperación de núcleo (SSM-1) se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 54. Recobro y RQD registrados en el sondeo SSM-1, Formación Guaduas.

Muestra	Tipo	Prof. (m)	Litología (unidad)	Recobro (%)	RQD (%)
3–8	SS	1,5–4,5	Formación Guaduas (K2E1gm)	48–86	—
9–16	NQ	4,5–16,5	Formación Guaduas (K2E1gm)	—	8,7 – 29,3
18, 20	SS	18,0–20,5	Formación Guaduas (K2E1gm)	66	—
23–27	NQ	23,5–31,0	Formación Guaduas (K2E1gm)	—	6,7 – 26,7

Nota. Recobro medido en muestras de cuchara partida (SS) y RQD en maniobras de núcleo (NQ).
Fuente: Elaboración propia a partir del registro de perforación del sondeo SSM-1.

Tabla 55. Clasificación de resistencia de la roca intacta a partir de la resistencia a la compresión inconfinada (Bieniawski, 1974).

qu (MPa)	Clasificación de resistencia
< 1	Suelo
1 – 25	Muy baja
25 – 50	Baja
50 – 100	Media
100 – 200	Alta
> 200	Muy alta

Fuente: Bieniawski (1974).

Tabla 56. Resistencia de la roca intacta por unidad: índice de carga puntual Is50, qu estimado y clasificación.

Unidad	Is50 (MPa)	N.º ensayos	qu = k·Is50 (MPa)	Clasificación (Bieniawski, 1974)
Formación Guaduas (K2E1gm)	0,7215 (mediana)	12	16,2	Muy baja

Nota. qu = k·Is50 con k = 22,5 (ISRM 1985, rango 20 a 25). No se realizaron ensayos de compresión inconfinada directa; el qu se estima por correlación con la carga puntual (Figura 10).
Fuente: Elaboración propia con base en ISRM (1985) y Bieniawski (1974).

Tabla 57. Descripción de la calidad del macizo rocoso en función del índice de calidad de la roca RQD (Deere, 1964).

RQD (%)	Descripción de la calidad de la roca
< 25	Muy pobre
25 – 50	Pobre
50 – 75	Regular
75 – 90	Bueno

RQD (%)	Descripción de la calidad de la roca
90 – 100	Excelente

Fuente: Deere (1964).

Tabla 58. RQD medido por unidad y calidad del macizo rocoso. Valores del registro de perforación del sondeo SSM-1.

Unidad	RQD (%)	Profundidad de medida (m)	Calidad del macizo (Deere, 1964)
Formación Guaduas (K2E1gm)	6,7 – 29,3 (mediana 19,3)	4,5 – 31,0	Muy pobre

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de perforación del sondeo SSM-1.

La roca intacta de la Formación Guaduas presenta resistencia muy baja (qu = 16,2 MPa) según Bieniawski (1974), y la calidad del macizo es muy pobre (RQD = 6,7–29,3 %, mediana 19,3 %, Deere 1964). Esta combinación sustenta la clasificación del macizo como Clase V (roca muy pobre) y la adopción de parámetros de resistencia conservadores en el criterio de Hoek-Brown. El valor de qu corresponde a los ensayos de carga puntual ejecutados sobre los bloques de arenisca; la resistencia del conjunto bloques–matriz se evalúa además con el criterio de Hoek-Brown generalizado (numeral 3.3.1.5.1.5) y con los ensayos de penetración estándar del sondeo SSM-1.

Correlación con la exploración geofísica: La línea de refracción sísmica y de ondas superficiales (ReMi) LSSM-1, ejecutada en el sector de Sierra Morena, corrobora de forma independiente el modelo: los materiales competentes son los más someros del estudio, con el techo del cuerpo de alta velocidad (Vp > 1 800 m/s) a 5–8 m bajo el sector central del tendido, ascendiendo hasta 2–3 m hacia el extremo oriental, en concordancia con los afloramientos observados en el corte del sector y con el techo de roca de 4,50 m registrado en SSM-1. El Vs30 es de 565 m/s —el mayor del estudio—, que clasifica el perfil de suelo como tipo C según la Tabla A.2.4-1 del Reglamento NSR-10.

Tabla 59. Correlación de la exploración geofísica (línea LSSM-1, sector Sierra Morena) con el modelo geológico-geotécnico.

Línea	Capa	Prof. (m)	Vs (m/s)	Unidad del modelo	Correspondencia con la exploración directa
LSSM-1	1	0,0 – 2,0 a 3,0	baja	Capa orgánica, Qb, Qra y Depósito de coluvión (Qc)	Cobertura blanda; la más delgada del estudio
LSSM-1	2	hasta ≈ 4,5 – 5,5	creciente	Fm. Guaduas meteorizada (K2E1gm)	Concuerda con el techo de roca a 4,5 m en SSM-1 (cota 2711,5)
LSSM-1	3	> ≈ 4,5 – 5,5; 2 – 3 al oriente	competente	Fm. Guaduas (K2E1gm) competente	Vp > 1 800 m/s; los materiales competentes más someros del estudio, en concordancia con los afloramientos del corte

Nota. Vs30 = 565 m/s; perfil de suelo tipo C (NSR-10, Tabla A.2.4-1).

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe de Exploración Geofísica, Consorcio Preservar – Ciudad Bolívar.

3.3.1.4.1 Formación guaduas (K2E1GM)

La resistencia del macizo rocoso del proyecto, para la estructura Obras de mitigacion por movimientos en masa - apoyo en roca se evalúa por el criterio de Hoek-Brown (Hoek, 1983; Hoek & Brown, 1988) adoptado por el CCP-14 (numeral 10.4.6.4). El procedimiento sigue seis pasos: (1) resistencia de la roca intacta qu; (2) clasificación del macizo con el RMR; (3) ajuste por orientación de las juntas; (4) clase del macizo; (5) constantes m y s; y (6) cálculo de la resistencia al corte τ con la cohesión y fricción instantáneas.

Tabla 60. Nomenclatura de variables

Símbolo	Variable	Unidad	Origen
q_u	Resistencia a compresión inconfinada de la roca intacta	MPa	ensayo de laboratorio
RMR	Rock Mass Rating (suma de 5 valoraciones)	—	Tabla 10.4.6.4-1
m	Constante m del macizo (Hoek-Brown)	—	Tabla 10.4.6.4-4 (tipo de roca + RMR)
s	Constante s del macizo	—	Tabla 10.4.6.4-4
σ_n	Esfuerzo normal efectivo de análisis	MPa	condición de la cimentación
h, θ	Factor y ángulo auxiliares	—	Ec. 10.4.6.4-1
τ	Resistencia al corte del macizo	MPa	Ec. 10.4.6.4-1
φ'_i	Ángulo de fricción instantáneo	°	Ec. 10.4.6.4-1
c_i	Cohesión instantánea	MPa	C10.4.6.4-1

Fuente: Elaboración propia con base en CCP-14, numeral 10.4.6.4.

3.3.1.4.1.1 Resistencia de la roca intacta (QU)

La resistencia a la compresión inconfinada de la roca intacta se estableció a partir de los ensayos disponibles de la campaña de exploración: no se realizaron ensayos de compresión inconfinada directa, por lo que qu = 16,2 MPa se estimó a partir del índice de carga puntual Is50 (12 ensayos, mediana 0,7215 MPa) mediante qu = k·Is50 con k = 22,5 (ISRM 1985, rango 20 a 25). Este valor gobierna la magnitud de la resistencia del macizo en el criterio de Hoek-Brown.

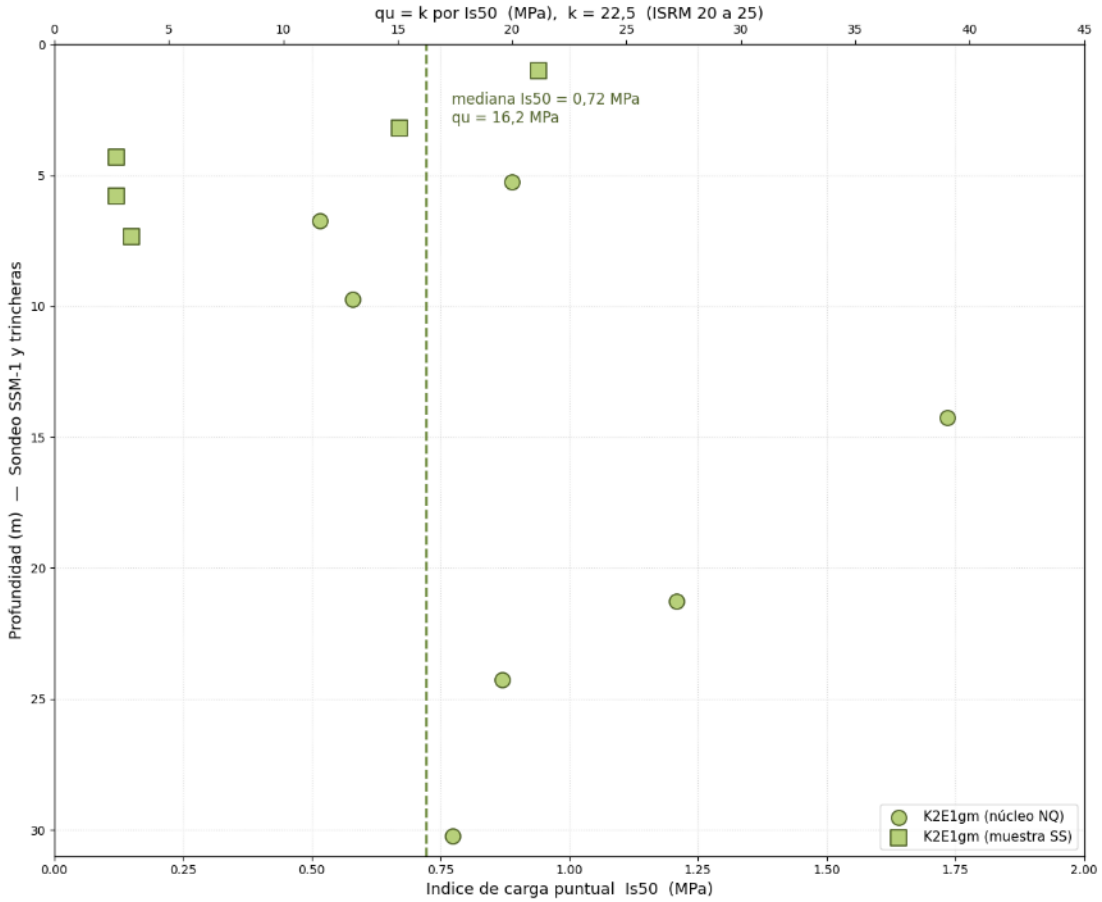


Figura 80. Índices de carga puntual Is50 medidos en el sondeo SSM-1 y las trincheras, y resistencia a la compresión inconfinada estimada qu = k·Is50 (k = 22,5; ISRM 20 a 25), para la Formación Guaduas (K2E1gm). La línea discontinua marca la mediana de Is50 de la unidad.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.4.1.2 Clasificación del macizo (RMR, TABLA 10.4.6.4-1)

El RMR (Rock Mass Rating, CSIR) suma las valoraciones relativas de cinco parámetros. Las valoraciones adoptadas se tomaron de la Tabla 10.4.6.4-1 del CCP-14:

Tabla 61. Valoraciones RMR adoptadas (CCP-14, Tabla 10.4.6.4-1)

Parámetro	Valoración
Resistencia de la roca intacta (UCS)	2
RQD	3
Espaciamiento de las juntas	10
Condición de las juntas	0
Agua subterránea	4
RMR básico (suma)	19

Fuente: Elaboración propia con base en CCP-14, Tabla 10.4.6.4-1.

Convenciones: RMR básico = suma de las cinco valoraciones (máximo 100). Las valoraciones provienen de la Tabla 10.4.6.4-1 según los rangos medidos. La resistencia de la roca intacta (qu = 16,2 MPa) cae en

el rango 10–25 MPa y la calidad del núcleo (RQD = 6,7–29,3 %, mediana 19,3 %) en el rango < 25 %. La valoración de agua subterránea se adopta en 4 (agua a presión moderada) por encontrarse el macizo bajo el nivel freático registrado a 7,00 m en SSM-1; es una adopción conservadora, pues no se midió la presión de agua en las juntas.

3.3.1.4.1.3 Ajuste por orientación de las juntas (TABLA 10.4.6.4-2)

Para cimentaciones, el RMR se ajusta según la orientación de las discontinuidades respecto a la obra. Con una orientación favorable el ajuste es de -2 puntos (Tabla 10.4.6.4-2, fila Cimentaciones):

RMR = 19 + (-2) = 17

3.3.1.4.1.4 Clase del macizo (TABLA 10.4.6.4-3)

Con RMR = 17, el macizo se clasifica como Clase V (roca muy pobre) según la Tabla 10.4.6.4-3.

3.3.1.4.1.5 Constantes del criterio de HOEK-BROWN generalizado (M_β, S, A)

El macizo corresponde al tipo de roca C — rocas areníticas (arenisca, cuarcita), con constante de la roca intacta m_i = 17 (Marinos & Hoek, 2000). Dado que la unidad se presenta como bloques de arenisca embebidos en una matriz de arcilla —es decir, un macizo muy fracturado a desintegrado y no una roca continua con sistemas de juntas definidos—, la resistencia se establece con el criterio de Hoek-Brown generalizado (Hoek, Carranza-Torres & Corkum, 2002), que emplea el índice de resistencia geológica GSI en lugar del RMR.

Las constantes del macizo se obtienen con $m_\beta = m_i \cdot \exp[(GSI - 100)/(28 - 14D)]$, $s = \exp[(GSI - 100)/(9 - 3D)]$ y $a = ½ + (1/6)\cdot[e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)}]$, adoptando GSI = 22 (macizo de bloques de arenisca en matriz, rango 20 a 25), factor de perturbación D = 0 (talud sin voladura) y m_i = 17. Se obtiene:

m_β = 1,05 s = 1,72×10⁻⁴ a = 0,54

3.3.1.4.1.6 Resistencia al corte (HOEK-BROWN, EC. 10.4.6.4-1)

La resistencia al corte τ del macizo y los parámetros instantáneos de Mohr (cohesión c_i y fricción φ'_i) se calculan, para cada esfuerzo normal efectivo σ_n, con:

$$h = 1 + \frac{16\cdot(m\cdot\sigma_n + s\cdot q_u)}{3\cdot m^2\cdot q_u}$$

Ecuación 11. Factor h del criterio de Hoek-Brown.
Fuente: CCP-14, Ec. C10.4.6.4-1.

$$\theta = 30 + 0.33\cdot\arcsin(h^{-3/2})$$

Ecuación 12. Ángulo auxiliar θ, en grados.
Fuente: CCP-14, Ec. C10.4.6.4-1.

$$\varphi'_i = \arctan(4\cdot h\cdot\cos^2\theta - 1)^{-1/2}$$

Ecuación 13. Ángulo de fricción instantáneo φ'i del macizo rocoso.
Fuente: CCP-14, Ec. C10.4.6.4-1.

$$\tau = (\cot\varphi'_i - \cos\varphi'_i) \cdot \frac{m \cdot q_u}{8}$$

Ecuación 14. Resistencia al corte τ del macizo rocoso.
Fuente: CCP-14, Ec. 10.4.6.4-1.

$$c_i = \tau - \sigma_n \cdot \tan\varphi'_i$$

Ecuación 15. Cohesión instantánea c_i del macizo rocoso.
Fuente: CCP-14, Ec. C10.4.6.4-1.

Evaluando para los esfuerzos normales de análisis:

Tabla 62. Resistencia al corte del macizo por esfuerzo normal (Hoek-Brown)

σn (MPa)	h	φ'i (°)	τ (MPa)	ci (MPa)
0,100	1,0322	57,18	0,219	0,064
0,250	1,0793	49,94	0,419	0,122
0,500	1,1578	43,77	0,683	0,205

Fuente: Elaboración propia con base en CCP-14, numeral 10.4.6.4.

Convenciones: σ_n esfuerzo normal efectivo; τ resistencia al corte; c_i, φ'_i parámetros de Mohr instantáneos válidos en el σ_n considerado (no extrapolar a σ_n muy distintos).

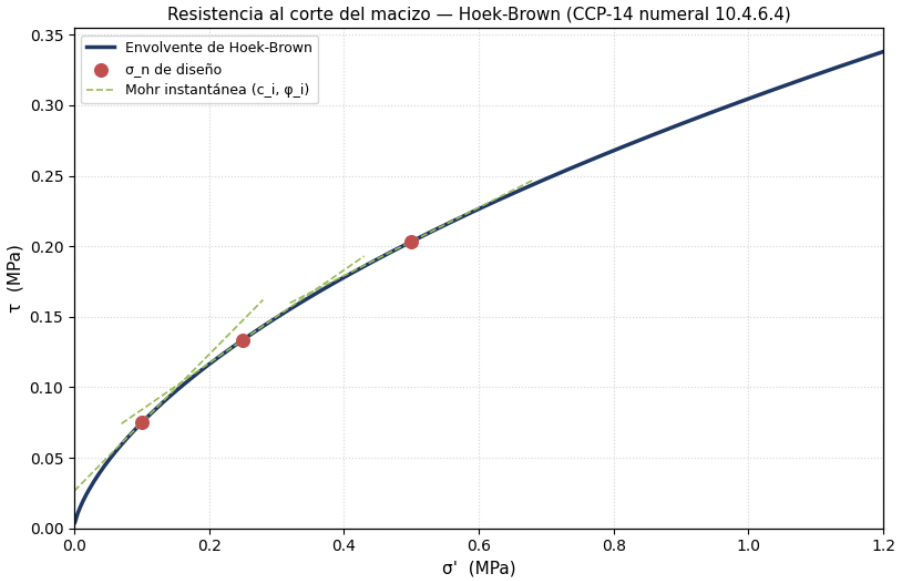


Figura 81. Envolvente de resistencia τ – σ' del macizo (Hoek-Brown)
Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros ci y φ'i de Hoek-Brown son instantáneos: definen una envolvente de Mohr lineal únicamente en el entorno del σn considerado. Para rangos amplios de esfuerzo normal debe subdividirse la zona o promediarse según Hoek (1983), evitando extrapolaciones no conservadoras.

Adopción para los modelos de estabilidad: El registro del sondeo SSM-1 permite diferenciar dos niveles dentro de la Formación Guaduas. Hasta 6,00 m de profundidad el material se recuperó con cuchara partida y admitió ensayo de penetración estándar (N_{60} de 28, 28, 45 y 31 entre 2,50 y 4,50 m), con ensayos de clasificación que lo sitúan como suelo granular (SC–SM; 20,7 a 30,2 % pasa el tamiz No. 200; LL 23 a 25; IP 8 a 15). El registro anota expresamente un cambio a 4,50 m, donde la unidad pasa a bloques de arenisca embebidos en una matriz de arcilla, condición que se mantiene hasta 6,00 m. Este nivel superior corresponde al saprolito de la formación y se caracteriza con el criterio de Mohr-Coulomb a partir de la correlación de González (1999), con N_{60} de diseño de 28 (media − 2σ acotado al mínimo medido), del cual resultan φ′ = 34,7° y c′ = 0. Por debajo de 6,00 m la unidad se recupera predominantemente como núcleo (maniobras NQ) y su calidad se describe mediante el RQD (6,7 a 29,3 %); para este macizo se adopta el criterio de Hoek-Brown generalizado (σci = 16 200 kN/m²; m_β = 1,05; s = 1,72×10⁻⁴; a = 0,54).

Debe advertirse que dentro de ese tramo el sondeo registra dos ensayos de penetración estándar ejecutables entre 18,00 y 20,50 m (N_{60} de 16 y 25; SM y SP-SM, no plásticos), que evidencian niveles arenosos penetrables intercalados en el macizo, y que la resistencia a la compresión inconfinada empleada en el criterio de Hoek-Brown se determinó sobre los bloques de arenisca y no sobre la matriz que los engloba. Por ambas razones la envolvente de Hoek-Brown supone que los bloques gobiernan la resistencia del conjunto y su aplicación debe interpretarse en ese contexto.

3.3.1.5 Resumen

Esta sección consolida el modelo geológico-geotécnico del proyecto: los materiales identificados, su clasificación por el Sistema Unificado (USC), el potencial expansivo, el peso unitario y los parámetros de resistencia y deformación adoptados para el diseño. Los valores provienen de los numerales anteriores; donde no hubo ensayo, la celda se deja vacía y se declara.

Tabla 63. Resumen de la clasificación y propiedades índice por material de suelo

Material	Naturaleza	USC	w (%)	LL (%)	IP (%)	% < No.200	Potencial expansivo
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	cohesivo	CL, SC	12.5–23.2	31–33	17–18	34.7–68.3	Medio
Depósito de coluvión (Qc)	granular	GC, SC, GP-GC	6.8–9.7	21–55	9–35	10.6–29.4	Sí (Muy Alto)
Formación Guaduas (K2E1gm)	granular	SC, SM, SP-SM	0.8–12.1	21–25	8–15	9.3–30.2	Medio

Fuente: Elaboración propia.

Convenciones: w humedad natural; LL límite líquido; IP índice de plasticidad; % < No.200 finos; USC clasificación representativa (SUCS/ASTM D2487). Potencial expansivo por IP (INV-132-13, norma IS 1498): Marginal (grado medio) o Sí con el grado (alto/muy alto). Rangos min–máx de los ensayos; los materiales sin ensayos de clasificación no se incluyen.

Tabla 64. Resumen de parámetros de resistencia y deformación de diseño por material de suelo

Material	γ (kN/m³)	φ′ / c′ ó s_u	E_s (MPa) / v
Depósito de coluvión (Qc)	18.5	φ′=35.4°, c′=0 kPa	31.9 / 0.3

Fuente: Elaboración propia.

Convenciones: γ peso unitario (medido o asumido por familia USC); φ' ángulo de fricción de diseño (González; para el Suelo Residual, φ'eq directo sin regresión), c' cohesión; s_u resistencia no drenada (qu/2 o correlación, marcada (corr.)); E_s módulo de Young de diseño, v relación de Poisson. Los materiales sin ensayos de resistencia (orgánico, antrópicos) se retiran y no figuran en esta tabla.

Tabla 65. Resumen del macizo rocoso (resistencia de la roca intacta desde la Tabla resumen)

Material (roca)	qu (MPa)	Fuente qu	Tipo sugerido	RMR / m / s
Formación Guaduas (K2E1gm)	16,2	carga puntual con k de literatura (k=22,5; ISRM 20–25)	B	17 / 0,0317 / $1{,}08\times10^{-6}$

Fuente: Elaboración propia.

El macizo rocoso corresponde a la Formación Guaduas. La resistencia de la roca intacta qu se estimó a partir del índice de carga puntual (declarado). El registro de perforación del SSM-1 aporta el recobro (48–86 %) y el RQD (6,7–29,3 %), además de la descripción del macizo. El espaciamiento y la condición de las juntas se valoraron conforme a la Tabla 10.4.6.4-1 de la CCP-14, y la orientación de las discontinuidades se ajustó según la Tabla 10.4.6.4-2 para condición de cimentaciones, con lo cual queda cerrado el cálculo de la resistencia del macizo por el criterio de Hoek-Brown (CCP-14, numeral 10.4.6.4).

El modelo aquí resumido es la base para los análisis de cimentaciones, estabilidad y demás verificaciones geotécnicas.

Parámetros para los modelos de estabilidad: La siguiente tabla consolida, por material, los parámetros requeridos para el ingreso directo a los modelos de estabilidad de taludes (Slide). Los materiales de suelo se representan con el criterio de Mohr-Coulomb y las unidades de roca con el criterio de Hoek-Brown; para estas últimas se incluye además la equivalencia de Mohr-Coulomb evaluada en el esfuerzo normal de análisis σn = 0,25 MPa.

Tabla 66. Resumen de parámetros por material para el ingreso a los modelos de estabilidad (Slide).

Material	Criterio de resistencia	γ (kN/m³)	γsat (kN/m³)	c′ (kN/m²)	φ′ (°)	σci (kN/m²)	m_β	s	a	Ru sat.	Ru seco
Depósito de coluvión (Qc)	Mohr-Coulomb	18,5	20,5	0	35,4	—	—	—	—	0,5	0
Formación Guaduas (K2E1gm) — saprolito (0,00–6,00 m)	Mohr-Coulomb (SPT SSM-1)	18,8	18,8	0	34,7	—	—	—	—	0,5	0
Formación Guaduas (K2E1gm) — macizo (> 6,00 m)	Hoek-Brown generalizado	18,8	18,8	—	—	16 200	1,05	0,000172	0,54	0,28	0

Nota. γ = peso unitario total; γsat = peso unitario saturado; c′ y φ′ = parámetros de Mohr-Coulomb; σci, m_β, s y a = parámetros del criterio de Hoek-Brown generalizado (arenisca, m_i = 17; GSI = 22, rango 20–25; D = 0). Las unidades corresponden a las solicitadas por Slide en el cuadro de propiedades del material (peso unitario en kN/m³; UCS y cohesión en kN/m²); Ru = coeficiente de presión de poros de los escenarios de análisis (0,5 saturado / 0 seco). El γ de la Formación Guaduas corresponde a la media de 11 medidas, tras descartar una atípica. La Formación Guaduas se divide en dos niveles: el saprolito, entre 0,00 y 6,00 m, al que se adopta el criterio de Mohr-Coulomb del ensayo de penetración estándar (φ′ = 34,7°; c′ = 0), y el macizo, por debajo de 6,00 m, al que se adopta el criterio de Hoek-Brown generalizado. La capa orgánica no se incluye por tratarse de material orgánico no apto para fundación.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 DEFINICIÓN DE SECCIONES DE ANÁLISIS

El presente capítulo define la localización de las secciones de análisis geotécnico del sector Sierra Morena III - Corte vial, sobre las cuales se ejecutan los análisis de estabilidad y la evaluación de la amenaza por movimientos en masa. Las secciones constituyen la base geométrica del modelo geológico-geotécnico y se establecieron a partir de la integración de la topografía de detalle, la caracterización geomorfológica, el inventario de procesos morfodinámicos y la distribución de la exploración directa e indirecta.

3.3.2.1 Criterios de trazado de las secciones de análisis

El trazado de las secciones atendió los siguientes criterios técnicos: (i) orientación de las secciones principales en la dirección de máxima pendiente, coincidente con la dirección potencial de falla, abarcando la corona, el cuerpo y el pie del talud; (ii) inclusión de secciones transversales complementarias que controlan la variabilidad lateral de la geometría y de las unidades geotécnicas; (iii) paso de las secciones por los puntos de exploración o en su cercanía inmediata, con el fin de sustentar la estratigrafía y los niveles freáticos con información directa; (iv) cobertura de los rasgos morfodinámicos relevantes — escarpes, coronas y obras existentes de contención— identificados en la fase de campo; y (v)

referenciación de todas las secciones al sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS con origen Bogotá (planas cartesianas), consistente con la cartografía del proyecto.

3.3.2.2 Localización de las secciones de análisis — sierra morena iii - corte vial

Para el polígono de Sierra Morena III se definieron tres secciones de análisis sobre la zona de escarpe asociada al corte vial, comprendida entre la Diagonal 75 Sur y la Calle 75A Sur. Las secciones A–A' y B–B', de orientación suroeste–noreste y longitudes de 91,7 y 95,1 m respectivamente, se trazan transversalmente al escarpe en la dirección de máxima pendiente, mientras que la sección C–C' (91,2 m), de orientación noroeste–sureste, se dispone longitudinalmente al frente del talud. El trazado se apoya en el apique APSM-1, los barrenos BRSM-1 y BRSM-2, el sondeo SSM-1, las trincheras TRSM-1 a TRSM-3 y la línea sísmica de refracción LSSM-1 (69,0 m), esta última orientada a la determinación del perfil de velocidades y la profundidad del basamento en el sector.



Figura 82. Localización de las secciones de análisis geotécnico sobre ortomosaico. Sierra Morena III - Corte vial.

Tabla 67. Coordenadas de los extremos de las secciones de análisis. Sierra Morena III - Corte vial.

Sección	Punto inicial (Este, Norte) [m]	Punto final (Este, Norte) [m]	Long. [m]	Orientación
A–A'	89.600,7 E ; 98.014,1 N	89.659,5 E ; 98.084,6 N	91,7	SW–NE
B–B'	89.626,0 E ; 97.989,5 N	89.670,0 E ; 98.073,9 N	95,1	SW–NE
C–C'	89.616,0 E ; 98.082,2 N	89.686,3 E ; 98.024,2 N	91,2	NW–SE

Tabla 68. Exploración geotécnica directa de soporte. Sierra Morena III - Corte vial.

Punto	Tipo de exploración	Este [m]	Norte [m]
SSM-1	Sondeo	89.662,3	97.968,0
BRSM-1	Barreno	89.637,6	98.078,6
BRSM-2	Barreno	89.677,7	98.017,2
APSM-1	Apique	89.637,6	98.026,4
TRSM-1	Trinchera	89.631,5	98.078,6
TRSM-2	Trinchera	89.656,1	98.097,1
TRSM-3	Trinchera	89.653,0	98.054,0

Tabla 69. Líneas sísmicas de refracción de soporte. Sierra Morena III - Corte vial.

Línea	Long. [m]	Punto inicial (Este, Norte) [m]	Punto final (Este, Norte) [m]
LSSM-1	69,0	89.680,2 E ; 98.002,5 N	89.618,9 E ; 98.060,5 N

Las secciones aquí definidas constituyen la base geométrica para la construcción del modelo geológico-geotécnico y para los análisis de estabilidad en condición estática, pseudoestática y con nivel freático, desarrollados en los capítulos correspondientes.

3.3.3 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA PARA LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Los análisis de estabilidad de taludes en condición pseudoestática requieren la definición de la aceleración sísmica de diseño en el sitio. Dado que el sector de Sierra Morena III – Corte vial se localiza en Bogotá D.C., la amenaza sísmica se establece con la Microzonificación Sísmica de Bogotá (Decreto Distrital 523 de 2010), que sustituye las secciones A.2.4 y A.2.6 de la NSR-10, en concordancia con el numeral H.5.2.5 del Título H de la NSR-10.

3.3.3.1 Zona de respuesta sísmica

A partir de las coordenadas del polígono y de la consulta de la capa oficial de respuesta sísmica del IDIGER, el sector de Sierra Morena III – Corte vial se localiza en la zona de respuesta sísmica Cerros, definida en el Mapa 2 del Decreto 523 de 2010. En la zonificación geotécnica del Mapa 1 el sector corresponde a la zona Cerros A, descrita como roca de arenisca de las Formaciones de Areniscas en cerros de alta pendiente; dicha zona geotécnica no cuenta con coeficientes propios en la Tabla 3 del decreto y se resuelve en la zona de respuesta sísmica Cerros.

Tabla 70. Zona de respuesta sísmica del polígono de estudio (fuente: geoservicio oficial IDIGER, Mapa 2 del Decreto 523 de 2010).

Polígono	Latitud (centroide)	Longitud (centroide)	Zona
Sierra Morena III – Corte vial	4.578563	-74.170766	Cerros

3.3.3.2 Coeficientes de la zona (DECRETO 523 DE 2010)

Los coeficientes de diseño de la zona Cerros, adoptados de la Tabla 3 del Decreto 523 de 2010 y verificados contra el geoservicio del IDIGER, son los siguientes. Los parámetros base de la ciudad son Aa = 0.15 g y Av = 0.20 g.

Tabla 71. Coeficientes sísmicos de la zona Cerros (Decreto 523 de 2010, Tabla 3).

Parámetro	Símbolo	Valor
Coeficiente de amplificación en periodos cortos	Fa	1.35
Coeficiente de amplificación en periodos intermedios	Fv	1.3
Periodo corto	Tc	0.616 s
Periodo largo	TL	3.0 s
Aceleración pico del terreno en superficie (Tr 475 años)	Ao	0.18 g
Aceleración pico en superficie, seguridad limitada (Tr 225)	Ao,SL	0.16 g
Aceleración pico en superficie, umbral de daño (Tr 31)	Ao,UD	0.08 g

De acuerdo con el numeral 5.14 del Decreto 523, la zona Cerros corresponde a un perfil de suelo tipo C.

3.3.3.3 Aceleración máxima del terreno para los análisis de estabilidad

El numeral H.5.2.5 de la NSR-10 establece que, cuando el sitio hace parte de un estudio de microzonificación sísmica aprobado, se utiliza la aceleración máxima superficial del terreno definida en el espectro de diseño respectivo. En consecuencia, para los análisis de estabilidad se adopta:

$$\mathbf{a_{max} = A_o = 0.18\ g}$$

Este mismo valor es el que el numeral 5.2 del Decreto 523 dispone emplear en los análisis de estabilidad de taludes, potencial de licuación, estructuras de contención y cimentaciones.

3.3.3.4 Coeficiente sísmico pseudoestático

El coeficiente sísmico de diseño para el análisis pseudoestático de taludes, K_{ST}, es inferior o igual a a_{max} y se determina como una fracción de a_{max} según la Tabla H.5.2-1 de la NSR-10, en función del tipo de material y del análisis de amplificación de onda:

Tabla 72. Coeficiente sísmico pseudoestático K_{ST} para a_{max} = 0.18 g (NSR-10, Tabla H.5.2-1).

Condición (NSR-10 Tabla H.5.2-1)	K_{ST} / a_{max}	K_{ST}
Suelos y macizos muy fracturados (RQD < 50%), sin análisis de amplificación	0.80	0.144
Todos los materiales, con amplificación de onda unidimensional	0.67	0.121
Todos los materiales, con amplificación de onda bidimensional	0.50	0.09

En ausencia de análisis de amplificación de onda, y por tratarse de suelos y macizos rocosos fracturados, se adopta $K_{ST} = 0.80 \cdot a_{max} = 0.144$ para el análisis pseudoestático, valor conservador y del lado de la seguridad. Si se realizan análisis de amplificación de onda, el coeficiente podrá reducirse a los valores mínimos indicados, debidamente soportados.

Para el análisis pseudoestático de taludes se adoptan un coeficiente sísmico horizontal $k_h = K_{ST} = 0{,}144$ g y un coeficiente sísmico vertical $k_v = \pm 0{,}5 \cdot k_h = \pm 0{,}072$ g. El signo de k_v (ascendente o descendente) se toma en la combinación más desfavorable para la estabilidad; para las presiones laterales de tierra la CCP-14 admite $k_v = 0$.

3.3.3.5 Sobrecarga vial en los análisis de estabilidad

En los análisis de estabilidad se incorpora la sobrecarga de tráfico de la vía. El numeral H.5.1.2 del Título H de la NSR-10 establece que **la sobrecarga uniforme mínima a considerar en la vía pública y zonas libres próximas a excavaciones temporales es de 15 kPa (1,5 t/m²)**. En consecuencia, se aplica una sobrecarga superficial uniforme q = 15 kPa sobre la corona y las zonas de circulación adyacentes al talud, actuando en todos los escenarios (estático, pseudoestático y con nivel freático).

Tabla 73. Sobrecarga vial adoptada en los análisis de estabilidad (NSR-10, numeral H.5.1.2).

Parámetro	Símbolo	Valor	Fuente
Sobrecarga vial uniforme	q	15 kPa (1,5 t/m²)	NSR-10 H.5.1.2

3.3.3.6 Escenarios de análisis y factores de seguridad

Los análisis de estabilidad se desarrollan en los escenarios y con los factores de seguridad mínimos establecidos en el alcance del estudio:

Tabla 74. Escenarios de análisis de estabilidad y factores de seguridad admisibles.

Escenario	Condición	Factor de seguridad mínimo
Condiciones normales	Estático	FS ≥ 1.5
Condiciones extremas (sismo)	Pseudoestático (K_{ST} = 0.144)	FS ≥ 1.05
Nivel freático	Estático con nivel freático	FS ≥ 1.3

3.3.3.7 Espectro de diseño

Para referencia, el espectro elástico de diseño de la zona Cerros (5% de amortiguamiento), construido con los coeficientes anteriores, se presenta en la siguiente figura. La aceleración espectral máxima (meseta) es $Sa = 2.5 \cdot Aa \cdot Fa = 0.506$ g.

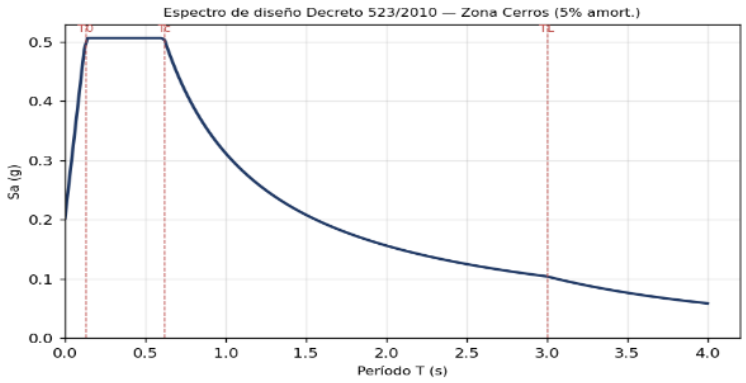


Figura 83. Espectro elástico de diseño de la zona Cerros (Decreto 523 de 2010, 5% de amortiguamiento).

3.3.4 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La zonificación geotécnica del área de estudio se desarrolló en dos niveles complementarios. En el nivel regional, el polígono se enmarca dentro de la cartografía oficial de la Zonificación Geotécnica de Bogotá D.C., insumo de los Estudios Básicos de Amenaza por Movimientos en Masa (IDIGER – IDECA), derivada de la Microzonificación Sísmica adoptada mediante el Decreto 523 de 2010, lo cual permite establecer la unidad de comportamiento geotécnico regional a la que pertenece el sitio. En el nivel de detalle, la zonificación se elaboró a partir del modelo geológico-geotécnico del presente estudio (numeral 3.3.1), de la exploración directa e indirecta, del inventario de procesos morfodinámicos (numeral 3.1) y de los análisis de estabilidad (numeral 3.4). En este nivel, cada zona corresponde a un área de homogéneo comportamiento geotécnico, que guarda similitud de materiales y espesores, y que sirve de base para la determinación de las áreas de amenaza por movimientos en masa.

3.3.4.1 Zonificación geotécnica regional

Conforme a la cartografía oficial de la Zonificación Geotécnica de Bogotá D.C. (IDIGER – IDECA), derivada de la Microzonificación Sísmica adoptada mediante el Decreto 523 de 2010, el Polígono 4 – Sierra Morena III – Corte Vial se localiza en la Zona Geotécnica Cerros A (Figura 1). Esta unidad se caracteriza geológicamente por la presencia de secuencias litoestratigráficas dominadas por areniscas y, geomorfológicamente, por cerros y vertientes de alta pendiente constituidas predominantemente por macizos rocosos de arenisca de consistencia dura.

El marco regional es consistente con la litología identificada en la exploración de detalle: el basamento corresponde al Conjunto Inferior de la Formación Guaduas (K2E1gm), dominado por areniscas con intercalaciones de arcillolitas susceptibles al desleimiento, suprayacido por depósitos coluviales y rellenos. Si bien la unidad Cerros A se asocia a macizos competentes, la meteorización diferencial de las intercalaciones arcillosas y el desconfinamiento generado por el corte vial controlan el comportamiento geotécnico local del talud objeto de estudio (numerales 2.2 y 3.3.1).

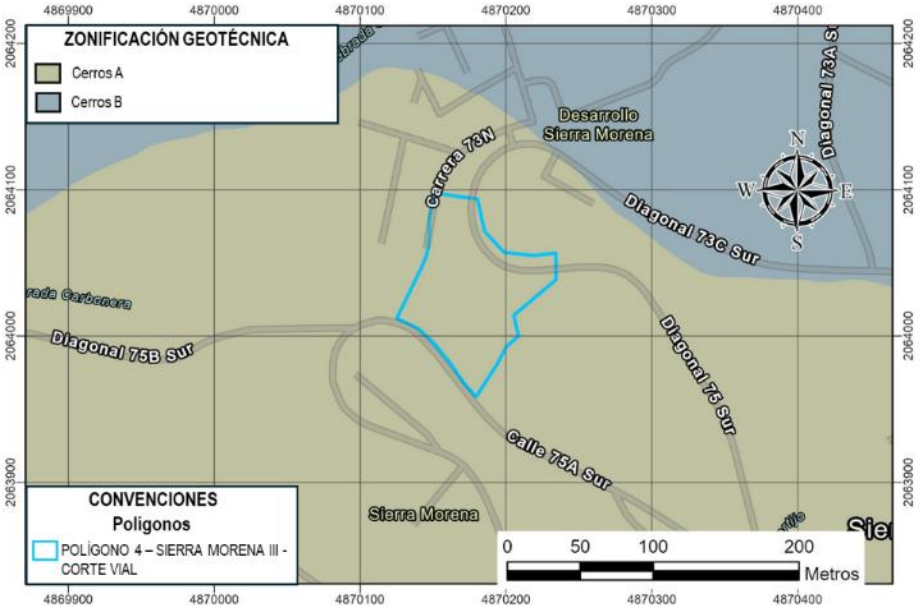


Figura 84. Ubicación del Polígono 4 – Sierra Morena III – Corte Vial en la Zona Geotécnica Cerros A (zonificación geotécnica regional).

Fuente: Zonificación Geotécnica – Insumo Estudios Básicos de Amenaza por Movimientos en Masa. Bogotá D.C. – IDIGER – IDECA (Decreto 523 de 2010). Modificado por el Consultor.

3.3.4.2 Zonificación geotécnica de detalle

La zonificación geotécnica de detalle delimita áreas de homogéneo comportamiento geotécnico, que guardan similitud de materiales y espesores, y que sirven de base para la determinación de las áreas de amenaza por movimientos en masa del numeral 3.4.5 y del plano de amenaza del Anexo E.5.

La delimitación de las zonas de detalle se efectuó mediante la integración de: (i) la distribución espacial y los espesores de los materiales definidos en el modelo geológico-geotécnico; (ii) el inventario de procesos morfodinámicos y la evidencia geológica, geomorfológica y geotécnica recopilada durante el reconocimiento de campo; y (iii) los factores de seguridad obtenidos en los análisis de equilibrio límite del numeral 3.4 y su variación a lo largo de las secciones de análisis. Estos criterios se correlacionaron espacialmente sobre la cartografía de detalle del área de estudio, de manera que los límites de zona mantienen correspondencia con los mecanismos de falla identificados y con los tramos críticos definidos en cada sección.

Con estos criterios se delimitaron dos zonas de comportamiento geotécnico homogéneo, cuya distribución espacial se presenta en la Figura 85 y cuyas características se sintetizan en la Tabla 75

Tabla 75. Zonificación geotécnica de detalle – Sierra Morena III – Corte Vial.

Zona	Materiales (unidades del modelo)	Espesores típicos	Comportamiento geotécnico
Zona I	Talud de corte vial: depósitos coluviales (Qc) y botadero (Qb) sobre el saprolito y el macizo del Conjunto Inferior de la Formación Guaduas (K2E1gm) desconfinado, con meteorización diferencial	Qc: 0–5,7 m; Qb: 0–0,45 m; saprolito (grado IV–V): 0–6,0 m	Parte alta: desprendimiento de bloques del saprolito y del coluvión, con deslizamiento asociado y retroceso progresivo de la corona. Partes media y baja: erosión generalizada en surcos sobre la Formación Guaduas. Factores de seguridad inferiores a los umbrales normativos
Zona II	Depósitos coluviales delgados (Qc), rellenos de adecuación y antrópicos (Qra, Qb) y suelo residual (Qsr), sobre la Formación Guaduas (K2E1gm)	Qc: 0–5,7 m; Qra: 0–2,0 m; Qb: 0–0,45 m; Qsr: 1,0–2,2 m	Ladera con cobertura de depósitos y rellenos delgados sobre macizo de mayor competencia, sin procesos de remoción en masa activos; erosión laminar y en surcos de baja a moderada intensidad

Fuente: Elaboración propia.

La Zona I corresponde al talud de corte vial y a su franja de corona hasta la Diagonal 75 Sur, sector en el que interactúan los depósitos coluviales (Qc, 0–5,7 m) y el Conjunto Inferior de la Formación Guaduas en condición desconfinada, afectado por una severa meteorización diferencial dominada por el desleimiento de las intercalaciones de arcillolitas. La homogeneidad de la zona está dada por esta configuración material y por la dinámica morfodinámica que de ella se deriva: caídas de roca y desprendimientos, con deslizamiento asociado, que aportan bloques angulares de arenisca de hasta aproximadamente 1 m de diámetro hacia la vía.

Dentro de la zona los procesos se distribuyen con un patrón definido en función de la altura del talud. En la parte alta, donde afloran el depósito coluvial y el saprolito de la Formación Guaduas (grado de

meteorización IV–V, entre 0,00 y 6,00 m según el sondeo SSM-1, numeral 3.3.1.5), el proceso dominante es el desprendimiento de bloques: la pérdida de soporte basal y la disgregación del saprolito liberan fragmentos y bloques que caen a lo largo de la cara del talud. En las partes media y baja, donde el macizo de la Formación Guaduas queda expuesto directamente sobre la cara de corte, predomina la erosión generalizada en surcos, favorecida por el desleimiento de las intercalaciones de arcillolitas y por la escorrentía concentrada sobre la superficie desprotegida. Ambos procesos actúan de manera acoplada: la erosión en surcos socava la base de la cara y remueve el material fino, lo que descalza los bloques del nivel superior y realimenta el retroceso progresivo de la corona. Los análisis del numeral 3.4 delimitaron anchos de amenaza alta de 32 a 35 m en la sección A–A' y de 36 m en la sección B–B', y se complementaron con el análisis de trayectorias de caída de bloques (numeral 3.4.5.1). El límite de la zona se ajustó a la franja del talud de corte y de su corona, en la que se concentran los materiales desconfinados y la dinámica de desprendimientos.

La Zona II agrupa los sectores de ladera aledaños al corte, en los que la cobertura no comprende únicamente los depósitos coluviales delgados, sino también rellenos, tanto de adecuación (Qra, 0–2,0 m) como antrópicos de tipo botadero (Qb, 0–0,45 m), junto con el suelo residual (Qsr, 1,0–2,2 m), dispuestos sobre el macizo de la Formación Guaduas, que conserva su confinamiento y una mayor competencia mecánica. En esta zona los procesos denudativos se limitan a erosión laminar y en surcos de baja a moderada intensidad, sin la concentración ni la continuidad que alcanzan sobre la cara de corte de la Zona I y sin desprendimientos asociados, por cuanto el macizo no se encuentra desconfinado. No se identificaron procesos de remoción en masa activos y los factores de seguridad a lo largo de las secciones resultaron superiores a los umbrales de amenaza alta, por lo cual se clasifica en categoría de amenaza media, en concordancia con la cartografía oficial de amenaza por movimientos en masa urbana del Distrito (numeral 3.4.1).



Figura 85. Zonificación geotécnica de detalle – condición actual, Sierra Morena III – Corte Vial.
Fuente: Elaboración propia.

Para la representación cartográfica se adoptó una simbología homogénea para los tres sitios de estudio, orientada a garantizar la lectura conjunta de la zonificación geotécnica de detalle y de los mapas de amenaza del Anexo E.5: la Zona I se representa mediante achurado diagonal con límite continuo en tono rojo oscuro, de manera que las áreas en rojo de los planos de detalle responden estrictamente a las zonas de los procesos morfodinámicos identificados; la Zona II se representa mediante achurado diagonal con límite a trazos en tono ocre; y, donde se delimita, la Zona III se representa mediante achurado cruzado con límite continuo en tono violeta. Los rótulos de zona se ubican al interior de cada polígono y la leyenda incorpora la descripción resumida de materiales de cada zona.

La zonificación geotécnica de detalle constituye el soporte de la categorización de la amenaza del numeral 3.4.5 y de la cartografía del Anexo E.5: la Zona I delimita el sector de proceso morfodinámico activo y de comportamiento geotécnico deficiente que sustenta la categoría de amenaza alta, en tanto que la Zona II corresponde a los sectores sin procesos activos, asociados a la categoría de amenaza media. La delimitación de zonas diferentes se justifica en tres líneas de evidencia convergentes: la configuración de materiales y espesores del modelo geológico-geotécnico, los procesos morfodinámicos inventariados en

campo y los factores de seguridad obtenidos en los análisis de equilibrio límite conforme a la Resolución 111 de 2022 del IDIGER.

3.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

La amenaza por movimientos en masa corresponde a la posibilidad de ocurrencia de un proceso de inestabilidad del terreno, con una magnitud e intensidad determinadas, dentro de un área y período de exposición específicos, capaz de generar afectaciones sobre personas, edificaciones, infraestructura o elementos expuestos.

La metodología adoptada para la evaluación se definió de acuerdo con el alcance del estudio, la escala de trabajo, la información disponible y los criterios establecidos en la Resolución 111 del 10 de mayo de 2022 del IDIGER. En este contexto, el análisis comprendió las siguientes actividades:

- Revisión de antecedentes técnicos, incluyendo estudios previos, conceptos, diagnósticos y demás información disponible para el sector de estudio y su área de influencia.
- Recopilación y análisis de la cartografía básica y temática disponible, incluyendo información topográfica, geológica, geomorfológica y geotécnica.
- Selección y verificación de la base topográfica utilizada para la construcción de los modelos y la elaboración de los planos temáticos y de zonificación.
- Identificación y delimitación de las unidades geológicas superficiales, las unidades geomorfológicas y los procesos morfodinámicos activos, inactivos o potenciales, a partir de la interpretación cartográfica y el reconocimiento de campo.
- Caracterización de los factores condicionantes y detonantes de los movimientos en masa, incluyendo la pendiente, la estratigrafía, las propiedades geomecánicas de los materiales, las precipitaciones, la sismicidad y las intervenciones antrópicas, tales como cortes, rellenos y manejo de aguas superficiales y de escorrentía.
- Formulación del modelo geológico-geotécnico, integrando la geometría del terreno, la distribución de las unidades geotécnicas, las condiciones hidrogeológicas, los parámetros de resistencia y los posibles mecanismos de falla.
- Evaluación de la estabilidad mediante métodos de equilibrio límite para la condición normal de agua y sin sismo y la condición extrema de agua y con sismo, conforme con los escenarios establecidos en la Resolución 111 de 2022.
- Categorización y zonificación de la amenaza mediante la integración de los factores de seguridad obtenidos, la información geológica, geomorfológica, geotécnica y topográfica, y las evidencias recopiladas durante el reconocimiento de campo.

Esta metodología permitió establecer la distribución espacial de las categorías de amenaza y sustentar técnicamente la zonificación por movimientos en masa del área de estudio.

3.4.1 SOFTWARE Y MÉTODOS UTILIZADOS

Los análisis bidimensionales de estabilidad se desarrollaron mediante el software Slide 6.0 de Rocscience Inc., empleando métodos de equilibrio límite para la evaluación de superficies potenciales de falla y la determinación del factor de seguridad.

La resistencia al corte de los materiales se representó mediante el criterio de falla de Mohr-Coulomb, definido a partir de los parámetros de cohesión efectiva, ángulo de fricción interna y peso unitario asignados a cada unidad geotécnica. Cuando correspondió, el efecto del agua se consideró lo estipulado en el capítulo donde se definió el Nivel freático y peso unitario

La búsqueda de las superficies críticas de falla se realizó considerando la geometría del terreno, la estratigrafía, las condiciones de frontera y los parámetros geotécnicos establecidos en el modelo. Para las condiciones extremas, se incorporó adicionalmente la acción sísmica, aplicando los coeficientes sísmicos definidos para el proyecto conforme a lo estipulado en la evaluación de la amenaza sísmica para los análisis de estabilidad.

3.4.2 CONDICIONES DE AMENAZA PRECEDENTE

Como antecedente de la evaluación de detalle, se consultó la capa oficial de amenaza por movimientos en masa para la zona urbana y de expansión de Bogotá D.C., generada en el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), en cumplimiento de lo establecido para los estudios básicos en el Decreto Nacional 1807 de 2014, compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015. La documentación del geoservicio, la actualización de dicha capa se realizó mediante la aplicación conjunta de la metodología de taludes naturales y del sistema semicuantitativo de estabilidad, incorporando información de los instrumentos de gestión del riesgo, y su resultado se contrastó con el mapa de procesos para generar el mapa definitivo (IDIGER, capa “Amenaza movimientos en masa urbano”, portal Mapas Bogotá).

En la siguiente figura se presenta un recorte de dicha cartografía sobre el área de estudio, con el mismo encuadre del plano de localización de las secciones de análisis del numeral 3.3.2 (MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional, CTM12). Según esta información, el polígono de estudio se localiza mayoritariamente en amenaza media, con una franja de amenaza alta hacia el costado occidental —sobre el sector escarpado de ladera colindante con el barrio, donde se concentran los procesos de inestabilidad identificados en campo y las secciones de análisis del presente estudio— y sectores de amenaza baja hacia el nororiente del encuadre. Esta condición precedente, de carácter indicativo y escala urbana, es consistente con los resultados de los análisis de detalle que se presentan en los numerales siguientes.

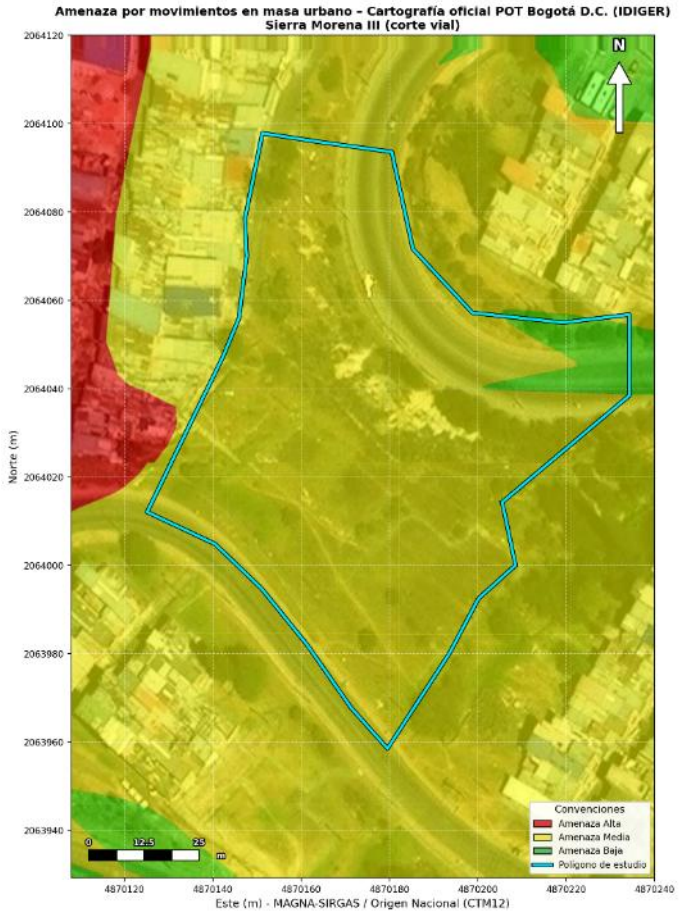


Figura 86. Amenaza por movimientos en masa urbano (cartografía oficial POT, IDIGER) sobre el área de estudio – Sierra Morena III (corte vial).

Fuente: Elaboración propia a partir del geoservicio Mapas Bogotá – capa "Amenaza movimientos en masa urbano" (IDIGER), consulta de julio de 2026. Rojo: amenaza alta; amarillo: amenaza media; verde: amenaza baja; línea cian: delimitación del polígono de estudio Sierra Morena III.

3.4.3 CONDICIONES DE AMENAZA

Para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa en el escenario se desarrollaron modelos bidimensionales de estabilidad sobre secciones representativas. La localización, geometría y criterios de selección de estas secciones se describen en el numeral asociado a las secciones de análisis, mientras que los modelos y resultados correspondientes se presentan en el Anexo E7- Amenaza.

La selección de las secciones consideró la configuración topográfica del terreno, la distribución de las unidades geológico-geotécnicas, los espesores de los materiales superficiales y los mecanismos de falla potenciales identificados. El movimiento en masa determinante para la evaluación se describe en la Tabla 76.

Tabla 76. Descripción de las amenazas en Sierra Morena III.

EVENTO	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO: MAGNITUD Y FRECUENCIA	DESCRIPCION DEL TIPO DE AMENAZA
Deslizamiento superficial de suelos	Movilización potencial del depósito coluvial y, localmente, de los rellenos de adecuación dispuestos sobre el suelo residual y la Formación Guaduas meteorizada. El proceso puede ser favorecido por el incremento de la saturación, la generación de presiones de poros y la pendiente del terreno.	Amenaza por movimientos en masa de carácter superficial, asociada con deslizamientos en depósitos coluviales y materiales antrópicos.

Fuente: Elaboración propia.

Los procesos potenciales de inestabilidad en el sector Sierra Morena III están condicionados principalmente por la distribución espacial, el espesor y las propiedades geomecánicas de los depósitos coluviales y, localmente, de los rellenos de adecuación, así como por su disposición sobre el suelo residual y la Formación Guaduas meteorizada. De acuerdo con la exploración del subsuelo, los materiales superficiales presentan espesores variables, alcanzando hasta aproximadamente 5,7 m en el caso del depósito coluvial, mientras que los rellenos de adecuación registran espesores de hasta 2,0 m. Su comportamiento se encuentra además influenciado por la pendiente del terreno y por las condiciones de saturación y generación de presiones de poros. En consecuencia, la extensión de las franjas de amenaza definidas se considera representativa del alcance potencial del proceso identificado.

La evaluación de la amenaza se realizó para los escenarios mínimos definidos en la Resolución 111 del 10 de mayo de 2022 del IDIGER, condición normal de agua y sin sismo, y condición extrema de agua y con sismo durante un periodo de exposición de 50 años.

La categorización se efectuó mediante la comparación de los factores de seguridad obtenidos en los análisis de estabilidad con los rangos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 77. Categorización de la amenaza por Rangos de Factor de Seguridad (FS), para la condición normal y extrema.

Categoría de amenaza	Condiciones normales - FS	Condición extrema - FS
Baja	FS≥1.5	FS≥1.1
Media	1.10≤ FS < 1.50	1.0 ≤ FS < 1.1
Alta	FS < 1.10	FS < 1.00

Fuente: Resolución 111 del 10 de mayo de 2022 del IDIGER.

Con base en estos criterios, a continuación, se presentan los análisis de estabilidad y la categorización de la amenaza correspondiente, tanto para la condición normal de agua y sin sismo como para la condición extrema de agua y con sismo.

3.4.3.1 Amenaza actual para condiciones normales

De conformidad con la Resolución 111 del 10 de mayo de 2022 del IDIGER, la estabilidad del terreno en el escenario actual se evaluó mediante métodos de equilibrio límite, con base en los mecanismos potenciales de falla definidos en el modelo geológico-geotécnico. Los mecanismos analizados corresponden principalmente a procesos de reptación y deformación progresiva de los depósitos superficiales y materiales arcillosos, con posible componente rotacional, asociados al incremento de las presiones de poros y a la reducción de la resistencia al corte. La condición normal se analizó sin acción sísmica y considerando las condiciones hidrogeológicas habituales del terreno. No se incorporó un nivel

freático superficial, debido a que la exploración del subsuelo no evidenció su presencia a profundidades con incidencia significativa sobre los mecanismos evaluados.

A continuación, se presenta de forma ilustrativa un ejemplo de los análisis efectuados bajo la condición normal de agua y sin sismo, las demás secciones de análisis se presentan en el Anexo E7- Amenaza.

De acuerdo con la cartografía de amenaza precedente, el área de estudio se encuentra clasificada predominantemente en categoría de amenaza media, no obstante, durante el reconocimiento de campo se identificó una condición de inestabilidad activa, caracterizada por desprendimientos y caídas de suelo y roca. En este contexto, los análisis de estabilidad desarrollados en el presente estudio se orientaron a revisar y actualizar, a una escala de mayor detalle, la localización y extensión de la franja de amenaza alta asociada con el sector inestable observado en campo. La actualización se efectuó mediante la correlación entre la sección de análisis, el proceso de inestabilidad identificado durante el reconocimiento de campo y la superficie de falla obtenida en el modelo de equilibrio límite. Para la sección A-A' (ejemplo ilustrativo), la franja de amenaza alta en condiciones normales se delimitó en un ancho aproximado de 30 m, entre las progresivas 45 m y 77 m, tal como se muestra en la figura y en el recuadro resaltado en color rojo.

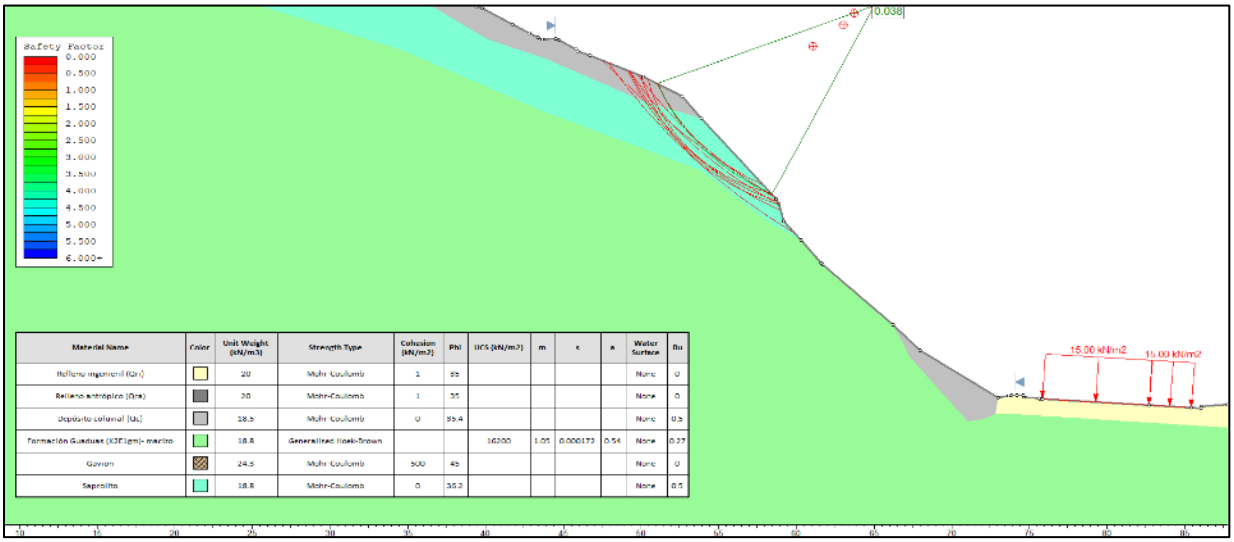


Figura 87. Análisis en condición estática – Sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de seguridad obtenidos a lo largo de la sección se compararon con los rangos establecidos en la Resolución 111 de 2022 del IDIGER. Para la condición normal de agua y sin sismo, los sectores con FS < 1,10 se clasificaron en categoría de amenaza alta. La variación del factor de seguridad respecto de la progresiva permitió identificar los tramos críticos de la sección y sustentar la actualización de la franja de amenaza alta tal como se ilustra en la siguiente imagen.

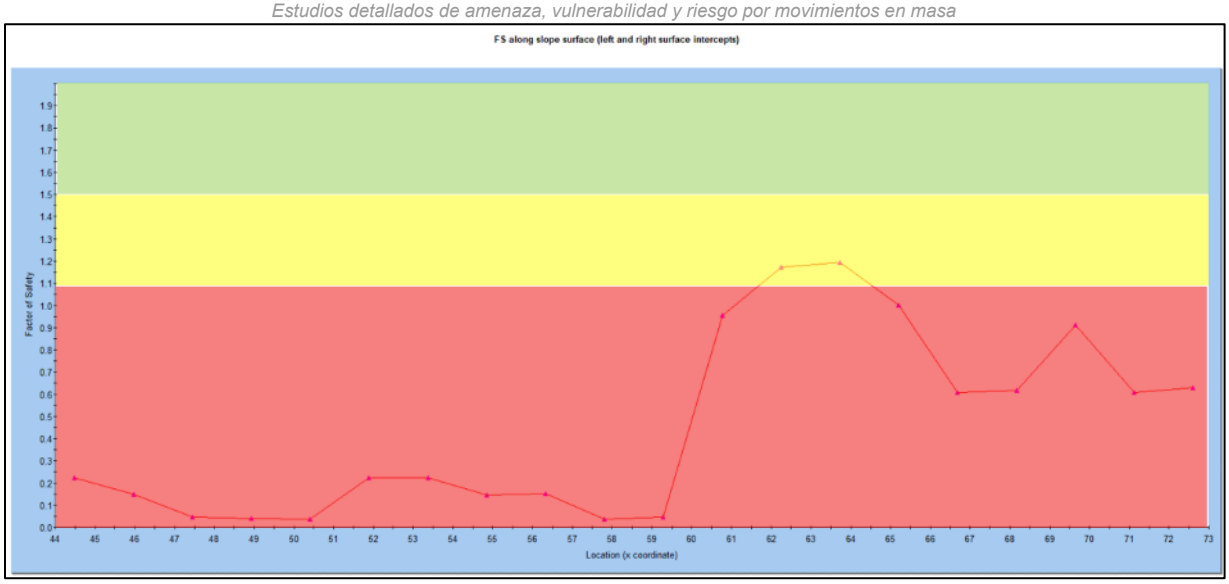


Figura 88. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición estática - Sección A-A'.
Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos, en la siguiente tabla se resumen las progresivas y los anchos estimados de las franjas de amenaza alta para las condiciones normal en las secciones analizadas.

Tabla 78. Anchos de franjas de amenaza alta para las condiciones normales.

Sección	Condiciones normales (actual)		
	Progresiva inicial	Progresiva final	Ancho estimado
A-A'	45 m	73 m	28 m
B-B'	47 m	83 m	36 m

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación se definió mediante la integración de los factores de seguridad obtenidos en los análisis de equilibrio límite, su variación a lo largo de las secciones, utilizada para delimitar franjas de comportamiento geotécnico homogéneo y el inventario de procesos morfodinámicos, así como la evidencia geológica, geomorfológica y geotécnica recopilada durante el reconocimiento de campo.

Estos criterios se correlacionaron espacialmente sobre la cartografía de detalle del área de estudio, de manera que las franjas delimitadas en el plano de zonificación mantienen correspondencia con los mecanismos de falla identificados y con los tramos críticos definidos en cada sección. Las áreas restantes, en las que no se identificaron procesos activos y los factores de seguridad resultaron superiores a los umbrales de amenaza alta, se clasificaron en categoría de amenaza media, manteniendo concordancia con el mapa oficial "Amenaza por movimientos en masa urbano" del portal Mapas Bogotá.



Figura 89. Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza por movimientos en masa- condición normal actual.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.2 Amenaza actual para condiciones extremas

De acuerdo con la Resolución 111 de 2022 del IDIGER, la estabilidad del terreno se evaluó bajo condición extrema, considerando de manera simultánea las condiciones hidrogeológicas desfavorables y la acción sísmica de diseño.

Las condiciones extremas de agua corresponden al escenario más desfavorable razonablemente esperado durante el período de exposición de 50 años, conforme con el modelo geológico-geotécnico. Asimismo, la acción sísmica se incorporó mediante un análisis pseudoestático, con base en los parámetros definidos en la “Evaluación de la amenaza sísmica” para los análisis de estabilidad. La combinación de estos factores incrementa las fuerzas desestabilizadoras y reduce la resistencia efectiva al corte de los materiales, configurando la condición crítica para la evaluación de la amenaza.

A continuación, se presenta de forma ilustrativa un ejemplo de los análisis efectuados bajo la condición extrema de agua y con sismo, las demás secciones de análisis se presentan en el Anexo E7- Amenaza. Para la sección A-A’ (ejemplo ilustrativo), la franja de amenaza alta se delimitó en un ancho aproximado de 38 m para la condición de condiciones extremas, entre las progresivas 45 m y 80 m, tal como se muestra en la figura y en el recuadro resaltado en color rojo.

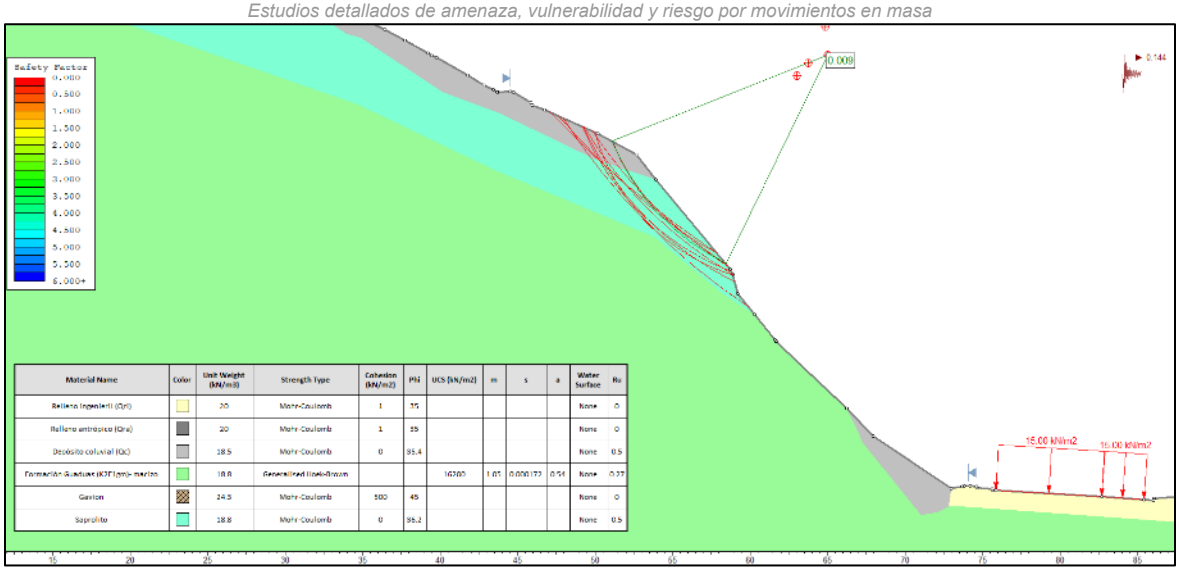


Figura 90. Análisis en condición pseudoestática – Sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de seguridad obtenidos a lo largo de la sección se compararon con los rangos establecidos en la Resolución 111 de 2022 del IDIGER. Para la condición normal de agua y sin sismo, los sectores con FS < 1 se clasificaron en categoría de amenaza alta. La variación del factor de seguridad respecto de la progresiva permitió identificar los tramos críticos de la sección y sustentar la actualización de la franja de amenaza alta tal como se ilustra en la Figura 91.

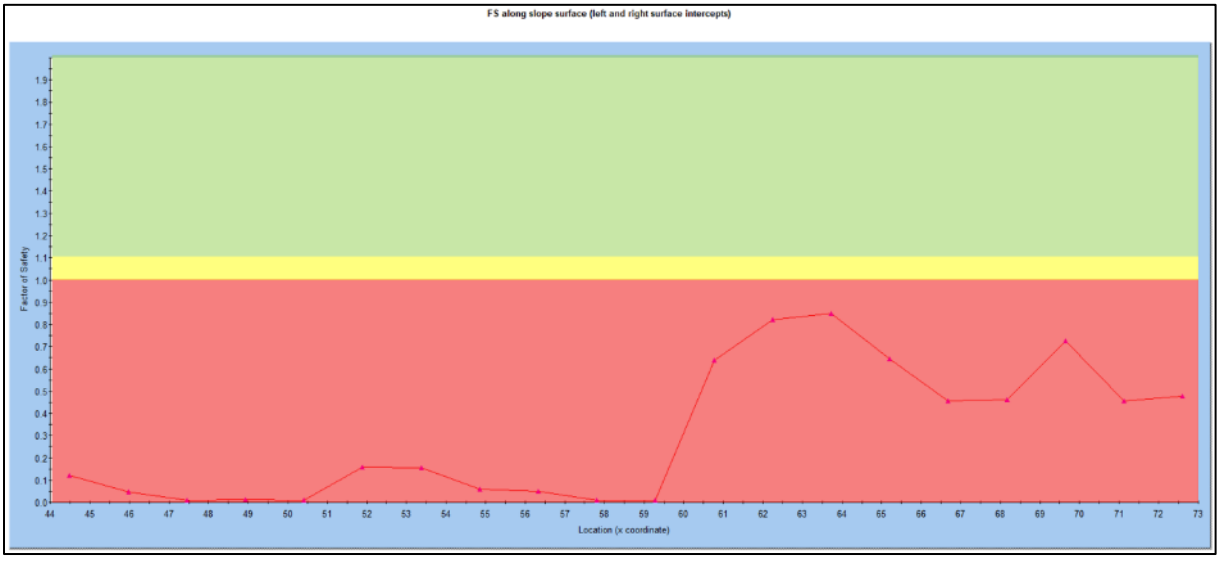


Figura 91. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición pseudoestática- Sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos, en la Tabla 79 se resumen las progresivas y los anchos estimados de las franjas de amenaza alta para las condiciones normal y extrema en las secciones analizadas.

Tabla 79. Anchos de franjas de amenaza alta para las condiciones extremas.

Sección	Condiciones pseudoestática		
	Progresiva inicial	Progresiva final	Ancho estimado
A-A’	45 m	73 m	28 m
B-B’	47 m	83 m	36 m

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación se definió mediante la integración de los factores de seguridad obtenidos en los análisis de equilibrio límite, su variación a lo largo de las secciones, utilizada para delimitar franjas de comportamiento geotécnico homogéneo y el inventario de procesos morfodinámicos, así como la evidencia geológica, geomorfológica y geotécnica recopilada durante el reconocimiento de campo.

Estos criterios se correlacionaron espacialmente sobre la cartografía de detalle del área de estudio, de manera que las franjas delimitadas en el plano de zonificación mantienen correspondencia con los mecanismos de falla identificados y con los tramos críticos definidos en cada sección. Las áreas restantes, en las que no se identificaron procesos activos y los factores de seguridad resultaron superiores a los umbrales de amenaza alta, se clasificaron en categoría de amenaza media, manteniendo concordancia con el mapa oficial “Amenaza por movimientos en masa urbano” del portal Mapas Bogotá.



Figura 92. Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza por movimientos en masa- condición extrema sin obra.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior, en el sector de Sierra Morena III – Corte vial, la categoría de amenaza alta se manifiesta de manera concentrada sobre el escarpe del talud de corte vial llegando hasta la Diagonal 75 Sur, cuya dinámica morfodinámica actual configura la condición más crítica del polígono. Sobre este rasgo convergen las siguientes condiciones:

El proceso morfodinámico predominante en el sector corresponde a caídas de roca y desprendimientos, con deslizamiento asociado, sobre un talud de corte vial desconfinado donde interactúan los depósitos coluviales y la Formación Guaduas (Conjunto Inferior). La problemática principal radica en la severa meteorización diferencial que afecta tanto a los depósitos coluviales como al sustrato rocoso; la dinámica está dominada por el rápido desleimiento de las intercalaciones de arcillolitas y el lavado continuo de la matriz areno-arcillosa del estrato cuaternario, lo que genera pérdida de soporte basal y deja en voladizo los fragmentos y bloques de arenisca, propiciando su desprendimiento por gravedad.

La condición actual de desconfinamiento y degradación del talud es el detonante directo de la caída constante de material rocoso (bloques y fragmentos angulares de arenisca, hasta cerca de 1 m de diámetro) y de suelo areno-arcilloso hacia la vía. El diagnóstico proyecta que la corona del talud mantendrá una cinemática de retroceso progresivo mientras no se ejecuten obras de contención y protección, configurando una amenaza doble sobre la seguridad vial y sobre la infraestructura aledaña.

3.4.3.3 Análisis de trayectorias de caída de bloques

El proceso morfodinámico descrito en los numerales anteriores, esto es la caída de bloques por pérdida de soporte basal, no queda representado por el análisis de equilibrio límite, que evalúa la estabilidad de masas de suelo a lo largo de superficies de falla y no el desprendimiento ni la trayectoria de fragmentos individuales. Por esta razón se desarrolló un análisis complementario de trayectorias sobre la sección A-A′, orientado a establecer el alcance de los bloques desprendidos, su altura de rebote y su energía, magnitudes que definen la exposición de los peatones que transitan por la berma y los senderos del sector y de los usuarios de la Diagonal 75 Sur.

Evidencia de campo: El reconocimiento del sector y el registro fotográfico documentan un desprendimiento sobre el talud de corte, con una cicatriz de arranque en la parte media-alta de la cara y acumulación de bloques angulares de arenisca al pie y sobre la berma. La autoridad vial dispuso barreras plásticas de canalización a lo largo del borde de la calzada, que restringen el tránsito en el costado adyacente al talud. Ambos elementos, la posición del material acumulado y la de las barreras, constituyen el contraste del modelo.



Figura 93. Desprendimiento documentado en el talud de corte de la Diagonal 75 Sur, sector Sierra Morena III. a) Vista general del sector, con los bloques acumulados sobre la berma y las barreras de

canalización dispuestas en el borde de la calzada. b) Detalle de la cicatriz de arranque y de los bloques de arenisca acumulados al pie del talud.

Fuente: Registro fotográfico del sector.

Consideraciones adoptadas para la modelación: La construcción del modelo se apoyó en las observaciones del reconocimiento del sector, de manera que cada decisión de modelación tenga un respaldo verificable en campo. La tabla siguiente relaciona cada consideración con la observación que la sustenta.

Tabla 80. Consideraciones adoptadas para la modelación de caída de bloques y su sustento en el reconocimiento del sector, sección A-A'.

Consideración adoptada	Observación de campo que la sustenta	Implicación en el modelo
La zona fuente se sitúa en la cresta de la cara de corte (prog. 53,0 m) y no en la corona del talud	Los desprendimientos se concentran en la cara del corte; por encima el talud presenta cobertura vegetal continua	Se descarta la parte alta del talud como zona de aporte
El talud por encima de la prog. 53,0 m no genera bloques	Pendientes de 24° a 33°, inferiores al ángulo de fricción del material, con vegetación establecida	Un bloque en reposo en ese tramo no se moviliza
El desprendimiento se modela como caída libre desde un descalce y no desde el reposo	El lavado de la matriz areno-arcillosa deja los bloques en voladizo hasta su caída por gravedad (numeral 3.4.5)	Velocidad vertical inicial de 3,13 m/s (descalce de 0,50 m)
El material de la cara del corte se trata como superficie degradada y no como roca sana	La cara expuesta corresponde a saprolito con bloques embebidos en matriz, sin roca competente aflorante	Coeficientes de restitución reducidos respecto de macizo rocoso
Se adopta la densidad del bloque intacto y no la del conjunto	Los fragmentos desprendidos son bloques de arenisca sana, no la mezcla de bloques y matriz	ρ = 2,3 t/m³ (SSM-1, máx. 2,366 t/m³) en lugar de 1,92 t/m³
El tamaño de los bloques se establece por fotointerpretación con escalas del sitio	Bloques acumulados junto a poste, bordillo, señalización y barreras, de dimensiones conocidas	Rango de 0,25 a 1,40 m; bloque de diseño de 0,90 m
Se incorpora rugosidad del terreno en la cara del corte y en la calzada	Superficies irregulares por acumulación de detritos sueltos y material desprendido	Dispersión realista de las trayectorias
La fricción de la calzada se calibra por retroanálisis	Posición del material acumulado y de las barreras de canalización en el borde de la calzada	φ = 16°, único valor que reproduce lo observado

Fuente: Elaboración propia con base en el reconocimiento de campo del sector Sierra Morena III.

Programa y método: El análisis se ejecutó en el programa RocFall 4.0 de Rocscience Inc., mediante el método de masa concentrada (lump mass) con simulación de Monte Carlo sobre 1 000 bloques. La trayectoria de cada bloque se resuelve como un problema balístico entre impactos; en cada impacto la velocidad se descompone en sus componentes normal y tangencial al terreno, afectadas por los coeficientes de restitución Rn y Rt, y el movimiento de rodamiento se controla mediante el ángulo de fricción del tramo. En este método la trayectoria y el alcance son independientes de la masa del bloque, que interviene únicamente en el cálculo de la energía cinética.

Geometría y zona fuente: El perfil corresponde a la sección A-A′ del modelo geológico-geotécnico del numeral 3.3, con 46,1 m de desnivel. La cara del corte se desarrolla entre las progresivas 52,6 y 72,3 m, con inclinaciones de 38° a 51°, y la calzada de la Diagonal 75 Sur entre las progresivas 76,6 y 88,9 m, con

un ancho de 12,3 m. La zona fuente se ubicó en la progresiva 53,0 m (cota 2698,35) y la altura de caída entre esta y la vía es de 22,0 m.

Tabla 81. Parámetros de la zona fuente adoptados en el análisis de trayectorias, sección A-A'.

Parámetro	Valor adoptado	Sustento
Localización de la fuente	Prog. 53,0 m; cota 2698,35	Zona de desprendimiento activo observada en campo
Altura de caída hasta la vía	22,0 m	Geometría del perfil de la sección A-A′
Número de bloques simulados	1 000	Convergencia estadística de Monte Carlo
Densidad del bloque intacto	2,3 t/m³	Peso unitario medido en SSM-1 (máx. 2,366 t/m³)
Diámetro equivalente típico	0,45 m (110 kg)	Moda del registro fotográfico
Diámetro equivalente de diseño	0,90 m (880 kg)	Percentil 90 del registro fotográfico
Diámetro equivalente máximo	1,40 m (3 300 kg)	Máximo observado en la fotografía
Velocidad horizontal inicial	0,75 m/s (σ = 0,20)	Desprendimiento sin impulso horizontal
Velocidad vertical inicial	3,13 m/s (σ = 0,60)	Caída libre desde descalce de 0,50 m

Fuente: Elaboración propia con base en el registro fotográfico del sector y en los ensayos de peso unitario del sondeo SSM-1.

Coeficientes de restitución y calibración: Los coeficientes de restitución normal (Rn) y tangencial (Rt), el ángulo de fricción y la rugosidad se asignaron por tramos, diferenciando el talud natural con cobertura vegetal, la cara del corte expuesta y la superficie de la berma y la calzada. Los valores iniciales se tomaron de los rangos de referencia de Rocscience y se contrastaron con la evidencia de campo. Dicho contraste mostró que los valores de biblioteca para superficies pavimentadas (φ = 30°) reproducen alcances que no superan la berma, incompatibles con la acumulación de bloques observada en el borde de la calzada. La discrepancia obedece a que, en el método de masa concentrada, el ángulo de fricción representa la resistencia al movimiento de un bloque que rueda y no el rozamiento de deslizamiento entre superficies planas; para bloques métricos sobre superficies duras dicha resistencia es sensiblemente menor. Se ejecutó en consecuencia un análisis de sensibilidad sobre ese parámetro, manteniendo invariables todos los demás.

Tabla 82. Análisis de sensibilidad al ángulo de fricción de la berma y la calzada. Los demás parámetros se mantienen constantes. El pie del corte se localiza en la progresiva 72,3 m y el borde de la calzada en la progresiva 76,6 m.

φ de la calzada (°)	Alcance de los bloques (m)	Progresiva modal (m)	Correspondencia con la evidencia de campo
30 (valor de biblioteca)	73,0 – 77,0	74,0	Los bloques no superan la berma; no reproduce lo observado
20	74,0 – 79,0	76,0	Alcance insuficiente respecto de lo observado
16 (adoptado)	75,0 – 84,0	77,5	Reproduce la acumulación en berma y borde de calzada
12	77,0 – 90,0	80,0	La mayoría de los bloques cruza la calzada; no se observa

Fuente: Elaboración propia. Resultados obtenidos en RocFall 4.0.

El valor adoptado, φ = 16°, es el único del intervalo analizado que reproduce la condición documentada: acumulación principal sobre la berma y el borde de la calzada, con una fracción de bloques que penetra en ella. Los valores inferiores conducirían a que la mayoría de los bloques cruzara la vía, situación no

observada, y los superiores no reproducirían la invasión del borde de la calzada. El ajuste se limitó a un único parámetro y se declara como valor de retroanálisis, no de catálogo.

Tabla 83. Coeficientes de restitución, ángulo de fricción y rugosidad adoptados por tramo del perfil, sección A-A'.

Tramo	Progresivas (m)	Descripción	Rn	Rt	φ (°)	Rugosidad (°)	Origen del valor
A	0,0 – 44,7	Talud natural con cobertura vegetal	0,30	0,78	30	0	Biblioteca Rocscience
B	44,7 – 72,3	Cara del corte: saprolito con bloques de arenisca	0,26	0,68	25	3	Biblioteca, ajustada a material degradado
D	72,3 – 88,9	Berma y calzada de la Diagonal 75 Sur	0,25	0,80	16	2	Retroanálisis del alcance documentado

Fuente: Elaboración propia; rangos de referencia de Rocscience Inc. El ángulo de fricción del tramo D se obtuvo por retroanálisis del desprendimiento documentado.

Escenario modelado: La figura siguiente presenta el modelo construido en RocFall 4.0, con el perfil de la sección A-A′, la localización de la zona de desprendimiento activo, los elementos de referencia del sector (Calle 75 A Sur en la corona, senderos peatonales intermedios y Diagonal 75 Sur al pie) y las trayectorias calculadas para los 1 000 bloques simulados.

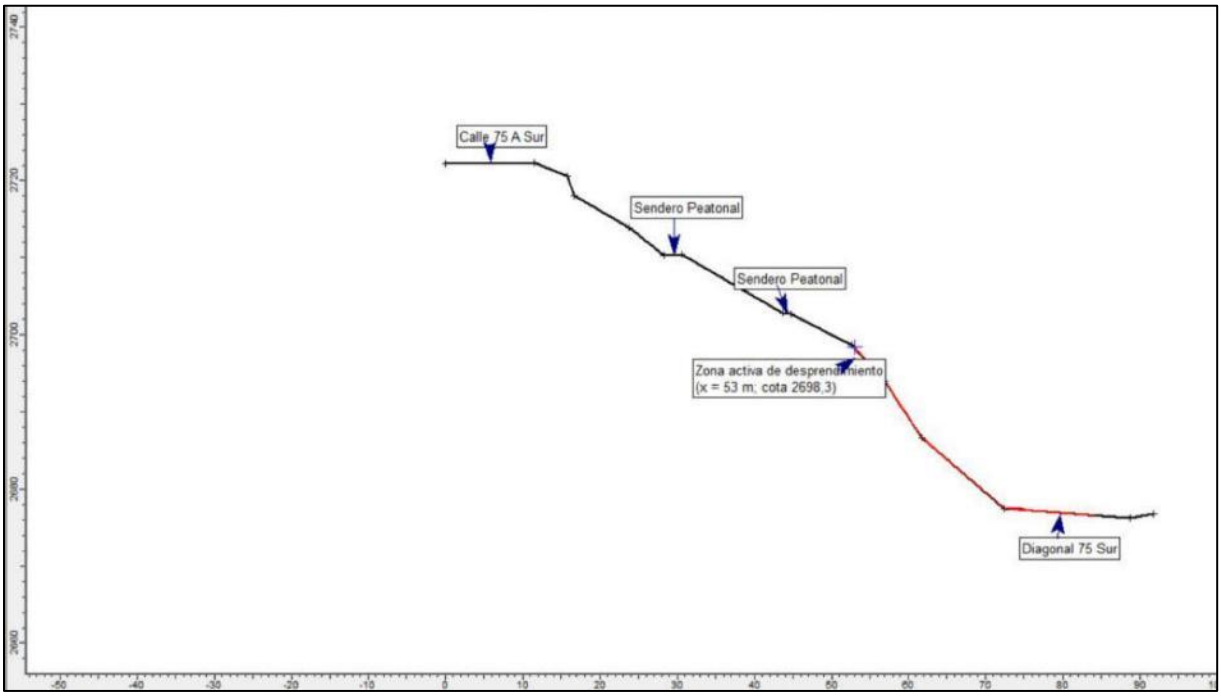


Figura 94. Escenario modelado en RocFall 4.0 y trayectorias calculadas de los bloques, sección A-A'.
Fuente: Elaboración propia. RocFall 4.0, Rocscience Inc.

Resultados: La distribución de los puntos de detención muestra que los bloques se acumulan entre las progresivas 75,0 y 84,0 m, con moda en la progresiva 77,5 m. La totalidad de los bloques que se desprenden de la cara del corte supera el pie del talud y alcanza la berma; cerca del 73 % ingresa a la

calzada de la Diagonal 75 Sur y aproximadamente el 5 % penetra más de 3 m en ella. El alcance máximo calculado, de 11,7 m medidos desde el pie del corte, se aproxima al eje de la calzada.

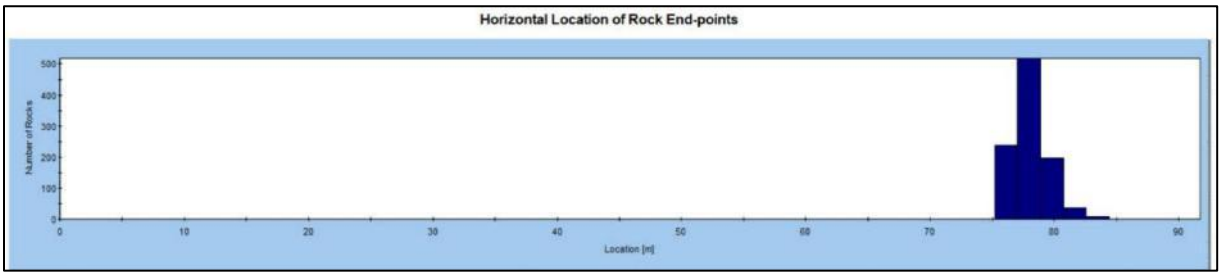


Figura 95. Distribución de la localización horizontal de los puntos de detención de los bloques, sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia. RocFall 4.0, Rocscience Inc.

La envolvente de energía cinética total alcanza su máximo en la progresiva 71,5 m, inmediatamente antes del pie del corte, con 80 kJ para el bloque de diseño de 880 kg. A partir de esa posición la energía decae por efecto de los impactos sucesivos sobre la berma, hasta valores del orden de 10 a 15 kJ en la calzada. Debe advertirse que incluso esos valores residuales resultan elevados frente a la resistencia de un peatón o de la carrocería de un vehículo: a modo de referencia, una energía de 10 kJ equivale a la de un vehículo liviano de 1,5 t desplazándose a 13 km/h.

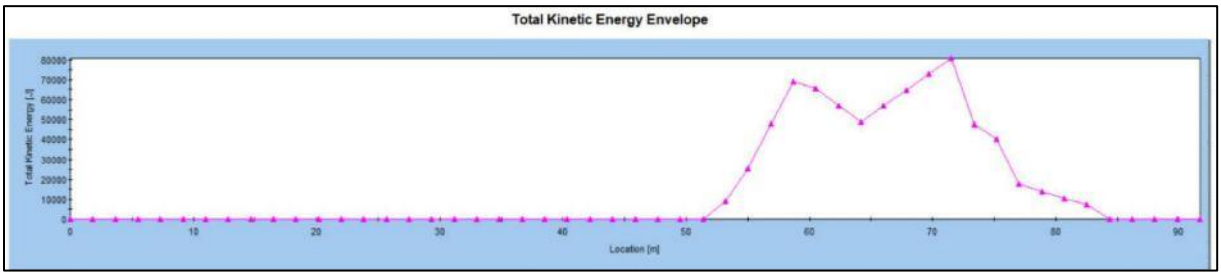


Figura 96. Envolvente de energía cinética total de los bloques a lo largo del perfil, sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia. RocFall 4.0, Rocscience Inc.

Tabla 84. Resultados del análisis de trayectorias de caída de bloques, sección A-A'.

Variable	Resultado	Observación
Bloques simulados	1 000	Masa concentrada, Monte Carlo
Progresiva de detención (rango)	75,0 – 84,0 m	Berma y mitad interior de la calzada
Progresiva de detención (moda)	77,5 m	Borde de la calzada
Alcance máximo desde el pie del corte	11,7 m	Se aproxima al eje de la calzada
Bloques que superan el pie del corte	100 %	Totalidad del material desprendido
Bloques que alcanzan la berma	100 %	Zona de tránsito peatonal
Bloques que ingresan a la calzada	≈ 73 %	Progresivas superiores a 76,6 m
Bloques que penetran más de 3 m en la calzada	≈ 5 %	Progresivas superiores a 79,7 m
Energía cinética máxima (bloque de 880 kg)	80 kJ	Progresiva 71,5 m, al pie del corte
Energía cinética en la calzada	10 – 15 kJ	Progresivas superiores a 76,6 m
Altura máxima de rebote	≈ 1,0 m	Al pie del corte

Fuente: Elaboración propia. RocFall 4.0, Rocscience Inc.

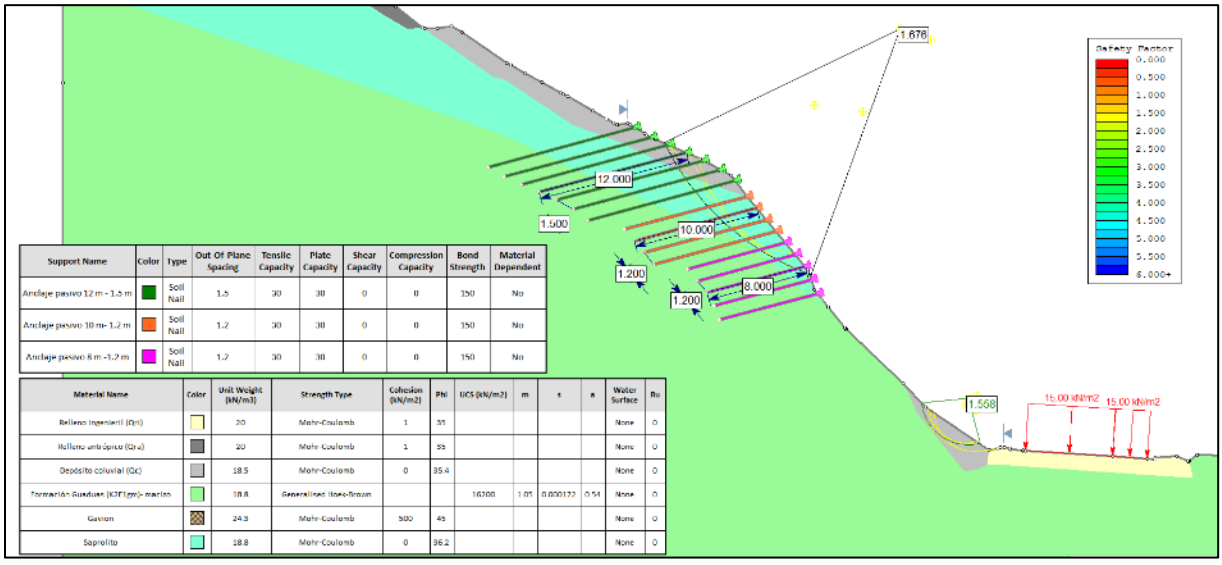
Interpretación en términos de amenaza: Los resultados permiten precisar la exposición asociada al proceso de caída de bloques en la condición actual. En primer lugar, la totalidad de los bloques que se desprenden alcanza la berma, franja por la que circulan peatones y que constituye el acceso a los senderos del sector; la exposición peatonal es por tanto permanente y no depende de la magnitud del evento. En segundo lugar, cerca de tres cuartas partes de los bloques ingresan a la calzada de la Diagonal 75 Sur, con energías del orden de 10 a 15 kJ, suficientes para comprometer la integridad de un vehículo y de sus ocupantes. Finalmente, la altura de rebote calculada al pie del corte, cercana a 1,0 m, corresponde al rango de altura de una persona y de la carrocería de un vehículo liviano, por lo que los impactos no ocurren a nivel del suelo sino a la altura en que se produce el daño a personas.

Coherencia con la zonificación de amenaza: La franja de amenaza alta delimitada para la sección A-A′ a partir de los análisis de equilibrio límite se extiende hasta la progresiva 80 m en la condición extrema. El alcance máximo calculado para los bloques, de 84 m, supera ligeramente ese límite, lo que indica que el proceso de caída de bloques extiende la zona afectada algunos metros más allá de la franja definida por el mecanismo de deslizamiento, y es consistente con la disposición en campo de las barreras de canalización sobre el borde de la calzada.

Alcance y limitaciones del análisis: El ángulo de fricción de la berma y la calzada se obtuvo por retroanálisis de un evento documentado fotográficamente y no por ensayo, por lo que constituye un parámetro calibrado; el análisis de sensibilidad presentado permite dimensionar el efecto de esa elección sobre los resultados. El análisis corresponde a la condición actual del talud, sin obras, y su objeto es cuantificar la amenaza existente sobre peatones y usuarios viales. Finalmente, el método de masa concentrada no representa la fragmentación de los bloques durante el descenso, fenómeno que reduciría la energía de impacto individual, por lo que los valores de energía reportados constituyen una estimación del lado de la seguridad.

3.4.3.4 Amenaza condiciones normales con obra

Para la evaluación de la amenaza en el escenario de condiciones normales con obra se desarrollaron modelos bidimensionales de estabilidad sobre las secciones representativas del área de estudio, incorporando la geometría, las cargas y los elementos estructurales correspondientes a las obras proyectadas. La evaluación se realizó para una condición normal de agua y sin sismo, con base en estos criterios, a continuación, se presentan los análisis de estabilidad y la categorización de la amenaza para el escenario con obra.



Support Name	Color	Type	Out Of Plane Spacing	Tensile Capacity	Plate Capacity	Shear Capacity	Compression Capacity	Bond Strength	Material Dependent
Anclaje pasivo 12 m - 1.5 m		Soil Nail	1.5	30	30	0	0	150	No
Anclaje pasivo 10 m- 1.2 m		Soil Nail	1.2	30	30	0	0	150	No
Anclaje pasivo 8 m -1.2 m		Soil Nail	1.2	30	30	0	0	150	No

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a	Water Surface	Ru
Relleno ingeniril (Qri)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Relleno antrópico (Qra)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Depósito coluvial (Qc)		18.5	Mohr-Coulomb	0	35.4					None	0
Formación Guadua (K2Tgm)- macizo		18.8	Generalized Hoek-Brown			16300	1.05	0.000122	0.54	None	0
Gavion		24.8	Mohr-Coulomb	500	45					None	0
Saprolito		18.8	Mohr-Coulomb	0	36.2					None	0

Figura 97. Análisis en condición normal (construcción) Sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia.

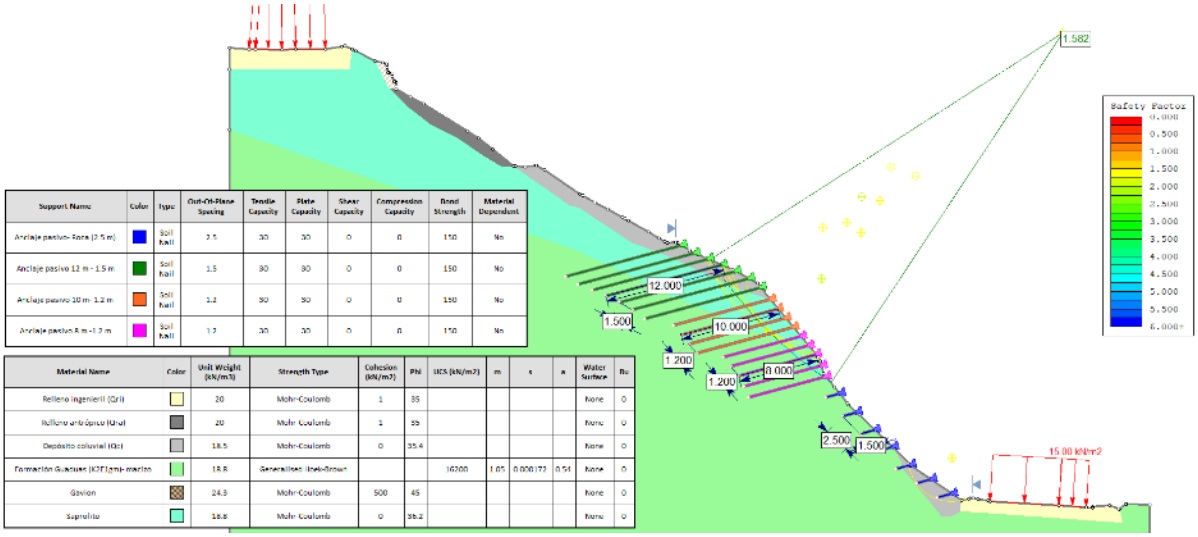


Figura 98. Análisis en condición normal (obra definitiva) Sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de seguridad obtenidos a lo largo de la sección se compararon con los rangos establecidos en la Resolución 111 de 2022. Para la condición normal de agua y sin sismo, los sectores con FS ≥ 1,50 se clasifican en categoría de amenaza baja. La condición hidrogeológica del modelo consideró el efecto de las obras de drenaje proyectadas. No obstante, esta condición no debe denominarse “sin agua”, sino condición normal de agua, dado que representa el comportamiento hidrogeológico esperado una vez implementadas las medidas de manejo y control (drenajes).

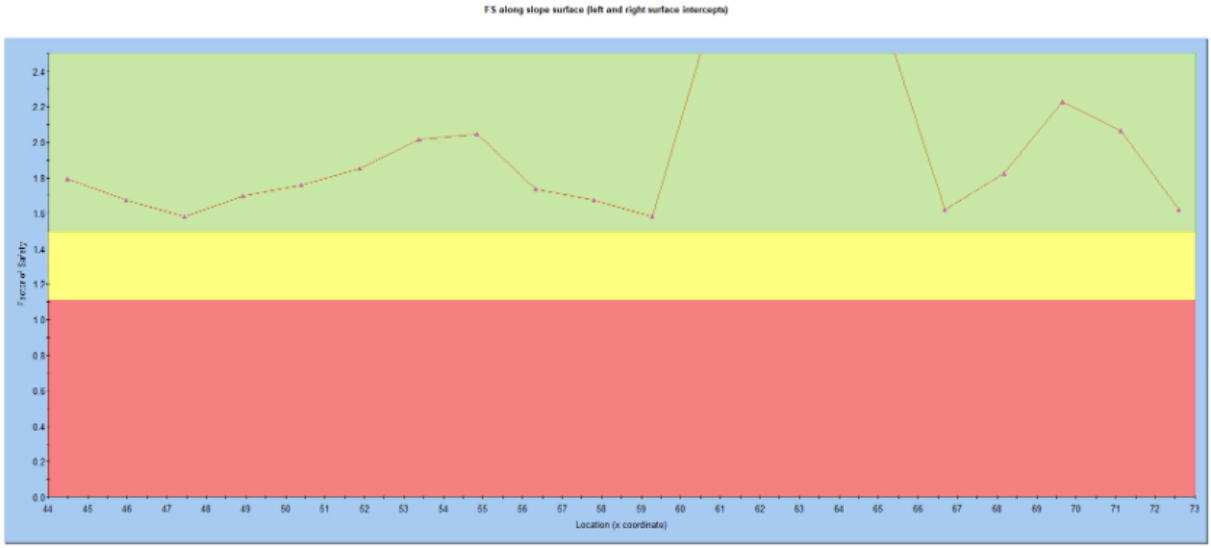


Figura 99. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición estática (Obra) - Sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.5 Amenaza condiciones extremas con obra

Para la condición extrema se incorporaron simultáneamente las condiciones hidrogeológicas desfavorables y la acción sísmica de diseño, manteniendo en el modelo la geometría y los elementos estructurales de la obra proyectada. En la sección A-A', la implementación de la obra genera un incremento de los factores de seguridad y permite alcanzar una categoría de amenaza baja para la condición extrema con sismo.

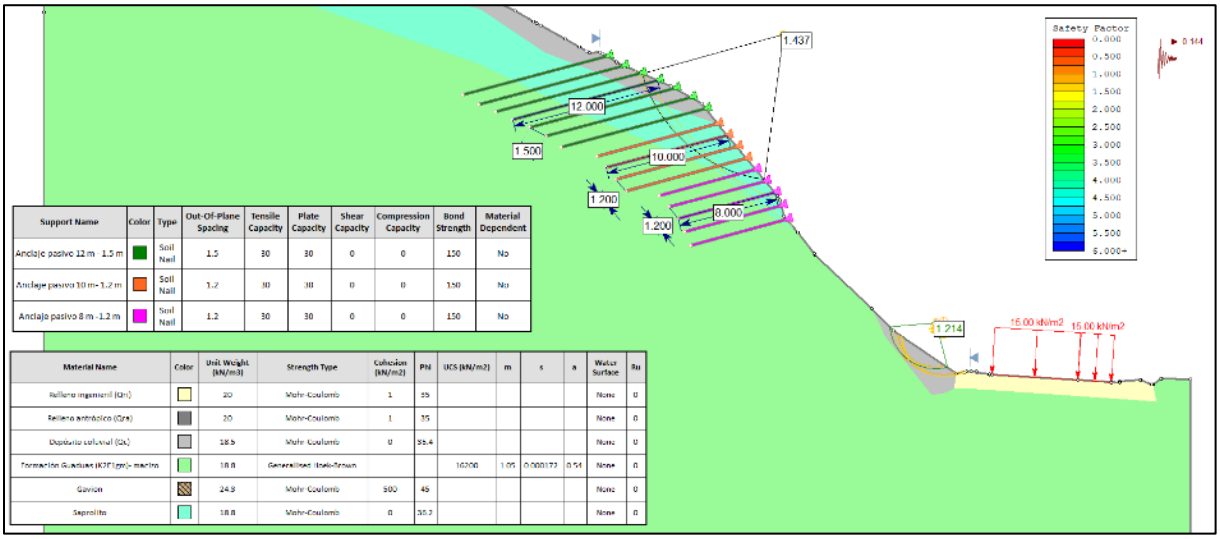


Figura 100. Análisis en condición extrema (construcción) - Sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia.

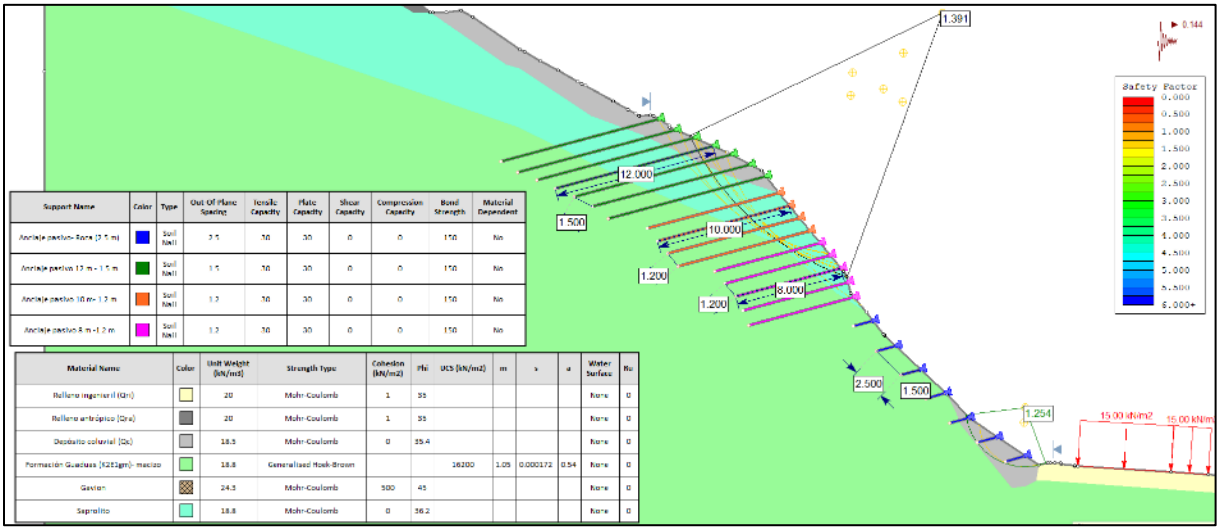


Figura 101. Análisis en condición extrema (Obra) - Sección A-A'.

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de seguridad obtenidos se compararon con los umbrales establecidos en la Resolución 111 de 2022. Para la condición extrema de agua y con sismo, los sectores con FS ≥ 1,10 se clasifican en categoría de amenaza baja.

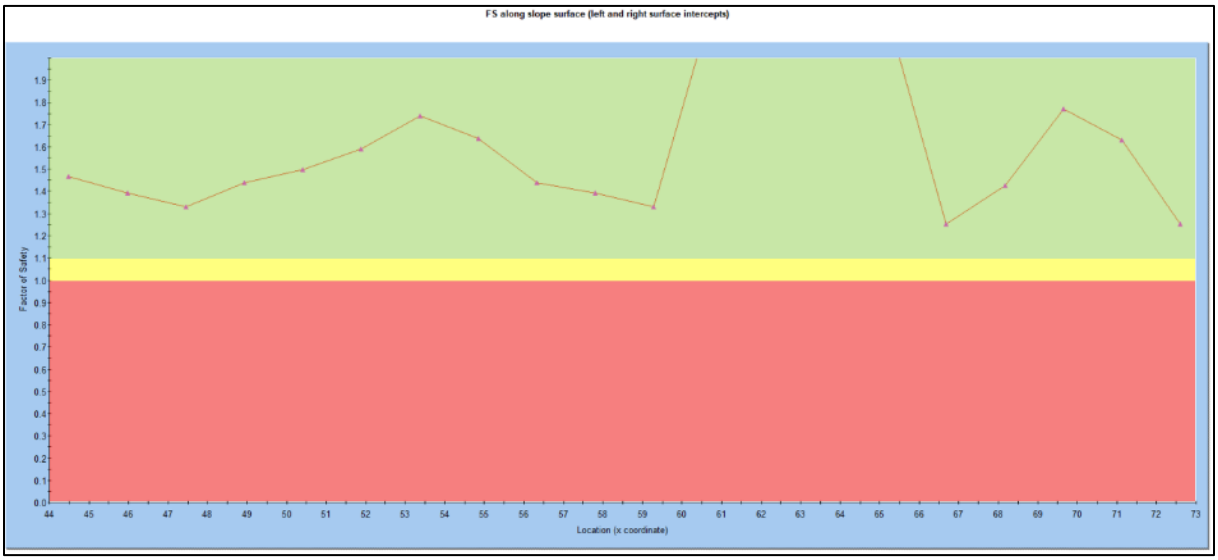


Figura 102. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición pseudoestática (Obra)- Sección A-A'.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.6 Categorización y zonificación de la amenaza con obra

La categorización de la amenaza para el escenario con obras se estableció mediante la integración de los resultados de estabilidad obtenidos para las condiciones de análisis normal y extrema, considerando la geometría definitiva del proyecto y la influencia de las medidas de estabilización y drenaje propuestas.

De acuerdo con los resultados de los modelos de estabilidad, la implementación de las obras proyectadas permite alcanzar factores de seguridad acordes con una condición de amenaza baja en las secciones evaluadas, tanto bajo condiciones normales de operación como ante escenarios extremos de análisis.

La zonificación de amenaza resultante para el escenario con obras se presenta en la figura siguiente.



Figura 103. Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza por movimientos en masa- condición con obras.

Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que el alcance de las obras evaluadas está orientado específicamente a la mitigación del riesgo asociado a la caída de material desde el escarpe. En consecuencia, la delimitación de las zonas estables se proyectó únicamente dentro del área de intervención y análisis del proyecto. No obstante, se identifican sectores adyacentes clasificados con amenaza media, en los cuales podrían desarrollarse procesos de inestabilidad que no son mitigados por las obras propuestas. Por lo anterior, se recomienda que dichos sectores sean objeto de estudios detallados y, de ser necesario, de medidas de intervención complementarias en el marco de un contrato independiente o de un alcance específico que contemple la gestión integral de estas condiciones de amenaza.

3.5 ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA POR MOVIMIENTOS EN MASA.

El alcance del desarrollo de este tema se expone en el numeral 6.8 del Anexo Técnico contractual y consiste en realizar la evaluación y zonificación de la vulnerabilidad física asociada a los movimientos en masa del terreno y de las condiciones estructurales de las viviendas. Igualmente determinar el nivel de riesgo por inestabilidad del terreno en el corto plazo (1 año) y largo plazo (50 años) a escala 1:500 para

las viviendas y la infraestructura de servicios incluida dentro del área de estudio general y detallado respectivamente.

- Determinar el grado de exposición de los elementos a los distintos movimientos en masa identificados.
- Analizar la capacidad de respuesta de los elementos a partir de las características físicas y/o estructurales frente a las diferentes solicitaciones que impondrían los movimientos de inestabilidad identificados.
- Incluir si algún residente ha sido beneficiario de algún subsidio de mejoramiento de vivienda.

Se debe por lo menos presentar una escala cualitativa de vulnerabilidad, así: alta, media y baja, incluyendo los criterios adoptados para determinar dicha escala y debe reflejarse en el plano de la zonificación de la vulnerabilidad a escala 1:1000 o menor
Como conclusiones al análisis de la vulnerabilidad se debe establecer la pertinencia o no de obras de reducción de riesgos por movimientos en masa, y el tipo y propósito de las medidas que permitan la reducción de la vulnerabilidad de la zona.

Para adelantar el análisis de la vulnerabilidad se adopta lo establecido en la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombiano en el año 2015 (Guía SGC). En primera instancia la Guía SGC enuncia las etapas generales que se deben seguir para la evaluación de la vulnerabilidad conforme lo establece el Decreto 1807 de 2014, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, compilado en el Decreto Único Reglamentario 1077 de 2015. y que a saber 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.
- Zonificación de la vulnerabilidad.

El desarrollo del análisis de vulnerabilidad se adelanta acorde lo expuesto metodológicamente por la Guía SGC que además contiene lo mínimo exigido en el anexo técnico contractual.

Para evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones y las redes de servicios se consideran tres escenarios que a saber son:

- Condición actual de amenaza, escenario pseudoestático.
- Condición futura de amenaza.
- Con acciones de reducción del riesgo

3.5.1 GENERALIDADES DE LOS SECTORES OBJETO DE ESTUDIO - CONTEXTO SOCIAL Y FISICO – BARRIO SIERRA MORENA

Sierra Morena es un barrio de la Localidad 19 Ciudad Bolívar (sur de Bogotá), perteneciente a la UPZ 69 Ismael Perdomo. Comparte la zona de código postal 111921 y se ubica en una franja de ladera alta en el borde suroccidental de la ciudad, sirviendo de límite territorial y funcional con el municipio de Soacha (sector Cazucá) y en proximidad con los sectores de Perdomo, Santo Domingo y Tres Esquinas.

3.5.1.1 Características físicas e infraestructura

Topografía y gestión del riesgo: Se sitúa sobre una topografía de ladera alta con pendientes pronunciadas en la franja sur y suroccidental de la UPZ Ismael Perdomo. Según el diagnóstico e

inventarios del IDIGER, la zona presenta áreas clasificadas en monitoreo por amenaza potencial de remoción en masa y procesos de escorrentía superficial en épocas de alta precipitación. En el sector, la Alcaldía Local de Ciudad Bolívar, el IDIGER y la Unidad de Mantenimiento Vial (UMV) han adelantado obras de mitigación, perfilamiento de taludes, muros de contención y estabilización geotécnica.

Estratificación y tipología habitacional: Corresponde de manera predominantemente a los estratos 1 y 2. Su desarrollo urbano combina sectores originados por autoconstrucción progresiva (viviendas de 2 a 4 pisos construidas en mampostería) con conjuntos y desarrollos urbanísticos consolidados y procesos de legalización y regularización del suelo promovidos por la Secretaría Distrital de Planeación (SDP).

Malla vial y movilidad: Presenta una red vial con vías en pendiente que han sido objeto de intervenciones de pavimentación y mantenimiento por programas locales (como las transversales y carreras que conectan con la Calle 68 Sur y la Carrera 73H Bis). La accesibilidad y movilidad se articulan a través de rutas zonales del SITP que conectan de manera directa hacia la Avenida Villavicencio, la Autopista Sur, la Estación General Santander y el Portal Sur de TransMilenio.

Servicios públicos y equipamientos: Registra cobertura en servicios públicos domiciliarios a cargo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Enel Colombia, Vanti y la UAESP. En cuanto a equipamientos sociales e infraestructura pública, el sector cuenta con instituciones educativas públicas (como el Colegio Sierra Morena I.E.D.), el Comedor Comunitario Sierra Morena (operado por la Secretaría Distrital de Integración Social), el parque vecinal Sierra Morena y salones comunales.

3.5.1.2 Características sociales

Perfil demográfico y socioeconómico: Presenta una población compuesta principalmente por familias de estratos socioeconómicos bajos y vulnerables. La Población Económicamente Activa (PEA) se vincula mayoritariamente al trabajo informal, actividades independientes, comercio al por menor de escala local, servicios generales, construcción y manufactura no calificada.

Organización comunitaria: Posee una Junta de Acción Comunal (JAC) con personería jurídica activa ante el IDPAC y la Secretaría Distrital de Gobierno. La comunidad participa en los encuentros ciudadanos y en la asignación de recursos públicos mediante los Presupuestos Participativos de la Alcaldía Local de Ciudad Bolívar, priorizando infraestructura vial, espacios deportivos y programas sociales.

Seguridad y convivencia: Registra dinámicas complejas de convivencia, uso abusivo del espacio público, microtráfico y delitos contra la propiedad asociados a su condición de barrio periférico de frontera urbana. Las problemáticas se abordan a través del modelo de patrullaje por cuadrantes de la Policía Metropolitana de Bogotá, frentes de seguridad comunitaria y la presencia de gestores de convivencia de la Secretaría Distrital de Gobierno.

3.5.1.3 Estructura poblacional por edad y género

Composición por sexo: Registra una estructura donde entre el 50,6% y el 51,4% de la población son mujeres y entre el 48,6% y el 49,4% son hombres, acorde con el perfil demográfico general de la UPZ Ismael Perdomo.

Distribución etaria: Refleja una pirámide demográfica predominantemente joven:

- **Primera infancia e infancia (0 a 11 años):** Representa aproximadamente el 21% al 23% de los habitantes del barrio.
- **Juventud (12 a 28 años):** Agrupa cerca del 26% al 29% de la población.
- **Adultez (29 a 59 años):** Corresponde al grupo de mayor volumen, concentrando entre el 39% y el 42%.

- **Persona mayor (60 años o más):** Constituye entre el 8% y el 10% del total poblacional, con demandas focalizadas en subsidios económicos, nutricionales y servicios de salud.

Tipología y Conformación de los Hogares

Tamaño promedio del hogar: En la UPZ 69 Ismael Perdomo y en el sector de Sierra Morena, el tamaño promedio oscila entre 3,5 y 3,9 personas por hogar, superando la media del Distrito Capital.

Estructura familiar:

- **Hogares nucleares:** Constituyen entre el 63% y el 66% (parejas con o sin hijos).
- **Hogares extensos:** Representan aproximadamente del 20% al 23%, caracterizados por la cohabitación de abuelos, tíos o parientes para compartir gastos de arriendo y mantenimiento del hogar.

Jefatura de hogar: Alrededor del 41% al 44% de los hogares tienen jefatura femenina, lo cual demanda la oferta institucional del Sistema Distrital de Cuidado y programas de apoyo a madres cabeza de familia.

Educación y Capital Humano

Nivel predominante de la PEA es básica secundaria/media; primaria relevante; acceso a formación técnica/superior más limitado. Tasa de alfabetismo en población mayor de 15 años generalmente superior al 94 %, con brechas residuales en adultos mayores.

Nivel educativo alcanzado:

- **Básica secundaria y media:** Es el nivel educativo predominante en la población en edad de trabajar, abarcando entre el 41% y el 49%.
- **Básica primaria:** Representa entre el 28% y el 34%.
- **Educación superior o técnica:** Entre el 11% y el 16% de los residentes registra estudios técnicos, tecnológicos o profesionales, condicionado por las barreras de acceso a la educación superior en sectores periféricos.
- **Alfabetismo:** La tasa de alfabetismo en personas mayores de 15 años supera el 94%, focalizándose los mayores retos en los adultos mayores.

Inclusión, Diversidad y Enfoque

Diferencial

- **Población víctima del conflicto y desplazamiento:** Sierra Morena se identifica como un sector receptor de población en condición de desplazamiento forzado interno y víctimas del conflicto armado registradas en la Red Nacional de Información (RNI).

- **Pertenencia étnica:** Se registra la presencia de comunidades afrodescendientes e indígenas reubicadas que participan en las dinámicas comunitarias e institucionales del sector.

Afiliación al Sistema de Salud: Predomina ampliamente el Régimen Subsidiado de Salud mediante el sistema SISBÉN (categorías A y B), con atención en salud gestionada por la red pública de la Subred Integrada de Servicios de Salud Sur E.S.E. (incluyendo la UBA Perdomo y centros de salud de la zona).

3.5.1.4 Identificación y caracterización de elementos expuestos

El proceso de inestabilidad en el sector de Sierra Morena se origina por la configuración de un talud de corte vial desconfinado, donde interactúan depósitos coluviales y rocas de la Formación Guaduas. Debido a la exposición a la intemperie y a la falta de estructuras de drenaje, se presenta una severa meteorización

diferencial que provoca el desleimiento de las arcillolitas y el lavado continuo de la matriz areno-arcillosa. Esto elimina el soporte basal de los estratos, dejando en voladizo fragmentos y bloques angulares de arenisca de hasta 1 metro de diámetro, los cuales terminan desprendiéndose por la acción de la gravedad.

Una vez ocurre el desprendimiento desde la corona y el escarpe subvertical del talud, los bloques y detritos inician un recorrido directo ladera abajo hacia la vía. Este movimiento es súbito y violento, alcanzando velocidades que superan los 5 metros por segundo, lo que clasifica el fenómeno como de velocidad rápida a extremadamente rápida (clases 5 a 7 en la escala de Cruden & Varnes). La distancia del viaje comprende toda la altura del corte expuesto, culminando en la acumulación de los materiales rocosos y finos en forma de lóbulos de deslizamiento depositados directamente sobre la calzada.

Esta intensa dinámica de caída de rocas y retroceso progresivo de la corona conforma un escenario de alta amenaza para los elementos expuestos del sector. El elemento más directo y vulnerable son los vehículos y las personas que transitan sobre la vía ubicada en la pata del talud (Diagonal 75 Sur o 75B Sur), quienes se exponen al impacto directo de las rocas y al bloqueo del corredor. Adicionalmente, el retroceso del escarpe pone en riesgo las infraestructuras de las viviendas ubicadas en la parte alta del corte y compromete las redes de servicios públicos al privarlas de su soporte lateral natural.

Viviendas: Las edificaciones observadas presentan un patrón típico de vivienda de desarrollo progresivo o autoconstrucción, emplazadas de manera densificada y escalonada sobre la corona y los flancos de un escarpe con pendiente severa. Estas estructuras, que varían entre uno y cuatro niveles de altura, muestran un estado de conservación funcional aparentemente bueno, al estar plenamente habitadas y mantener sus envolventes exteriores; sin embargo, su materialidad y sistema estructural revelan deficiencias críticas. Predomina el uso de muros cargueros en mampostería de bloque hueco de arcilla con un confinamiento deficiente o nulo, evidenciado por la notoria ausencia de columnas verticales y vigas de amarre horizontales continuas que aten los niveles y las cubiertas ligeras.

De acuerdo con fuentes oficiales y normativas de construcción (reglamento sismorresistente NSR-10), esta carencia técnica clasifica a las viviendas como tipologías de alta vulnerabilidad ante sismos por riesgo de colapso frágil; una condición que, sumada a la implantación sobre terrenos fuertemente inclinados y la alteración del talud, configura un escenario de alto riesgo consolidado frente a la amenaza combinada de sismicidad y movimientos en masa. Ver la siguiente fotografía:



Figura 104. Predios objeto de análisis de Vulnerabilidad.

- **Vías:** La Diagonal 75 Sur (o 75B Sur) es un corredor vial urbano de calzada única bidireccional, con un ancho vehicular aproximado de 10 metros, y un total incluyendo andenes y cunetas de 15 metros, cuyo trazado en curva bordea directamente la pata del talud de corte expuesto. Su superficie de rodadura está construida en pavimento rígido conformado por losas de concreto hidráulico, un material

idóneo para soportar las cargas vehiculares constantes que normativamente se estiman en una sobrecarga de 15 kPa. La sección transversal de la vía se complementa con diversos elementos de infraestructura, incluyendo un andén exterior amplio acabado en adoquín de arcilla con losetas táctiles para accesibilidad, un andén interno más estrecho en concreto adyacente al escarpe, y un sistema de drenaje superficial compuesto por cunetas y sardineles laterales. Finalmente, el corredor está equipado con postes de alumbrado público, señalización vertical preventiva (como chevrones direccionales) y elementos temporales de contención vial, específicamente barreras tipo New Jersey, dispuestas sobre la calzada como medida paliativa frente a la constante caída de rocas y detritos desde el talud.



Figura 105. Infraestructural vial Diagonal 75 Sur.

- **Redes de servicios públicos:** Dentro del área de estudio, se identificaron las siguientes redes de servicios públicos a partir de la visita de campo y de la información secundaria suministrada por las entidades competentes:

  - **Alcantarillado sanitario:** Se observaron pozos de inspección en mal estado, colmatados y sin funcionamiento en la parte alta del escarpe del área de estudio. De acuerdo con la información secundaria, la tubería es de concreto de 8 pulgadas de diámetro. No se identificó red de alcantarillado pluvial.

  - **Energía eléctrica de baja tensión:** La red cuenta con postes de concreto de aproximadamente 12 metros de altura, junto con iluminación pública a lado y lado de la Diagonal 75 Sur.

  - **Acueducto (agua potable):** No estan expuestas al proceso analizado.

  - **Gas natural y telecomunicaciones:** No estan expuestas al proceso analizado.

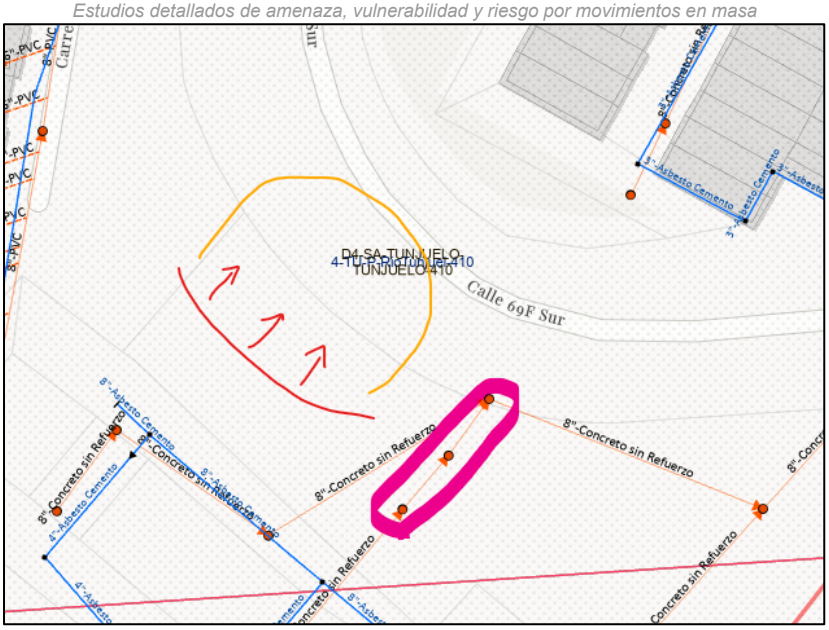


Figura 106. Redes EAAB (La red Sanitaria, de conformidad con la Información suministrada, se encuentra en mal estado, pozos marcados en morado. Escarpe en rojo y viaje del proceso en naranja).

En conclusión, si bien en la actualidad las edificaciones y las redes de servicios públicos ubicadas en la corona del talud no se encuentran expuestas al impacto directo por el desprendimiento y caída de bloques, su integridad estructural se puede llegar a ver amenaza en un largo plazo. La dinámica de este fenómeno de inestabilidad es de carácter retrogresivo; esto significa que la meteorización diferencial, el lavado continuo de la matriz y el desprendimiento constante de rocas generan un avance progresivo del escarpe ladera arriba. De no implementarse intervenciones y obras de estabilización oportunas, esta constante pérdida de soporte lateral y basal terminará por socavar los cimientos, comprometiendo de manera irreversible la estabilidad de las redes y de las viviendas emplazadas de forma escalonada en la parte alta del corte.

Por su parte, la vía Diagonal 75 Sur constituye el principal elemento expuesto de manera inmediata frente al pie del escarpe. Aunque la estructura física del pavimento rígido (losas de concreto) posee la resistencia necesaria para no sufrir daños estructurales tras el impacto, la afectación sobre la operatividad y funcionalidad del corredor es crítica. La amenaza directa recae sobre la seguridad vial y la transitabilidad: debido a que los bloques de arenisca (que pueden alcanzar hasta 1 metro de diámetro) caen con velocidades extremadamente rápidas y trayectorias directas, el tiempo de reacción para los usuarios es prácticamente nulo.

En consecuencia, los vehículos y peatones que circulan por este tramo enfrentan una vulnerabilidad muy alta, existiendo una probabilidad inminente de accidentes severos, traumatismos y la potencial pérdida de vidas humanas, ya sea por el impacto directo de las rocas o por colisiones contra los lóbulos de detritos acumulados sobre la calzada.

3.5.2 EVALUACIÓN DE LA FRAGILIDAD

Con base en los requerimientos del Decreto 1807 de 2014 compilados en el Decreto 1077 de 2015, la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombiano en el año 2015 y la Metodología de Evaluación de Riesgo por FRM a Nivel de Detalle por JAM Ingeniería Y Medio Ambiente en el año 2006. Se presenta la evaluación de la Fragilidad para el elemento expuesto (Vía Diagonal 75 Sur).

Fragilidad de las Líneas Vitales

De conformidad con la Guia del Servicio Geológico Colombiano, para las líneas vitales expuestas se tiene lo siguiente:

- **Vía:** Para la Diagonal 75 Sur la fragilidad está dada por S_{ancho} = 3,0 /W_{via} = 3/10 = 0.3 (fragilidad baja), esto en la medida que pierde parte de su movilidad.

3.5.3 INTENSIDAD DEL EVENTO

Parámetros y Consideraciones Iniciales

Para calcular las distancias, velocidades y energías involucradas, primero determinamos las propiedades del bloque y la geometría básica:

- **Talud:** Altura $(H) = 25$ m; Pendiente $(\alpha) = 70\%$ (que equivale a un ángulo de $\approx 35°$, ya que $\tan(35°) \approx 0.70$).
- **Bloque de Arenisca:** Diámetro $(D) = 1$ m. Asumiendo forma esférica, el volumen es $V = \frac{\pi \cdot D^3}{6} \approx 0.524$ m^3.
- **Masa (m):** Con una densidad típica de la arenisca de 2500 kg/m^3, la masa es $m = 0.524 \cdot 2500 \approx 1310$ kg.
- **Geometría vial:** Ancho andén/cuneta (W_{aisl}) = 2.5 m; Ancho calzada útil (W_{efec}) = 10 m.

Cálculo de la Distancia de Viaje (L_p)

Existen varios enfoques empíricos para estimar la distancia de viaje de una roca (como el Principio de Fahrböschung o ángulo de sombra).

- **Distancia horizontal propia del talud (L_s):**

$$L_s = \frac{H}{\text{Pendiente}} = \frac{25}{0.70} \approx 35.7 \text{ m}$$

- **Alcance máximo horizontal (L_{total}):** Usando un ángulo de sombra conservador para rocas duras cayendo sobre pavimento ($\approx 28°$):
-

$$L_{total} = \frac{H}{\tan(28°)} = \frac{25}{0.5317} \approx 47.0 \text{ m}$$

- **Distancia de viaje desde la pata del talud (L_p):**

$$L_p = L_{total} - L_s = 47.0 - 35.7 = 11.3 \text{ m}$$

Cálculo de la Intensidad de Amenaza (I_{dist})

De acuerdo con la ecuación (4-11) del SGC, 2015, aplicamos los datos:

$$I_{dist} = \frac{L_p}{W_{aisl} + W_{efec}}$$

$$I_{dist} = \frac{11.3}{2.5 + 10} = \frac{11.3}{12.5} = 0.904$$

Interpretación: El bloque invade el 90.4% del ancho total disponible (andén más vía), lo que significa que cruza completamente el andén y se detiene casi al otro extremo de la calzada, obstaculizando drásticamente el flujo vehicular. Intensidad del Evento Alta.

3.5.4 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA

Cálculo de Energía e Impactos Esperados
La energía destructiva depende de la conservación de la energía, considerando una pérdida asumida del 40% en el talud debido a rebotes y fragmentación (coeficiente de restitución):

- **Energía Potencial inicial (E_p):** $m \cdot g \cdot H = 1310 \cdot 9.81 \cdot 25 \approx 321{,}277$ J ≈ 321.3 kJ.

- **Energía Cinética al pie del talud / andén (E_{c1}):** $321.3 \cdot 0.60 \approx 193$ kJ.
  (Velocidad ≈ 17.1 m/s*, es decir, unos* 61 km/h*).*

- **Energía al inicio de la calzada vehicular (E_{c2}):** Al rodar los 2.5 m del andén, la roca pierde energía por fricción (asumiendo $\mu \approx 0.4$). La pérdida de trabajo es $W = 0.4 \cdot 1310 \cdot 9.81 \cdot 2.5 \approx 13$ kJ. Energía remanente: $193\text{-}13 = 180$ kJ.

Afectación según el elemento expuesto:

- **Impacto contra una persona en el andén:** Recibir un impacto con una energía de 193 kJ es catastrófico. Físicamente, equivale a ser arrollado de frente por un vehículo compacto a 61 km/h. El impacto directo o por esquirlas generaría un trauma contundente, fracturas múltiples y aplastamiento, traduciéndose en una fatalidad segura.

- **Impacto contra un vehículo de transporte público en la vía (SITP):** Una energía de 180 kJ chocando contra el lateral de un autobús urbano causaría daños severos. Tiene la capacidad de perforar el blindaje de la carrocería, destruir el habitáculo de pasajeros y, dada la masa del bloque y la energía transferida, podría inducir a la pérdida total de control del vehículo, volcamiento secundario, ocasionando múltiples fatalidades y heridas de gravedad extrema a los ocupantes.

3.5.5 CATEGORIZACION Y ZONIFICACION DE LA VULNERABILIDAD

Por los análisis anteriores realizados, la vulnerabilidad física corporal es Alta. La vulnerabilidad de los vehículos que transitan es Alta.

3.6 ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA. DEFINICIÓN DEL RIESGO

Conceptualmente definimos la Vulnerabilidad y Riesgo como:

V = **E**xposición **/ (S)** resistencia del elemento, entonces

R = A x (E/ S)

Con estas definiciones simplificadas se deduce que:

- A mayor exposición del elemento frente al evento amenazante mayor es su vulnerabilidad.

- La vulnerabilidad del elemento se reduce si la resistencia o capacidad de respuesta de este frente al evento amenazante es mayor.
- El riesgo es directamente proporcional a la amenaza, en términos de su probabilidad de ocurrencia y capacidad de daño, y la vulnerabilidad, en consecuencia, cuando la magnitud de daño esperado y la exposición del elemento es mayor, el riesgo tiende a aumentar, de igual manera con la probabilidad de que ocurra el evento. A diferencia, el riesgo disminuye si se reduce la espacialidad y/o magnitud del evento amenazante, si se elimina la exposición del elemento, o bien si se aumenta la capacidad de respuesta de este.

Conceptualmente, el riesgo asociado a las pérdidas económicas se estima en función de los costos por el daño esperado y de recuperación, por lo menos de las condiciones originales de habitabilidad, pero mejorando las condiciones de seguridad, en este caso construcciones seguras.

El modo de daño conforme el análisis presentado para el evento de flujo analizado corresponde principalmente al arrastre de las estructuras y/o edificaciones o a la pérdida de los cimientos o pérdida de la base al estar muy cercanos a la corona de la margen o sobre el cauce. Lo que se traduce en colapso estructural, parcial o total. Los daños esperados están en función de las alturas de la lámina de agua y de la velocidad del flujo, sin embargo, la mayoría de las edificaciones, como ya se presentó en el numeral de vulnerabilidad, corresponden a edificaciones de muros cargueros en mampostería, y su resistencia frente a este evento analizado es media a baja, por tanto, su fragilidad tiende a ser media, principalmente por movimientos en masa. Por lo tanto, se esperan daños sobre parte de la infraestructura y en bienes y enseres.

3.6.1 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR EL RIESGO

En este aparte la propuesta es conceptual, en la medida que la Amenaza es Alta, evento frecuente y con una magnitud de impacto alta (intensidad), muy puntual donde los elementos expuestos son los vehículos y personas, altamente frágiles, y donde el mayor impacto no es económico, es la integridad física de las personas y la vida.

3.6.2 EVALUACIÓN DE RIESGO

En conclusión, de llegarse a materializar el evento, el menor impacto está asociado a pérdida temporal y parcial de la movilidad en el sector, sin embargo, el mayor impacto está asociado a la pérdida de vidas humanas, por ende, se considera Alto Riesgo.

4 DISEÑO DE MEDIDAS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO

4.1 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CON OBRAS

La verificación de las medidas de mitigación no se limita a la configuración final de la obra si no a todas aquellas consideraciones asociadas al proceso constructivo, por ende, se evalúan dos etapas independientes: la etapa durante la construcción y la etapa con obras definitivas para generar la estabilización definitiva y drenaje. Ambas etapas se analizan con el mismo modelo geológico-geotécnico y los mismos cuatro escenarios de solicitación empleados en la evaluación de la condición actual de amenaza.

4.1.1 ESCENARIOS Y MODELOS DE ANÁLISIS

Los análisis se desarrollaron con el software Slide en su versión bidimensional, mediante métodos de equilibrio límite generalizado, sobre las secciones de análisis del polígono. Los modelos incorporan la estratigrafía descrita en este documento y los pernos pasivos definidos como soporte tipo Soil Nail con aplicación pasiva. El efecto del agua se representa mediante el coeficiente de presión de poros Ru y no mediante una superficie freática: En la condición saturada se asigna Ru = 0,5 a los materiales de suelo y Ru = 0,27 a la Formación Guaduas; en la condición seca, Ru = 0 en todos los materiales. La sobrecarga superficial es q = 15 kPa y el coeficiente sísmico KST = 0,144 g. La búsqueda de superficies se realizó sin restricción de forma, verificando tanto los mecanismos que involucran la estructura como los que se desarrollan por debajo de la cimentación.

Tabla 85. Escenarios de análisis y coeficientes de presión de poros adoptados.

Escenario	Condición de agua	Sismo	Ru – suelos	Ru – Fm. Guaduas	Condición Res. 111 de 2022
1	Saturado	No	0,5	0,27	Normal de agua y sin sismo
2	Seco	No	0	0	Normal de agua y sin sismo
3	Saturado	Sí (KST = 0,144)	0,5	0,10	Extrema de agua y con sismo
4	Seco	Sí (KST = 0,144)	0	0	Extrema de agua y con sismo

Fuente: Elaboración propia con base en los numerales 3.3.1.3 y 3.3.3.

Tabla 86. Modelos de análisis de las etapas durante la construcción y con obras.

Etapa	Escenario	Condición	FS requerido
Durante construcción	5	Estático seco	1,25
Durante construcción	6	Pseudoestático seco	1,00
Con obras	7	Estático seco	1,50
Con obras	8	Pseudoestático seco	1,10

Fuente: Elaboración propia.

Los archivos de los modelos se entregan en las subcarpetas E.6.03 y E.6.04 del anexo E.6 – Modelos Slide, según la etapa correspondiente.

4.1.2 ETAPA DE CONDICIÓN ACTUAL

El análisis de condición actual es la metodología por medio de la cual se puede verificar el comportamiento del talud bajo las condiciones actuales, las cuales se describen en el apartado anterior y cuyas características se definen por los escenarios 1, 2, 3 y 4 las cuales se ilustran a continuación.

Tabla 87. Factores de seguridad - Condición actual.

Escenario	Condición	FS obtenido	FS requerido	Cumple
1	Estático seco	0.743	1.5	No cumple
2	Estático saturado	0.038	1.5	No cumple
3	Pseudoestático seco	0.561	1.1	No cumple
4	Pseudoestático saturado	0.09	1.1	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

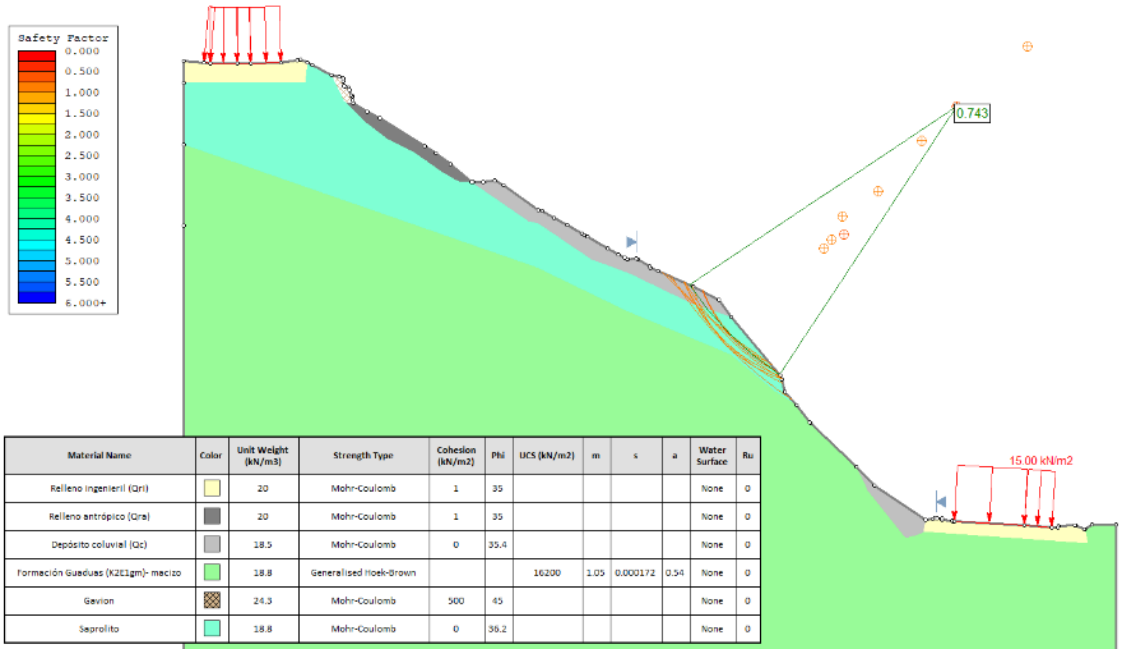
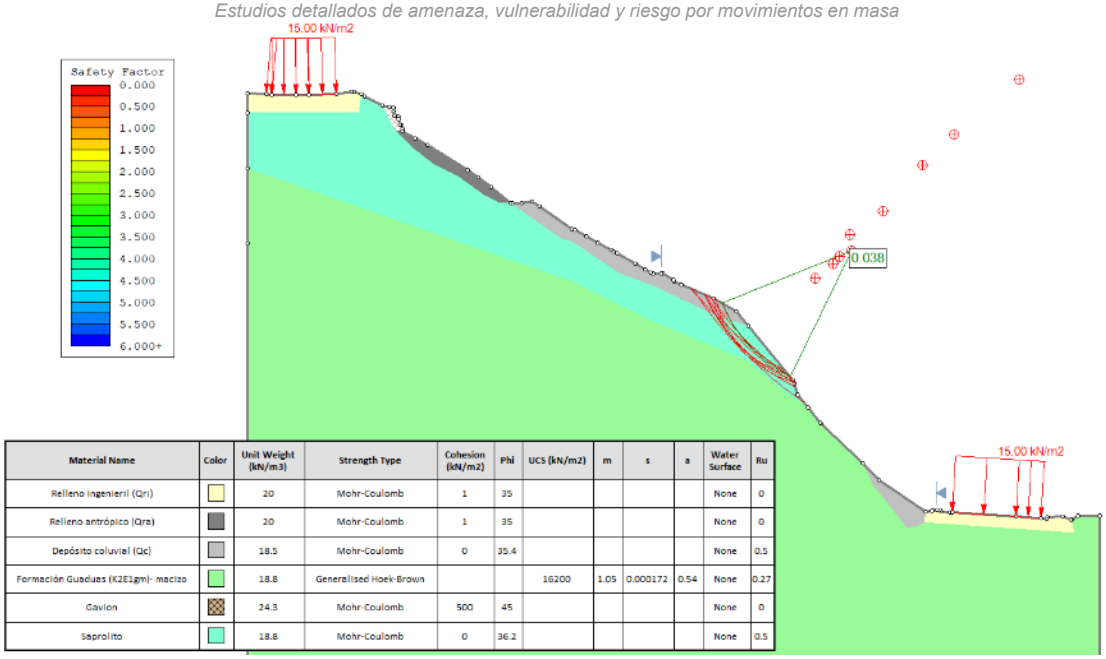


Figura 107. Análisis de estabilidad - Estático seco (Sección A)

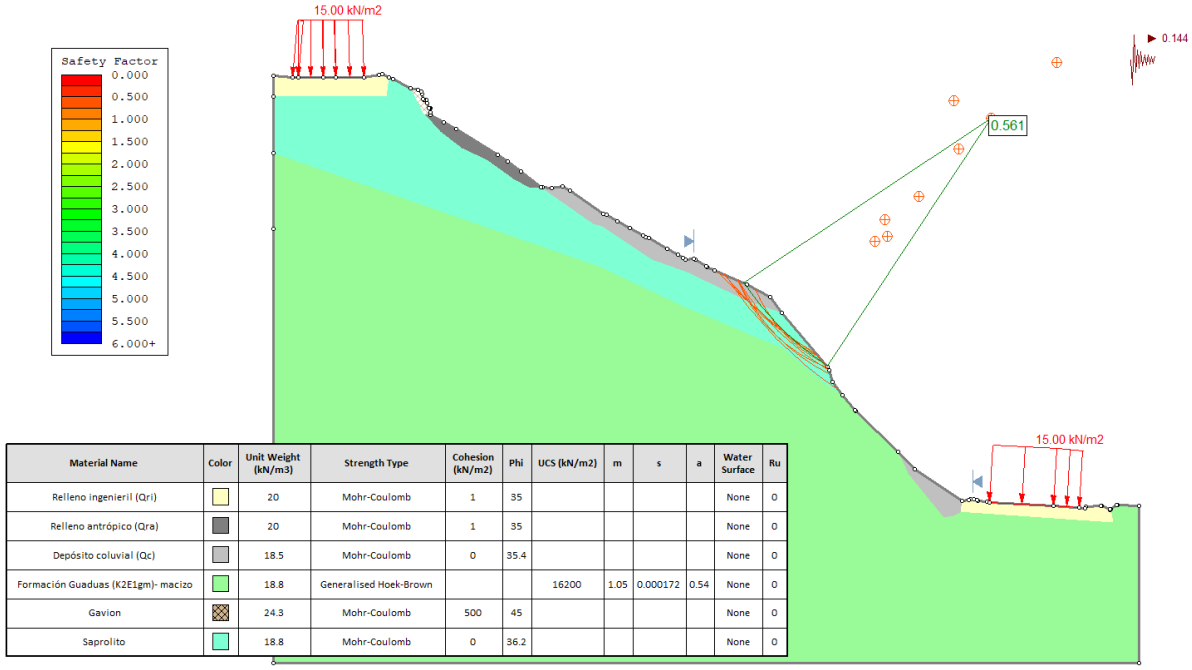
Fuente: Elaboración propia.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a	Water Surface	Ru
Relleno ingenieril (Qri)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Relleno antrópico (Qra)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Depósito coluvial (Qc)		18.5	Mohr-Coulomb	0	35.4					None	0.5
Formación Guaduas (K2E1gm)- macizo		18.8	Generalised Hoek-Brown			16200	1.05	0.000172	0.54	None	0.27
Gavion		24.3	Mohr-Coulomb	500	45					None	0
Saprolito		18.8	Mohr-Coulomb	0	36.2					None	0.5

Figura 108. Análisis de estabilidad - Estático saturado (Sección A)

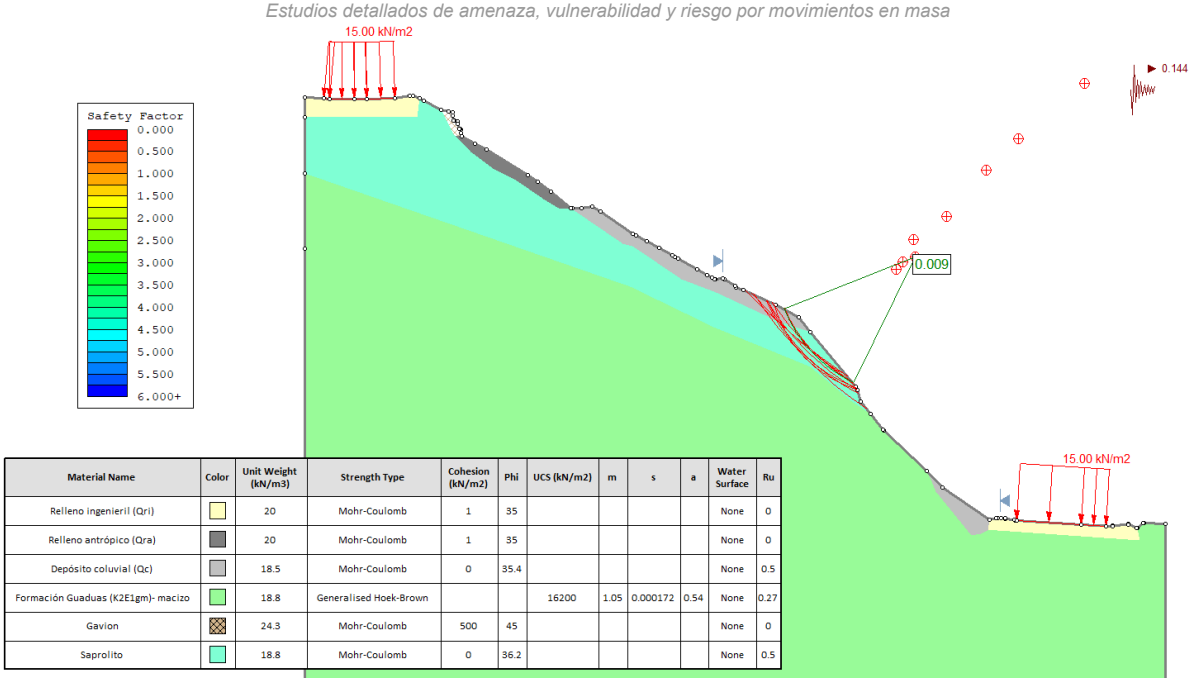
Fuente: Elaboración propia.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a	Water Surface	Ru
Relleno ingenieril (Qri)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Relleno antrópico (Qra)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Depósito coluvial (Qc)		18.5	Mohr-Coulomb	0	35.4					None	0
Formación Guaduas (K2E1gm)- macizo		18.8	Generalised Hoek-Brown			16200	1.05	0.000172	0.54	None	0
Gavion		24.3	Mohr-Coulomb	500	45					None	0
Saprolito		18.8	Mohr-Coulomb	0	36.2					None	0

Figura 109. Análisis de estabilidad - Pseudoestático seco (Sección A)

Fuente: Elaboración propia.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a	Water Surface	Ru
Relleno ingenieril (Qri)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Relleno antrópico (Qra)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Depósito coluvial (Qc)		18.5	Mohr-Coulomb	0	35.4					None	0.5
Formación Guaduas (K2E1gm)- macizo		18.8	Generalised Hoek-Brown			16200	1.05	0.000172	0.54	None	0.27
Gavion		24.3	Mohr-Coulomb	500	45					None	0
Saprolito		18.8	Mohr-Coulomb	0	36.2					None	0.5

Figura 110. Análisis de estabilidad - Pseudoestático saturado (Sección A)

Fuente: Elaboración propia.

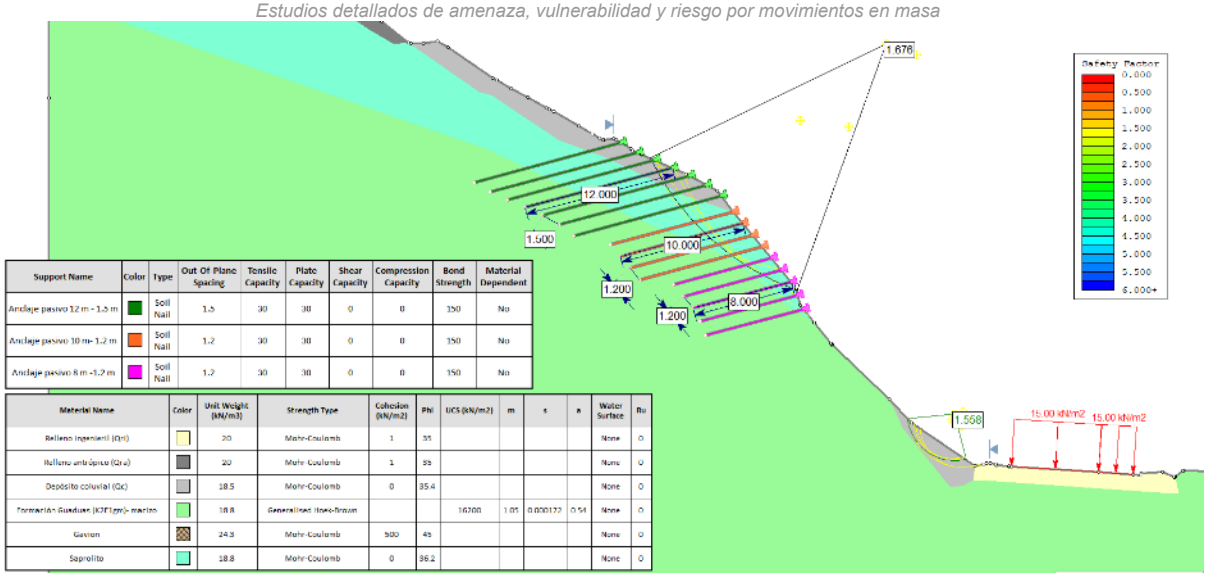
4.1.3 ETAPA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

La etapa durante la construcción corresponde a la configuración descrita en el proceso constructivo, conformada por el sector superior estabilizado con biomanto, malla de alambre de acero G65 de alta resistencia y geotextil, sostenido con barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, de longitud y distribución variables por zona, inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud y capacidad de diseño de 30 kN por elemento. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla y la modelación correspondiente se ilustra en las figuras siguientes.

Tabla 88. Factores de seguridad – etapa durante la construcción.

Escenario	Condición	FS obtenido	FS requerido	Cumple
5	Estático seco (Ru = 0)	1.67	1,25	Cumple
6	Pseudoestático seco (Ru = 0)	1.44	1,00	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

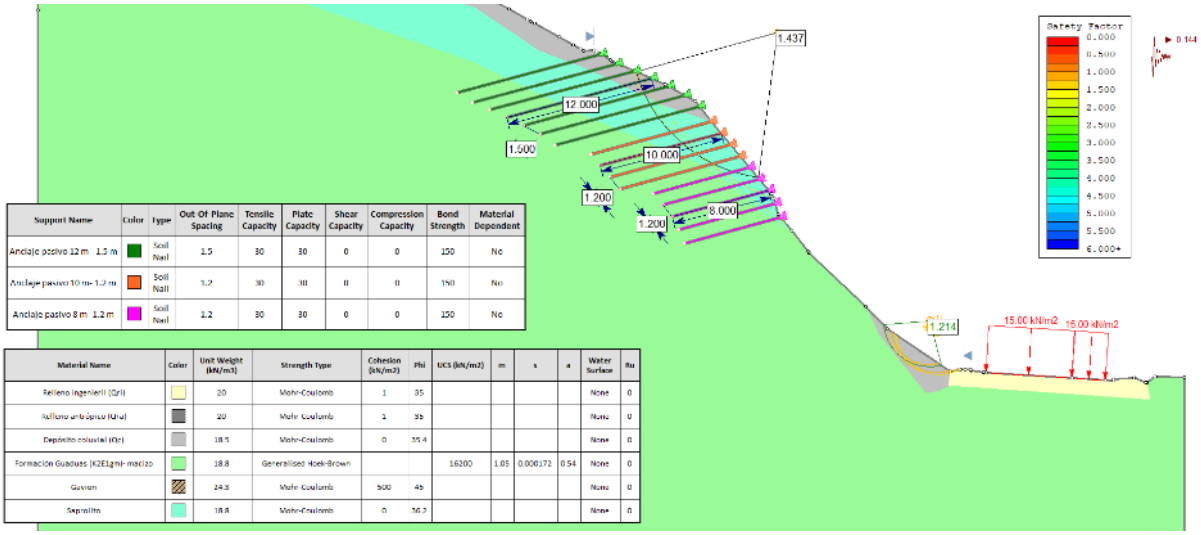


Support Name	Color	Type	Out Of Plane Spacing	Tensile Capacity	Plate Capacity	Shear Capacity	Compression Capacity	Bond Strength	Material Dependent
Anclaje pasivo 12 m - 1.5 m		Soil Nail	1.5	30	30	0	0	150	No
Anclaje pasivo 10 m- 1.2 m		Soil Nail	1.2	30	30	0	0	150	No
Anclaje pasivo 8 m -1.2 m		Soil Nail	1.2	30	30	0	0	150	No

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a	Water Surface	Ru
Relleno ingeniería (Qrl)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Relleno antrópico (Qra)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Deposito coluvial (Qc)		18.5	Mohr-Coulomb	0	35.4					None	0
Formación Guaduas (K2Eg)- macizo		18.8	Generalised Hoek-Brown			16200	1.05	0.000172	0.54	None	0
Gavion		24.3	Mohr-Coulomb	500	45					None	0
Saprolito		18.8	Mohr-Coulomb	0	36.2					None	0

Figura 111. Análisis de estabilidad – etapa durante la construcción (Estático seco (Ru = 0)) (Sección A)

Fuente: Elaboración propia.



Support Name	Color	Type	Out Of Plane Spacing	Tensile Capacity	Plate Capacity	Shear Capacity	Compression Capacity	Bond Strength	Material Dependent
Anclaje pasivo 12 m - 1.5 m		Soil Nail	1.5	30	30	0	0	150	No
Anclaje pasivo 10 m- 1.2 m		Soil Nail	1.2	30	30	0	0	150	No
Anclaje pasivo 8 m - 1.2 m		Soil Nail	1.2	30	30	0	0	150	No

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	UCS (kN/m2)	m	s	a	Water Surface	Ru
Relleno ingeniería (Qrl)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Relleno antrópico (Qra)		20	Mohr-Coulomb	1	35					None	0
Deposito coluvial (Qc)		18.5	Mohr-Coulomb	0	35.4					None	0
Formación Guaduas (K2Eg)- macizo		18.8	Generalised Hoek-Brown			16200	1.05	0.000172	0.54	None	0
Gavion		24.3	Mohr-Coulomb	500	45					None	0
Saprolito		18.8	Mohr-Coulomb	0	36.2					None	0

Figura 112. Análisis de estabilidad – etapa durante la construcción (Pseudoestático seco (Ru = 0)) (Sección A)

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 ETAPA CON OBRAS

La etapa con obras corresponde a la configuración final: Zonas I a III con biomanto, malla G65 y geotextil, y Zona IV con concreto lanzado de 0,10 m de espesor reforzado con malla electrosoldada, sostenidos con barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento y sin postensado; en la Zona IV los elementos tienen 1,50 m de longitud y se disponen al tresbolillo en malla de 2,50 × 2,50 m. En esta etapa se verifica el cumplimiento de los factores de seguridad de la

Resolución 111 de 2022 del IDIGER, que constituyen la condición de aceptación de la medida de mitigación.

Tabla 89. Factores de seguridad – etapa con obras.

Escenario	Condición	FS obtenido	FS requerido	Cumple
7	Estático seco (Ru = 0)	1.58	1,50	Cumple
8	Pseudoestático seco (Ru = 0)	1.39	1,10	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

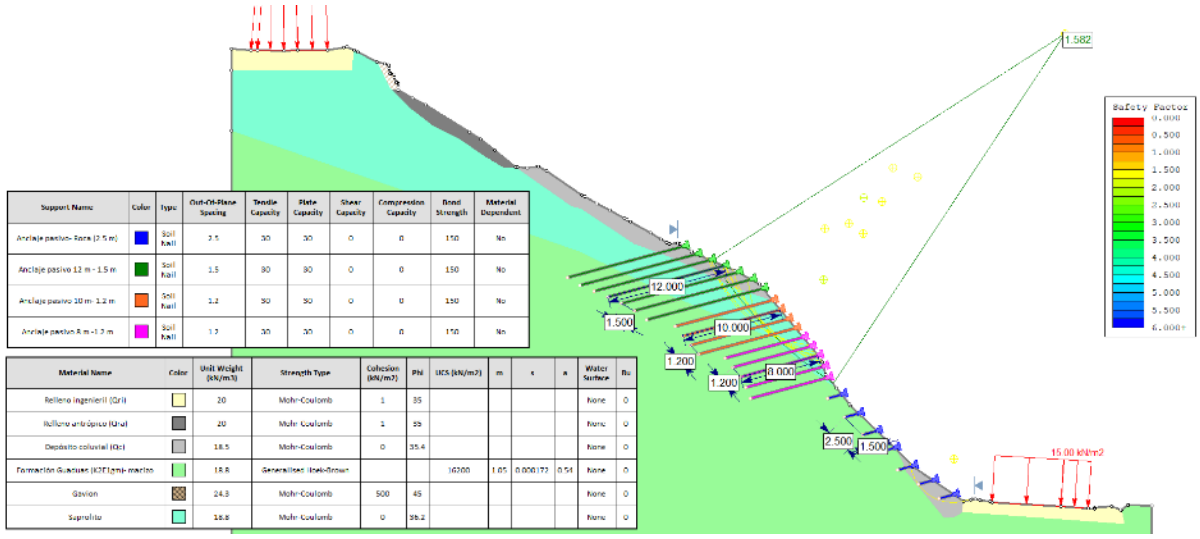


Figura 113. Análisis de estabilidad – obra (Estático seco (Ru = 0)) (Sección A)

Fuente: Elaboración propia.

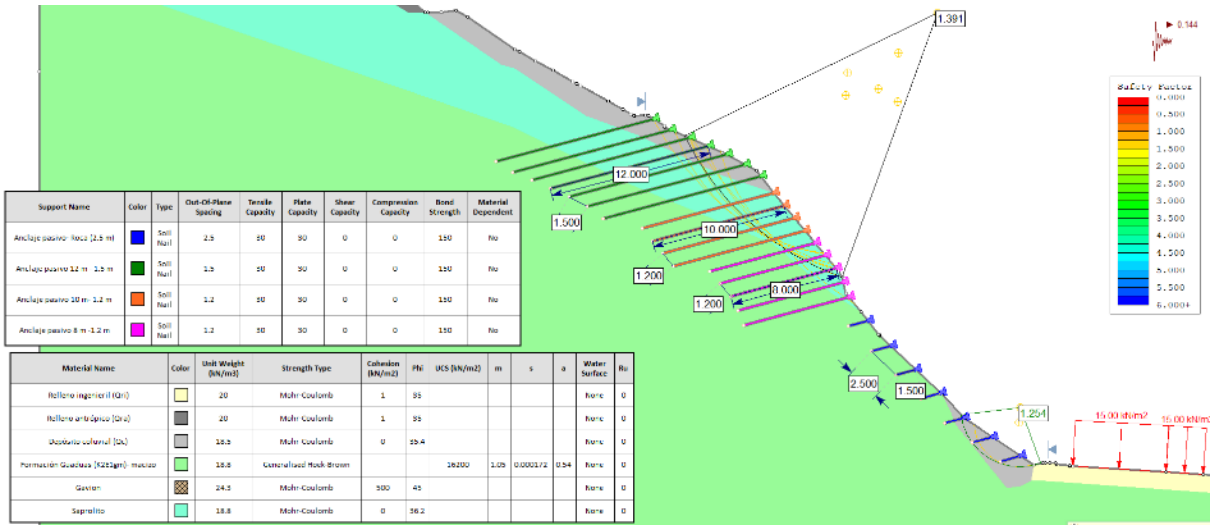


Figura 114. Análisis de estabilidad – obra (Pseudoestático seco (Ru = 0)) (Sección A)

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de seguridad de la condición actual corresponden a los reportados en el numeral 3.4, que clasificaron el sector en categoría de amenaza alta tanto en la condición normal de agua y sin sismo como en la condición extrema de agua y con sismo.

4.2 DISEÑO ESTRUCTURAL – OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO

4.2.1 ANÁLISIS DE INGENIERÍA DEL REVESTIMIENTO Y LOS ANCLAJES PASIVOS DEL CORTE VIAL

El presente numeral contiene el análisis de ingeniería de la medida de mitigación adoptada para el corte vial de Sierra Morena III, consistente en un revestimiento de concreto lanzado reforzado con malla, sostenido mediante anclajes pasivos de barra roscada completamente inyectados y dispuestos sobre la cara del corte en cuatro zonas de longitud y densidad diferenciadas. El análisis comprende la definición de la geometría y del alcance de la medida, los escenarios de análisis y los factores de seguridad exigidos, los parámetros de los materiales, el criterio de funcionamiento del anclaje pasivo, la configuración adoptada y los parámetros de ingreso al modelo, el chequeo explícito de los tres modos de falla del anclaje (falla de la barra o varilla, falla de la unión cementante-roca y falla de la unión entre el refuerzo y el cementante) junto con las verificaciones de la platina de reparto y del recubrimiento, el resumen del chequeo, las cantidades preliminares, la especificación definitiva, las recomendaciones constructivas y de control, y las limitaciones y verificaciones pendientes.

Los parámetros de resistencia, los pesos unitarios y los coeficientes de presión de poros se toman del modelo geológico-geotécnico del sitio; la localización y la geometría de las secciones de análisis, la caracterización sísmica y la sobrecarga de tránsito, así como los resultados de estabilidad y de categorización de la amenaza en condición actual, proceden de los capítulos precedentes del presente estudio; y los factores de seguridad de aceptación, de la Resolución 111 de 2022 del IDIGER. El dimensionamiento del anclaje pasivo y su verificación numérica corresponden a la memoria y a la hoja de verificación integral de anclajes pasivos elaboradas para este proyecto, y la verificación de la pantalla anclada, a los planos estructurales SMV-E-01 a SMV-E-03. La zonificación del sostenimiento sobre el frente del corte (número de zonas, longitud de los elementos, malla, número de filas y separaciones entre zonas) procede del esquema de despliegue suministrado por el proyecto, que se reproduce en la Figura 117. Los materiales, los elementos de soporte, las sobrecargas y el factor de seguridad de la condición con obras proceden del modelo de equilibrio límite elaborado para este numeral, que se reproduce en la Figura 118.

4.2.1.1 Geometría del corte y alcance de la medida

La medida se aplica al escarpe del corte vial localizado entre la Diagonal 75 Sur y la Calle 75A Sur, evaluado mediante tres secciones de análisis: dos secciones transversales al frente del talud, A-A' y B-B', y una sección longitudinal, C-C'. Las longitudes y orientaciones de las secciones se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 90. Secciones de análisis del corte vial de Sierra Morena III.

Sección	Longitud (m)	Orientación	Disposición respecto al frente del talud
A-A'	91,7	SW-NE	Transversal
B-B'	95,1	SW-NE	Transversal
C-C'	91,2	NW-SE	Longitudinal

Fuente: secciones de análisis definidas para el sitio en el presente estudio.

El sostenimiento se despliega sobre el frente del corte en cuatro zonas sucesivas, definidas según la posición de cada franja en el sentido de la máxima pendiente, desde el sendero peatonal de la corona hasta la calzada de la Diagonal 75 Sur en el pie. La Zona 1 ocupa la parte superior del frente, inmediatamente por debajo del sendero peatonal, y recibe los elementos de mayor longitud por ser la franja con mayor altura de terreno movilizable por encima de la superficie crítica. Las Zonas 2 y 3 ocupan la parte

intermedia y la parte inferior del frente y compensan la reducción de la longitud de los elementos con una malla más densa. La Zona 4 corresponde al tramo final próximo al pie del corte, donde el macizo de la Formación Guaduas aflora en superficie; en el modelo de estabilidad estos elementos se identifican como Anclaje pasivo Roca y reciben elementos cortos en malla amplia. las zonas conservan el mismo tipo de barra, el mismo diámetro de perforación, la misma inclinación, la misma capacidad de diseño por elemento y la misma condición de anclaje pasivo sin postensado.

4.2.1.2 Escenarios de análisis y factores de seguridad exigidos

Los escenarios de análisis y los coeficientes de presión de poros asociados son los definidos para el sitio en el modelo geológico-geotécnico, y se reproducen en la siguiente tabla. El modelo en condición con obras se resuelve por equilibrio límite en dos dimensiones con el programa Slide 6.0, mediante el método de Bishop simplificado, empleando el coeficiente Ru en lugar de una superficie freática explícita, conforme al procedimiento adoptado en la evaluación de la condición actual.

Tabla 91. Escenarios de análisis y coeficientes de presión de poros.

Escenario	Nivel freático	Sismo	Ru suelos y saprolito	Ru macizo
0. Condición actual representativa	In situ	No	0	0,28
1. Estático saturado	Sí	No	0,5	0,28
2. Estático seco	No	No	0	0
3. Pseudoestático saturado	Sí	Sí	0,5	0,28
4. Pseudoestático seco	No	Sí	0	0

Fuente: modelo geológico-geotécnico del presente estudio.

La acción sísmica se introduce mediante los coeficientes definidos para la zona de respuesta sísmica Cerros: aceleración máxima en superficie a_{max} = Ao = 0,18 g, coeficiente sísmico de diseño K_{st} = 0,80 · a_{max} = 0,144, de donde k_h = 0,144 g y k_v = ± 0,072 g.

La sobrecarga de tránsito se adopta con un valor uniforme q = 15 kPa, conforme al numeral H.5.1.2 de la NSR-10. En el modelo de estabilidad reproducido en la Figura 118 dicha sobrecarga se aplica en dos posiciones simultáneamente: sobre la plataforma de la corona, en el sector del sendero peatonal, y sobre la calzada de la Diagonal 75 Sur en el pie del corte. La primera constituye la acción desfavorable prevista por la NSR-10 sobre la corona; la segunda representa la carga vehicular efectivamente presente en el pie.

Los factores de seguridad de aceptación adoptados corresponden a la Resolución 111 de 2022 del IDIGER, conforme se estableció para el proyecto, y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 92. Factores de seguridad de aceptación.

Condición	Escenario	FS mínimo exigido
Durante construcción	Estático	1,25
Durante construcción	Pseudoestático	1,00
Con obras - condición normal	Estático	1,50
Con obras - condición extrema	Pseudoestático	1,10

Fuente: Resolución 111 de 2022 del IDIGER.

Se advierte que la caracterización sísmica del sitio reporta factores de seguridad mínimos de 1,50 en condición estática y 1,05 en condición pseudoestática con K_{st} = 0,144. Para las verificaciones del presente

numeral se conserva el valor más exigente entre ambas fuentes en la condición pseudoestática, es decir 1,10.

4.2.1.3 Parámetros de los materiales

Los parámetros de resistencia de las unidades geológicas del sitio son los consignados en el modelo geológico-geotécnico del presente estudio y se reproducen íntegramente en la siguiente tabla. El macizo de la Formación Guaduas por debajo de los 6,0 m de profundidad se representa mediante el criterio de Hoek-Brown generalizado, mientras que el saprolito superficial y el depósito de coluvión se representan mediante el criterio de Mohr-Coulomb.

Tabla 93. Parámetros de los materiales del modelo geológico-geotécnico.

Material	Criterio	γ (kN/m³)	γsat (kN/m³)	c′ (kPa)	φ′ (°)	σci (kPa)	mb	s	a	Ru sat.	Ru seco
Depósito de coluvión (Qc)	Mohr-Coulomb	18,5	20,5	0	35,4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0,5	0
Fm. Guaduas - saprolito (0-6 m)	Mohr-Coulomb	18,8	18,8	0	34,7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0,5	0
Fm. Guaduas - macizo (> 6 m)	Hoek-Brown generalizado	18,8	18,8	N.A.	N.A.	16200	1,05	0,000172	0,54	0,28	0

Fuente: modelo geológico-geotécnico del presente estudio. Los parámetros de Mohr-Coulomb del saprolito se derivaron del ensayo SPT del sondeo SSM-1; para el macizo se adoptó m_i = 17 (arenisca), GSI = 22 y D = 0.

El modelo de equilibrio límite en condición con obras incorpora, además de las unidades anteriores, los rellenos presentes en la corona y en el pie del corte y el gavión de confinamiento del pie. Los materiales efectivamente declarados en dicho modelo, con los valores leídos de la tabla de materiales del archivo de análisis, se reproducen en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 94. Materiales declarados en el modelo de estabilidad en condición con obras.

Material	Criterio de resistencia	γ (kN/m³)	c (kPa)	φ (°)	UCS (kPa)	m	s	a	Superficie de agua	Ru
Relleno ingenieril (Qri)	Mohr-Coulomb	20,0	1	35	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Ninguna	0
Relleno antrópico (Qra)	Mohr-Coulomb	20,0	1	35	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Ninguna	0
Depósito coluvial (Qc)	Mohr-Coulomb	18,5	0	35,4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Ninguna	0
Formación Guaduas (K2E1gm) macizo	Hoek-Brown generalizado	18,8	N.A.	N.A.	16200	1,05	0,000172	0,54	Ninguna	0
Gavión	Mohr-Coulomb	24,3	500	45	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Ninguna	0
Saprolito	Mohr-Coulomb	18,8	0	36,2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	Ninguna	0

Fuente: tabla de materiales del modelo de equilibrio límite en condición con obras.

Todos los materiales del modelo con obras se declaran sin superficie de agua y con Ru = 0, de modo que el análisis corresponde a la condición seca, es decir a los escenarios 2 y 4 de la Tabla 91. Esta condición se garantiza con el sistema de drenaje proyectado (zanja de coronación, drenes subhorizontales y lloraderos) y con su mantenimiento. El modelo incorpora, además, los rellenos de la corona y del pie y el muro en gaviones existente en el pie del corte.

El nivel freático registrado en el sondeo SSM-1 se encuentra a 7,00 m de profundidad. La condición de agua adoptada para el modelo de diseño del sostenimiento es la condición seca, hipótesis que queda supeditada a la instalación y al mantenimiento efectivo de los drenes.

4.2.1.4 Criterio de funcionamiento del anclaje pasivo

Los anclajes pasivos no se tensan inicialmente; su resistencia se moviliza cuando el terreno desarrolla desplazamientos relativos. La barra trabaja a tracción y transfiere la carga al terreno mediante la lechada a lo largo de toda la perforación. Por esta razón la pretensión de entrada en el modelo es P_0 = 0 kN y el elemento se representa en Slide 6.0 mediante el tipo de soporte Soil Nail con aplicación Passive.

Dado que el análisis de equilibrio límite es bidimensional, la capacidad individual del anclaje debe transformarse en una contribución equivalente por metro de ancho de talud. Para los elementos declarados como Soil Nail, el programa evalúa tres fuerzas por metro de ancho (arrancamiento de la longitud situada detrás de la superficie de falla, tracción de la barra y desprendimiento de la masa situada por delante de dicha superficie) y adopta como fuerza aplicada la menor de las tres:

$$F_1 = B \cdot L_o / S_h \quad F_2 = T / S_h \quad F_3 = (P + B \cdot L_i) / S_h \quad F_{apl} = mín(F_1 ; F_2 ; F_3) \qquad (1)$$

donde B es la adherencia última lechada-terreno, L_o es la longitud del elemento situada detrás de la superficie de falla, L_i la situada por delante de ella, P la capacidad de la platina y S_h la separación fuera del plano. Con B = 150 kN/m y las longitudes efectivas adoptadas (1,50 m en las Zonas 1 a 3), el término de arrancamiento resulta de 150,0 kN/m en la Zona 1 y de 187,5 kN/m en las Zonas 2 y 3, frente a términos de tracción de 20,00 y 25,00 kN/m respectivamente; en la Zona 4 resulta de 24,0 kN/m con la longitud efectiva mínima de 0,40 m y de 79,2 kN/m con los 1,32 m efectivamente disponibles detrás de la superficie

de falla local, frente a un término de tracción de 12,00 kN/m. El término de desprendimiento, acotado inferiormente por P / S_h al ser $L_i \geq 0$, coincide con el de tracción por declararse P = T = 30 kN.

La fuerza aplicada queda por tanto gobernada por F_2 en las cuatro zonas, de modo que la contribución equivalente por metro de ancho de talud se reduce a $T_2D = F_2 = T / S_h$.

Análogamente, la densidad de elementos y la longitud de barra instalada por unidad de superficie de talud se obtienen de la malla adoptada:

$$n = 1 / (S_h \cdot S_v) \qquad L_{m2} = n \cdot L \tag{2}$$

donde S_v es la separación vertical de la malla, n es la densidad de anclajes por unidad de área y L es la longitud total de cada elemento.

Por tratarse de un sostenimiento zonificado, los valores de T_2D, de n y de L_{m2} no son únicos para el corte: se calculan de manera independiente para cada zona, a partir de la malla y de la longitud que le corresponden. La capacidad de diseño por elemento, en cambio, es común a las cuatro zonas y vale T = 30 kN, razón por la cual las verificaciones del elemento (barra, platina y recubrimiento) resultan idénticas en todas ellas. La verificación de arrancamiento, por depender de la longitud disponible detrás de la superficie crítica, sí presenta una particularidad en la Zona 4.

4.2.1.5 Configuración adoptada y parámetros de ingreso al modelo

El sostenimiento se organiza en cuatro zonas dispuestas sucesivamente sobre el frente del corte, en el sentido de la máxima pendiente, desde el sendero peatonal de la corona hasta la calzada de la Diagonal 75 Sur en el pie. Cada zona se diferencia únicamente por la longitud total de los elementos y por la densidad de la malla; el tipo de barra, el diámetro de perforación, la inclinación, la capacidad de diseño por elemento y la condición de anclaje pasivo sin postensado son comunes a las cuatro. La configuración de cada zona se presenta en la Tabla 95.

Tabla 95. Configuración del sostenimiento por zonas.

Zona	Posición en el frente	L (m)	$S_h \times S_v$ (m)	Filas	T (kN)	T_2D (kN/m)	n (anclajes/m²)
Zona 1	Superior, bajo el sendero peatonal	12,00	1,50 × 1,50	7	30	20,00	0,444
Zona 2	Intermedia	10,00	1,20 × 1,20	4	30	25,00	0,694
Zona 3	Inferior	8,00	1,20 × 1,20	5 o las necesarias	30	25,00	0,694
Zona 4	Tramo final en roca, hacia el pie	1,50	2,50 × 2,50	7 modeladas; las definitivas según geometría	30	12,00	0,160

Fuente: esquema de zonificación del sostenimiento suministrado por el proyecto, reproducido en la Figura 117. Las separaciones entre zonas, medidas sobre la cara del corte en el sentido de la máxima pendiente, son de 1,50 m entre la Zona 1 y la Zona 2, de 1,20 m entre la Zona 2 y la Zona 3 y de 1,50 m entre la Zona 3 y la Zona 4. Los valores de T_2D y de n fueron calculados con las expresiones (1) y (2).

Con las siete filas de la Zona 1, las cuatro de la Zona 2 y las cinco de la Zona 3, y considerando las separaciones entre zonas, el sostenimiento cubre en la sección de análisis una franja de 20,10 m medida

sobre la cara del corte entre la primera fila de la Zona 1 y la última fila de la Zona 3; la primera fila de la Zona 4 se sitúa 1,50 m por debajo de esta última. La distribución definitiva en planta de los anclajes de las cuatro zonas, ajustada a la altura real del frente en cada tramo, corresponde a los planos estructurales SMV-E-01 a SMV-E-03: 365 anclajes en la Zona 1, 642 en la Zona 2, 892 en la Zona 3 y 436 en la Zona 4, para un total de 2 335 elementos.

Los parámetros comunes de ingreso al modelo de equilibrio límite se presentan en la Tabla 96, indicando para cada valor su origen o la observación que condiciona su validez.

Tabla 96. Parámetros comunes de ingreso al modelo.

Grupo	Parámetro	Valor	Origen u observación
Modelo	Programa y método	Slide 6.0 - equilibrio límite 2D, método de Bishop simplificado	Memoria de verificación integral de anclajes pasivos
Modelo	Condición de servicio	Permanente	Memoria de anclajes
Modelo	Condición de agua	Seca, con drenes	Todos los materiales del modelo con obras se declaran sin superficie de agua y con Ru = 0
Modelo	FS con obras - estático	1,582	Supera el mínimo de 1,50
Modelo	FS con obras - pseudoestático	1,254	Valor definitivo del proyecto, tomado de la memoria de verificación integral de anclajes pasivos y unificado en los soportes de cálculo; supera el mínimo de 1,10
Modelo	Coeficiente sísmico aplicado, K_{st}	0,144	Coincide
Soporte	Tipo y aplicación	Soil Nail / Passive	Slide 6.0
Soporte	Longitud total, L	12,00 / 10,00 / 8,00 / 1,50 m según la zona	Tabla 95
Soporte	Malla, S_h × S_v	1,50 × 1,50 m en la Zona 1; 1,20 × 1,20 m en las Zonas 2 y 3; 2,50 × 2,50 m en la Zona 4	Tabla 95
Soporte	Capacidad a tracción, T	30 kN	Común a las cuatro zonas
Soporte	Plate Capacity en el modelo	30 kN	Común a las cuatro zonas
Soporte	Inclinación, i	15° descendente hacia el interior	Diseño adoptado; común a las cuatro zonas
Soporte	Pretensión, P_0	0 kN	Anclaje pasivo
Acciones	Sobrecarga, q	15 kPa	Aplicada sobre la corona y sobre la calzada de la Diagonal 75 Sur (Figura 118);
Terreno	Adherencia lechada-terreno, B	150 kN/m	Bond Strength declarado en el modelo, adoptado como valor presuntivo último para lutita blanda (FHWA-IF-99-015); debe validarse con pruebas de arrancamiento

Grupo	Parámetro	Valor	Origen u observación
Terreno	Longitud efectiva adoptada, L_o	1,50 m en las Zonas 1 a 3; 0,40 m en la Zona 4	Criterio geométrico preliminar en las Zonas 1 a 3; en la Zona 4 rige el requerimiento teórico.
Terreno	FS de arrancamiento, FSp	2,0	Diseño adoptado
Perforación	Diámetro nominal, Dh	75 mm	Diseño adoptado; común a las cuatro zonas
Cabeza	Platina	150 × 150 × 9 mm	Diseño adoptado; común a las cuatro zonas

Fuente: Memoria de verificación integral de anclajes pasivos y hoja de verificación integral (hojas Entradas y Fuentes y criterios), esquema de zonificación del sostenimiento y modelo de equilibrio límite en condición con obras .

Los cuatro tipos de soporte efectivamente declarados en el modelo de equilibrio límite, con la denominación con que aparecen en el archivo de análisis, se reproducen en la Tabla 97. La correspondencia entre cada tipo de soporte y su zona se establece por la separación fuera del plano y por el color asignado en el esquema de la Figura 117.

Tabla 97. Elementos de soporte declarados en el modelo de equilibrio límite.

Denominación en el modelo	Zona	Tipo	Separación fuera del plano (m)	Tensile Capacity (kN)	Plate Capacity (kN)	Shear Capacity (kN)	Compression Capacity (kN)	Bond Strength (kN/m)	Material Dependent
Anclaje pasivo 12 m - 1.5 m	Zona 1	Soil Nail	1,5	30	30	0	0	150	No
Anclaje pasivo 10 m - 1.2 m	Zona 2	Soil Nail	1,2	30	30	0	0	150	No
Anclaje pasivo 8 m - 1.2 m	Zona 3	Soil Nail	1,2	30	30	0	0	150	No
Anclaje pasivo Roca (2.5 m)	Zona 4	Soil Nail	2,5	30	30	0	0	150	No

Fuente: tabla de soportes del modelo de equilibrio límite en condición con obras.

Las capacidades a cortante y a compresión de los cuatro tipos de soporte se declaran nulas, de manera que el modelo atribuye al anclaje únicamente su contribución a tracción.

Se adopta una barra roscada de 25 mm de diámetro en acero fy = 420 MPa, con tuerca, arandela y platina de reparto en acero A-36, igual en las cuatro zonas, conforme a los planos estructurales SMV-E-02 y SMV-E-03. Las características de la barra y de la platina de reparto se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 98. Características de la barra y de la platina de reparto.

Propiedad	Símbolo	Valor
Diámetro nominal de la barra	db	25 mm
Área resistente	As	491 mm²
Límite elástico de la barra	fy	420 MPa
Dimensiones de la platina	bp × lp × t	150 × 150 × 9 mm
Límite elástico de la platina	fyp	250 MPa
Ancho efectivo de tuerca o arandela	bn	41 mm

Propiedad	Símbolo	Valor
Agujero central de la platina	d_h	32 mm

Fuente: planos estructurales SMV-E-02 y SMV-E-03.

La disposición típica del elemento sobre la cara del corte se presenta en la Figura 115 las mallas empleadas, en vista frontal y a una misma escala, en la Figura 116; y el despliegue de las cuatro zonas sobre el frente del corte, en la Figura 117.

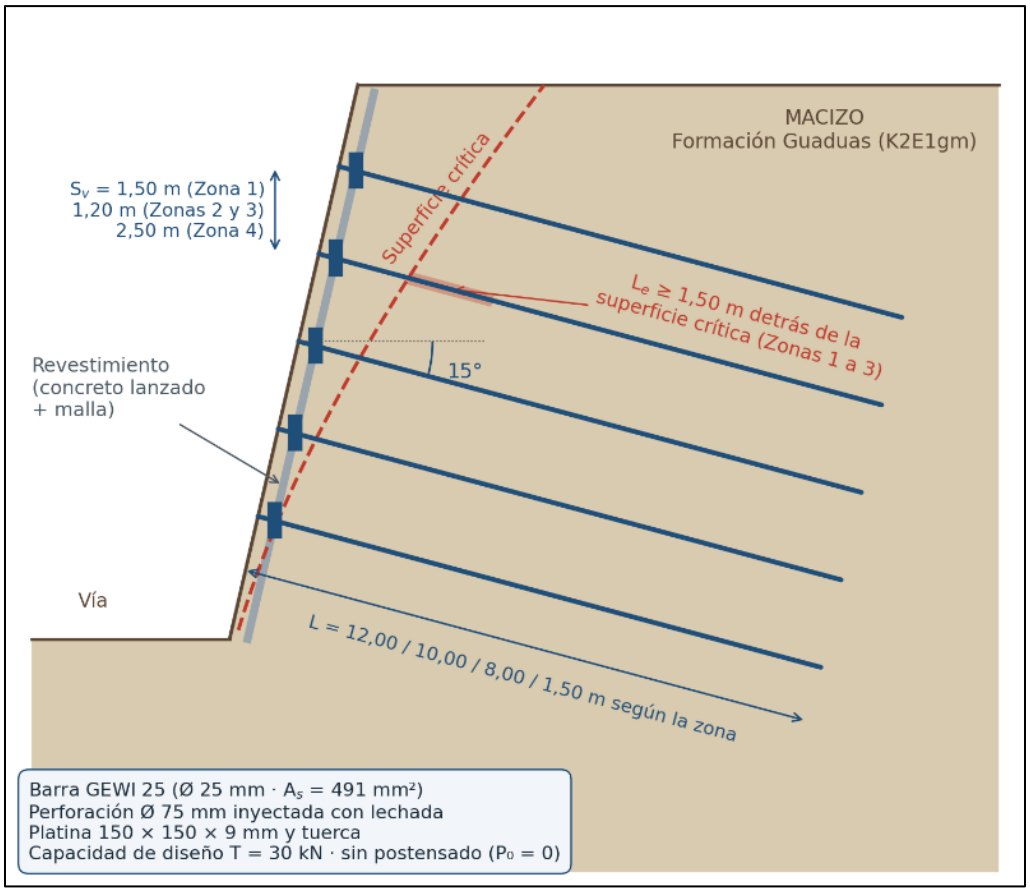


Figura 115. Detalle tipo del anclaje pasivo y del revestimiento del corte vial. Esquema sin escala.
Fuente: Elaboración propia.

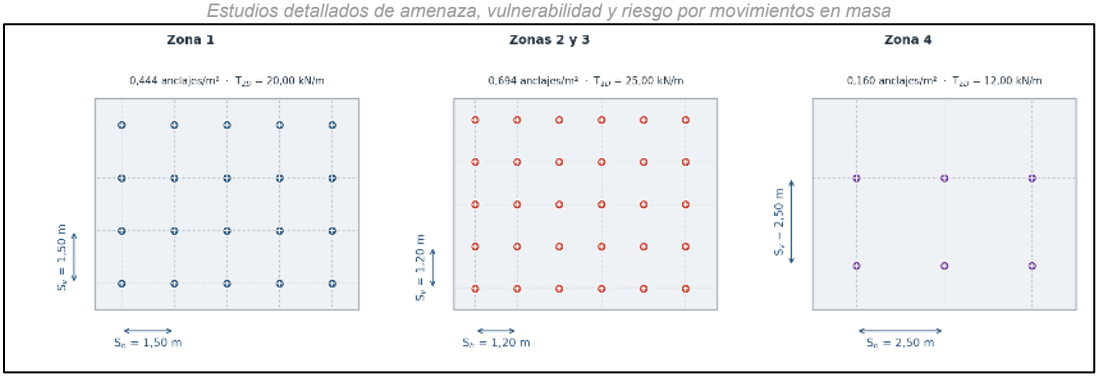


Figura 116. Mallas adoptadas en vista frontal, representadas sobre una misma porción de la cara del corte para permitir la comparación de densidades.

Fuente: Elaboración propia.

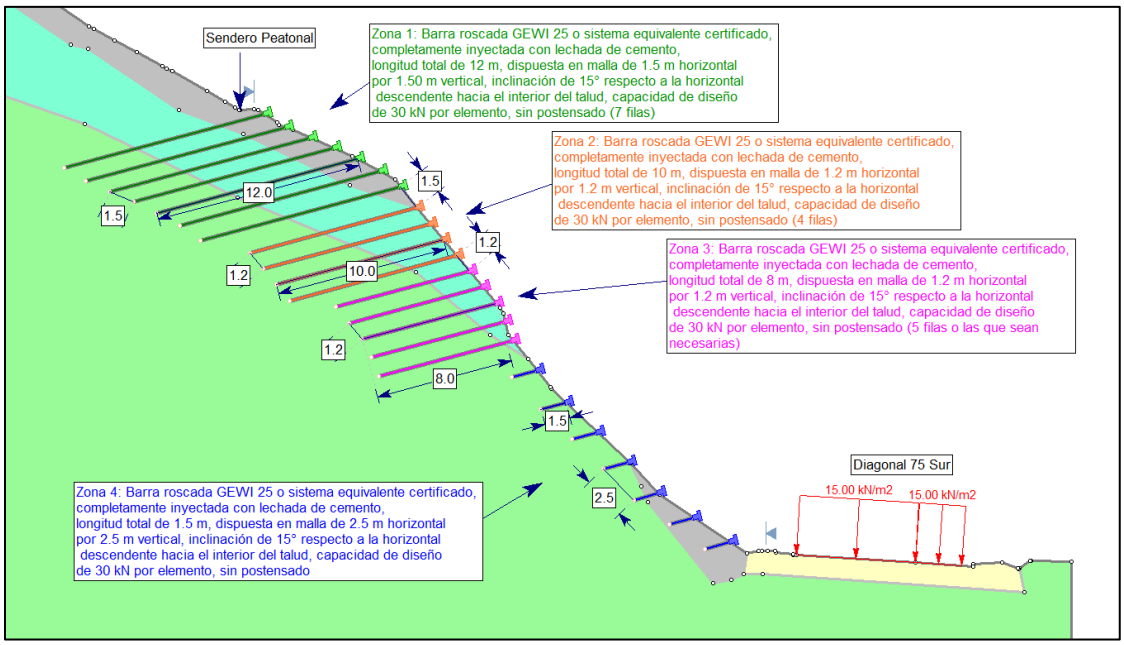


Figura 117. Esquema de despliegue de las cuatro zonas de sostenimiento sobre el frente del corte vial, con las longitudes, las mallas y las separaciones entre zonas. Esquema sin escala.

Fuente: esquema de zonificación del sostenimiento suministrado por el proyecto.

4.2.2 VERIFICACIONES DE DISEÑO

Las verificaciones se realizan para la capacidad de diseño T = 30 kN por elemento. Salvo la contribución equivalente por metro de ancho, que depende de la malla, y la longitud efectiva de bulbo, que depende de la longitud total del elemento, las verificaciones que siguen son comunes a las cuatro zonas por cuanto la barra, la platina, el diámetro de perforación y la capacidad de diseño no varían entre ellas.

La transferencia de la carga desde la cabeza del anclaje hasta el macizo se produce a través de una cadena de tres eslabones en serie: la barra de acero, la interfaz entre la barra y la lechada de cemento, y la interfaz entre la lechada y la roca. La rotura de cualquiera de ellos agota el elemento, de manera que la capacidad admisible del anclaje es el menor de los tres valores. En consecuencia, y de forma explícita, se chequean los tres modos de falla del sistema de anclaje: modo 1, falla de la barra o varilla; modo 2, falla de la unión cementante-roca; y modo 3, falla de la unión entre el refuerzo y el cementante.

Los tres se desarrollan en los apartados siguientes y se sintetizan en la Tabla 99. A ellos se añaden las verificaciones de la cabeza (flexión de la platina de reparto) y del recubrimiento de lechada, que no constituyen modos de falla de la cadena de transferencia pero condicionan el dimensionamiento y la durabilidad del elemento.

Contribución equivalente por metro de ancho

Para la Zona 1, con malla de 1,50 × 1,50 m:

$$T_2D = T / S_h = 30 / 1,50 = 20,00 \text{ kN/m}$$

Para las Zonas 2 y 3, con malla de 1,20 × 1,20 m:

$$T_2D = T / S_h = 30 / 1,20 = 25,00 \text{ kN/m}$$

Para la Zona 4, con malla de 2,50 × 2,50 m:

$$T_2D = T / S_h = 30 / 2,50 = 12,00 \text{ kN/m}$$

Las densidades resultantes son de 0,444 anclajes por metro cuadrado de talud en la Zona 1, de 0,694 anclajes por metro cuadrado en las Zonas 2 y 3 y de 0,160 anclajes por metro cuadrado en la Zona 4. La longitud de barra instalada por metro cuadrado de talud, obtenida como $L_{m2} = n \cdot L$, es de 5,33 m en la Zona 1, 6,94 m en la Zona 2, 5,56 m en la Zona 3 y 0,24 m en la Zona 4. Se advierte que la densificación de la malla en las Zonas 2 y 3 incrementa en un 25 % la fuerza de sostenimiento por metro de ancho respecto de la Zona 1, lo que compensa parcialmente la reducción de la longitud de los elementos. La Zona 4, en cambio, aporta una contribución equivalente de 12,00 kN/m, esto es el 60 % de la de la Zona 1 y el 48 % de la de las Zonas 2 y 3, con una longitud de barra por metro cuadrado equivalente al 4,5 % de la de la Zona 1. Los valores de S_h empleados en estas expresiones coinciden con las separaciones fuera del plano declaradas en el modelo, según la Tabla 97.

Modo de falla 1. Falla de la barra o varilla

Corresponde al agotamiento por tracción del elemento de acero. La capacidad al límite elástico se calcula como:

$$Ty = As \cdot fy / 1000 = 491 \cdot 420 / 1000 = 206,2 \text{ kN} \quad (6)$$

La tensión admisible de la barra se limita al 60 % de su capacidad al límite elástico:

$$Tadm = 0,60 \cdot Ty = 0,60 \cdot 206,2 = 123,7 \text{ kN} \quad (7)$$

La utilización resultante es 30 / 123,7 = 24,3 %. La barra cumple con amplia reserva. Esta verificación es idéntica en las cuatro zonas y es consistente con la capacidad declarada en el modelo de equilibrio límite como Tensile Capacity = 30 kN, según la Tabla 97.

Modo de falla 2. Falla de la unión cementante-roca

Corresponde al arrancamiento de la columna de lechada respecto del macizo, es decir, al deslizamiento en la interfaz exterior del bulbo, de diámetro Dh = 75 mm. Se considera la adherencia última lechada-terreno de 150 kN/m declarada como Bond Strength en el modelo y una longitud efectiva mínima de 1,50 m medida detrás de la envolvente de superficies críticas:

$$Tpull,ult = B \cdot L_o = 150 \cdot 1,50 = 225,0 \text{ kN} \quad (8)$$

$$T_{pull,adm} = T_{pull,ult} / FSp = 225,0 / 2,0 = 112,5\ kN \quad (9)$$

La utilización resultante es 30 / 112,5 = 26,7 %. La longitud teórica requerida es:

$$L_{o},req = T \cdot FSp / B = 30 \cdot 2,0 / 150 = 0,40\ m \quad (10)$$

Para las Zonas 1, 2 y 3 se mantiene 1,50 m como mínimo geométrico adoptado, valor que gobierna sobre el requerimiento teórico y que deberá comprobarse contra la envolvente de superficies críticas obtenida del modelo con obras.

Modo de falla 2: longitud efectiva disponible en la Zona 4

Los elementos de la Zona 4, denominados Anclaje pasivo Roca en el modelo, tienen una longitud total de 1,50 m según el esquema suministrado. Dado que el mínimo geométrico adoptado para las demás zonas es precisamente L_o = 1,50 m, dicho criterio no puede satisfacerse en la Zona 4: exigirlo equivaldría a que la totalidad de la barra quedara situada detrás de la superficie crítica, lo que carece de sentido físico porque no quedaría longitud libre entre la cabeza y dicha superficie. El criterio aplicable pasa entonces a ser el requerimiento teórico de la expresión (10), L_o,req = 0,40 m, de donde se obtiene la profundidad máxima admisible de la superficie de falla medida sobre el eje de la barra desde la cabeza:

$$d_{máx} = L - L_{o},req = 1,50 - 0,40 = 1,10\ m \quad (11)$$

Es decir, un elemento de la Zona 4 desarrolla la capacidad de diseño de 30 kN siempre que la superficie de falla local lo intercepte dentro de los primeros 1,10 m medidos desde la cabeza. La verificación integral del sostenimiento establece que, en la geometría modelada y conservando el depósito coluvial, la superficie crítica deja aproximadamente 1,32 m del elemento situados detrás de la falla local, valor superior al mínimo teórico de 0,40 m. Con esa longitud la capacidad admisible al arrancamiento resulta:

$$T_{pull,adm} = B \cdot L_o / FSp = 150 \cdot 1,32 / 2,0 = 99,0\ kN \quad (12)$$

frente a una demanda de 30 kN, esto es, una utilización del 30,3 %. La Zona 4 cumple, por tanto, también en el modo de falla 2. Debe subrayarse que esta comprobación corresponde a la geometría modelada y que su validez en obra queda supeditada a confirmar, sobre el frente expuesto, que cada elemento conserva al menos 0,40 m de longitud adherida detrás de la superficie de falla local; adoptando ese valor mínimo la capacidad admisible se reduce a 30,0 kN y la utilización alcanza el 100 %, de modo que 0,40 m constituye el límite estricto de aceptación y no admite reducción alguna.

La verificación integral precisa asimismo que el depósito coluvial será retirado antes de la instalación de los elementos de la Zona 4, de manera que estos se alojarán en saprolito competente o directamente en el macizo de la Formación Guaduas. La condición real de empotramiento resulta en consecuencia igual o más favorable que la modelada, lo que refuerza el resultado anterior. Con independencia de ello, la función asignada a esta zona sigue siendo la de retención superficial del revestimiento y de bloques del macizo aflorante en el tramo próximo al pie (esto es, un clavo corto de piel en roca), papel coherente con la malla amplia de 2,50 × 2,50 m, con la menor contribución equivalente del conjunto, T_2D = 12,00 kN/m, y con la denominación Anclaje pasivo Roca empleada en el modelo.

Modo de falla 3. Falla de la unión entre el refuerzo y el cementante

Corresponde al deslizamiento de la barra dentro de la columna de lechada, esto es, a la rotura de la interfaz interior del bulbo, de diámetro db = 25 mm. Es el eslabón intermedio de la cadena de transferencia y, por desarrollarse sobre un perímetro tres veces menor que el de la interfaz lechada-roca, moviliza tensiones de adherencia tres veces mayores para la misma carga y la misma longitud adherida. La tensión media de adherencia barra-lechada se obtiene distribuyendo la carga sobre el perímetro de la barra a lo largo de la longitud adherida Lb:

$$\tau bg = T / (\pi \cdot db \cdot Lb) \quad (13)$$

Con T = 30 kN y db = 25 mm resulta τbg = 0,255 MPa para la longitud adherida de 1,50 m adoptada en las Zonas 1 a 3, y τbg = 0,955 MPa para la longitud de 0,40 m que gobierna en la Zona 4 según la expresión (10).

Al no disponerse de ensayos de adherencia barra-lechada en el sitio, la verificación se plantea en términos de longitud de desarrollo, por analogía con el refuerzo corrugado embebido en concreto. Se emplea la expresión simplificada del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título C, numeral C.12.2.2, para barras No. 7 y mayores con recubrimiento no menor que db y separación libre no menor que 2·db, condición que se satisface, pues el recubrimiento radial de lechada es de 25,0 mm, igual a db, y cada barra se aloja en una perforación independiente:

$$ld = (fy \cdot \psi t \cdot \psi e / (1{,}7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c})) \cdot db \cdot (As,req / As,prov) \qquad (14)$$

Se adoptan ψt = 1,30, valor conservador correspondiente a refuerzo de disposición próxima a la horizontal (los anclajes se instalan con inclinación de 15° bajo la horizontal); ψe = 1,00 por tratarse de barra sin recubrimiento epóxico; y λ = 1,00 por emplearse lechada de peso normal. El factor As,req / As,prov, admitido por el numeral C.12.2.5 del mismo Título, se evalúa como la relación entre la tensión efectiva en la barra bajo la carga de diseño, fs = T / As = 30 000 / 491 = 61,10 MPa, y el límite elástico fy = 420 MPa, es decir 0,1455. Dado que el producto fy · (As,req / As,prov) equivale a la tensión efectiva fs, la longitud de desarrollo resulta independiente del límite elástico de la barra.

Evaluada la expresión (14), la longitud de desarrollo requerida resulta de 283 mm para una lechada de f'c = 17 MPa (resistencia mínima admitida para concreto estructural por el numeral C.5.1.1 de la NSR-10), de 255 mm para f'c = 21 MPa y de 221 mm para f'c = 28 MPa. En los tres casos el valor calculado es inferior al mínimo absoluto de 300 mm fijado por el numeral C.12.2.1, que resulta ser el criterio gobernante. Se adopta por tanto ld = 0,30 m. Conviene subrayar la consecuencia práctica de este resultado: mientras la lechada se especifique con una resistencia igual o superior a la mínima estructural de 17 MPa, la verificación del modo 3 es insensible al valor concreto de f'c, de modo que la ausencia de esa especificación no compromete la validez del chequeo, aunque sí debe subsanarse en las especificaciones de construcción.

La comparación con las longitudes adheridas disponibles arroja los siguientes resultados. En las Zonas 1, 2 y 3, con Lb = 1,50 m detrás de la superficie crítica, la utilización es 0,30 / 1,50 = 20,0 %, con amplia holgura. En la Zona 4, con Lb = 0,40 m, la utilización es 0,30 / 0,40 = 75,0 %: el modo 3 se satisface, pero con un margen sensiblemente menor, y no llega a gobernar porque la longitud exigida por el modo 2, de 0,40 m según la expresión (10), sigue siendo mayor que los 0,30 m exigidos por el modo 3. La profundidad máxima admisible de la superficie crítica en la Zona 4, dmáx = 1,10 m, se mantiene por tanto sin modificación. Se advierte, no obstante, que el reducido margen de la Zona 4 en este modo obliga a un control estricto de la limpieza de la perforación y del centrado de la barra en esos elementos, por cuanto cualquier defecto de adherencia se traduce directamente en pérdida de capacidad.

Se deja constancia de que la verificación anterior es un chequeo por analogía normativa y no sustituye la comprobación experimental. La adherencia barra-lechada debe confirmarse en los ensayos de arrancamiento, instrumentando el desplazamiento de la cabeza para discriminar si el eventual deslizamiento se produce en la interfaz barra-lechada (modo 3) o en la interfaz lechada-roca (modo 2), distinción que un ensayo de carga sin medida de desplazamiento no permite establecer.

Verificación de la cabeza: flexión de la platina de reparto

Se adopta una platina cuadrada de acero estructural de 150 × 150 × 9 mm, con fy mínimo de 250 MPa, agujero central de 32 mm y ancho efectivo de tuerca o arandela de 41 mm. La verificación se realiza mediante un modelo simplificado de franjas en voladizo, suponiendo apoyo completo sobre la superficie de reparto:

$$q = T / (bp \cdot lp) = 30\,000 / (150 \cdot 150) = 1{,}333 \text{ MPa}$$

$$a = (bp - bn) / 2 = (150 - 41) / 2 = 54{,}5 \text{ mm}$$

$$\sigma p = 3 \cdot q \cdot a^2 / t^2 = 3 \cdot 1{,}333 \cdot 54{,}5^2 / 9^2 = 146{,}7 \text{ MPa}$$

$$\sigma adm = 0{,}60 \cdot fyp = 0{,}60 \cdot 250 = 150{,}0 \text{ MPa}$$

La utilización resultante es 146,7 / 150,0 = 97,8 %. El espesor mínimo requerido es:

$$t_{min} = a \cdot \sqrt{(3 \cdot q / \sigma adm)} = 8{,}90 \text{ mm}$$

Se adopta un espesor de 9 mm. Se advierte que esta verificación es la más comprometida del conjunto y que no admite reducción de espesor ni aumento de la carga de diseño sin un nuevo chequeo. Al ser T = 30 kN común a las cuatro zonas (y coincidente con la Plate Capacity de 30 kN declarada en el modelo para los cuatro tipos de soporte), la verificación es idéntica en todas ellas.

Verificación de durabilidad: recubrimiento de la barra dentro de la perforación

El recubrimiento radial de lechada disponible, obtenido como (Dh − db) / 2 = (75 − 25) / 2, es de 25,0 mm, suficiente para alojar el sistema de protección anticorrosiva propio de un anclaje de servicio permanente. Es igual en las cuatro zonas por conservarse el diámetro de perforación de 75 mm y el diámetro de barra de 25 mm.

4.2.2.1 Resumen del chequeo

Se presenta en primer término el resumen específico de los tres modos de falla de la cadena de transferencia de carga del anclaje, y a continuación el resumen general de todas las verificaciones del numeral.

Tabla 99. Resumen del chequeo de los tres modos de falla del anclaje.

Modo	Interfaz o elemento	Expresión de verificación	Demanda	Capacidad o límite	Utilización	Resultado
1. Falla de la barra o varilla	Barra roscada (db = 25 mm, As = 491 mm², fy = 420 MPa)	Tadm = 0,60·As·fy	T = 30 kN	123,7 kN	24,3 %	Cumple
2. Falla de la unión cementante-roca	Interfaz exterior del bulbo (Dh = 75 mm) con la Formación Guaduas	Tpull,adm = B·L_o / FSp	T = 30 kN	112,5 kN (L_o = 1,50 m, B = 150 kN/m, FSp = 2,0)	26,7 %	Cumple
2. Falla de la unión cementante-roca (Zona 4)	Interfaz exterior del bulbo en los elementos de 1,50 m	Tpull,adm = B·L_o / FSp ; L_o,req = T·FSp / B	T = 30 kN	99,0 kN (L_o = 1,32 m detrás de la falla local); L_o,req = 0,40 m	30,3 %	Cumple
3. Falla de la unión entre el refuerzo y el cementante	Interfaz interior del bulbo (barra-lechada), Zonas 1 a 3	ld ≤ Lb (NSR-10 C.12.2.1, C.12.2.2 y C.12.2.5)	ld = 0,30 m	Lb = 1,50 m (τbg = 0,255 MPa)	20,0 %	Cumple
3. Falla de la unión entre el refuerzo y el cementante (Zona 4)	Interfaz interior del bulbo (barra-lechada), Zona 4	ld ≤ Lb (NSR-10 C.12.2.1, C.12.2.2 y C.12.2.5)	ld = 0,30 m	Lb = 0,40 m mínimo exigible (τbg = 0,955 MPa)	75,0 %	Cumple

Fuente: elaboración propia a partir de la verificación integral de anclajes pasivos, del modelo de equilibrio límite en condición con obras y del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título C. Los modos 1 y 3 se verifican con la geometría del elemento, común a las cuatro zonas; el modo 2 depende de la longitud disponible detrás de la superficie crítica.

De la Tabla 99 se concluye que, dentro de la cadena de transferencia de carga, el modo gobernante en las Zonas 1, 2 y 3 es la falla de la unión cementante-roca, con una utilización del 26,7 %, seguida de la falla de la barra con el 24,3 % y de la falla de la unión refuerzo-cementante con el 20,0 %. Las tres utilizaciones son del mismo orden y todas inferiores al 27 %, lo que indica que la cadena está razonablemente equilibrada y que no existe un eslabón manifiestamente débil. En la Zona 4 el orden se invierte: la falla de la unión refuerzo-cementante pasa a ser el modo más comprometido, con una utilización del 75,0 %, por efecto de la reducción de la longitud adherida exigible a 0,40 m. Ninguno de los tres modos gobierna el dimensionamiento del anclaje en su conjunto, que queda controlado por la flexión de la platina de reparto según se indica más adelante.

Tabla 100. Resumen de las verificaciones de diseño.

Verificación	Demanda	Capacidad o límite	Utilización	Resultado
Modo 1. Resistencia a tracción de la barra Ø 25 mm	30 kN	123,7 kN	24,3 %	Cumple

Verificación	Demanda	Capacidad o límite	Utilización	Resultado
Modo 2. Arrancamiento en la Formación Guaduas	30 kN	112,5 kN	26,7 %	Cumple
Modo 3. Adherencia barra-lechada, Zonas 1 a 3	ld = 0,30 m	Lb = 1,50 m	20,0 %	Cumple
Modo 3. Adherencia barra-lechada, Zona 4	ld = 0,30 m	Lb = 0,40 m	75,0 %	Cumple
Plate Capacity en el modelo	30 kN	30 kN	100,0 %	Cumple
Flexión de la platina de reparto	146,7 MPa	150,0 MPa	97,8 %	Cumple
Longitud efectiva de bulbo, Zonas 1 a 3	0,40 m	1,50 m adoptados	26,7 %	Cumple
Longitud efectiva de bulbo, Zona 4	0,40 m requeridos	1,32 m disponibles detrás de la falla local	30,3 %	Cumple
Recubrimiento radial de lechada	N.A.	25,0 mm disponibles	N.A.	Cumple
FS global con obras - estático	1,50 exigido	1,582 obtenido	105,5 % del mínimo	Cumple
FS global con obras - pseudoestático	1,10 exigido	1,254 obtenido	114,0 % del mínimo	Cumple

Fuente: memoria y hoja de verificación integral de anclajes pasivos y modelo de equilibrio límite en condición con obras reproducido en la Figura 118. Las verificaciones de los modos 1 y 3, la de la platina y la del recubrimiento son comunes a las cuatro zonas; las restantes se discuten en los párrafos siguientes.

Las verificaciones del elemento son idénticas en las cuatro zonas, por cuanto la barra, la platina, el diámetro de perforación y la capacidad de diseño T = 30 kN no varían entre ellas. Los tres modos de falla de la cadena de transferencia presentan utilizaciones inferiores al 27 % en las Zonas 1 a 3, de modo que el dimensionamiento del elemento queda gobernado por la flexión de la platina de reparto, con una utilización del 97,8 %.

La modelación de estabilidad en condición con obras, resuelta por el método de Bishop simplificado y cuyo resultado gráfico se reproduce en la Figura 118, arroja un factor de seguridad estático de 1,582 y un factor de seguridad pseudoestático de 1,254. Ambos superan los umbrales de aceptación de la Resolución 111 de 2022 recogidos en la Tabla 92 (1,50 para la condición normal y 1,10 para la condición extrema), con márgenes del 5,5 % y del 14,0 % respectivamente. El margen disponible en la condición estática es, por tanto, reducido, circunstancia que desaconseja cualquier disminución de la densidad o de la longitud de los elementos de las Zonas 1 a 3 respecto de lo establecido en la Tabla 95.

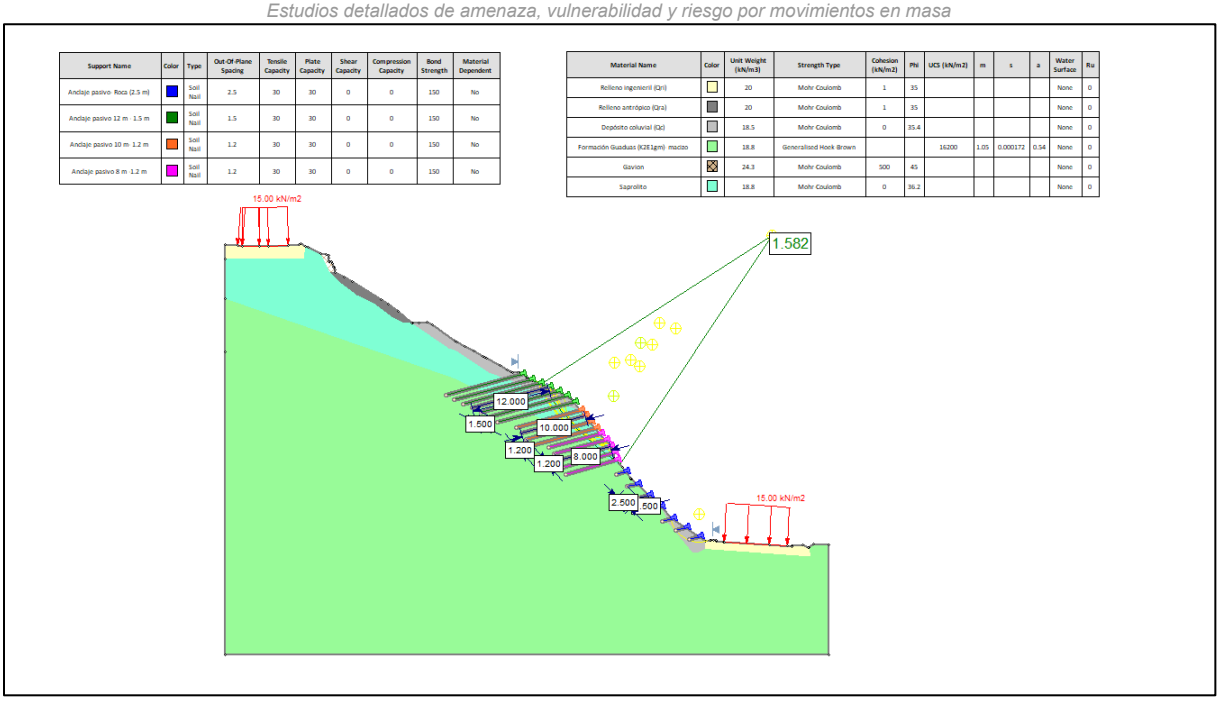


Figura 118. Modelo de equilibrio límite del corte vial en condición con obras, con los materiales, los elementos de soporte por zona, las sobrecargas de 15,00 kN/m² en la corona y en el pie, y el factor de seguridad estático obtenido.

Fuente: modelo de equilibrio límite elaborado para el proyecto en Slide 6.0.

El modelo incorpora los cuatro tipos de soporte de la Tabla 97 con las longitudes de 12,00, 10,00, 8,00 y 1,50 m y las separaciones fuera del plano de 1,5, 1,2, 1,2 y 2,5 m, y aplica la sobrecarga de 15,00 kN/m² tanto sobre la plataforma de la corona como sobre la calzada de la Diagonal 75 Sur. Todos los materiales se declaran en condición seca, sin superficie de agua y con Ru = 0, por lo que el factor de 1,582 corresponde al escenario 2 de la Tabla 91 y el de 1,254 al escenario 4.

En la Zona 4, los elementos de 1,50 m de longitud total conservan aproximadamente 1,32 m detrás de la superficie de falla local (frente al mínimo teórico de 0,40 m), con una capacidad admisible al arrancamiento de 99,0 kN y una utilización del 30,3 %, y su empotramiento mejora al retirarse el depósito coluvial antes de la instalación. Esta longitud debe comprobarse en obra sobre el frente expuesto. La función de estos elementos es la retención superficial del revestimiento y del macizo aflorante en el pie del corte.

4.2.2.2 Cantidades preliminares

Las cantidades unitarias derivadas de la configuración adoptada, discriminadas por zona, se presentan en la siguiente tabla. El volumen de lechada se calcula como el volumen anular entre la perforación y la barra, $V = (\pi/4) \cdot (Dh^2 - db^2) \cdot L$, incrementado en un 10 % por concepto de desperdicio.

Tabla 101. Cantidades unitarias y por unidad de superficie de talud, por zona.

Concepto	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Longitud de barra por anclaje	12,00 m	10,00 m	8,00 m	1,50 m
Volumen neto de lechada por anclaje	0,0471 m³	0,0393 m³	0,0314 m³	0,0059 m³
Volumen de lechada por anclaje con 10 % de desperdicio	0,0518 m³	0,0432 m³	0,0346 m³	0,0065 m³
Masa de platina de reparto por anclaje	1,533 kg	1,533 kg	1,533 kg	1,533 kg
Número de anclajes por 100 m² de talud	44,44	69,44	69,44	16,00
Longitud de barra por 100 m² de talud	533,3 m	694,4 m	555,6 m	24,0 m
Volumen de lechada por 100 m² con 10 % de desperdicio	2,304 m³	3,000 m³	2,400 m³	0,104 m³
Masa de platinas por 100 m² de talud	68,1 kg	106,5 kg	106,5 kg	24,5 kg

Fuente: elaboración propia a partir de la hoja de verificación integral de anclajes pasivos, aplicada a la configuración de cada zona. La masa de la platina corresponde a una pieza de 150 × 150 × 9 mm en acero de densidad 7 850 kg/m³.

Las cantidades totales de la obra, determinadas sobre la distribución en planta de los planos estructurales SMV-E-01 a SMV-E-03, son de 2 335 anclajes (365, 642, 892 y 436 en las Zonas 1 a 4) y 18 590 m de perforación, barra e inyección. El detalle de cálculo de estas cantidades, junto con las del revestimiento, el drenaje y las obras de bioingeniería, se presenta en la memoria de cantidades de obra del anexo de presupuesto.

Los valores de la tabla anterior corresponden únicamente a los elementos de anclaje. Las cantidades de revestimiento flexible y rígido, drenes, lloraderos, trinchos y revegetalización se presentan en la memoria de cantidades de obra y en el capítulo de presupuesto.

4.2.2.3 Especificación definitiva

Zona 1. Barra roscada de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectada con lechada de cemento, longitud total de 12 m, dispuesta en malla de 1,50 m horizontal por 1,50 m vertical, inclinación de 15° respecto a la horizontal, descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento, sin postensado. Siete filas, dispuestas desde la parte superior del frente, inmediatamente por debajo del sendero peatonal de la corona.

Entre la última fila de la Zona 1 y la primera fila de la Zona 2 se deja una separación de 1,50 m, medida sobre la cara del corte en el sentido de la máxima pendiente.

Zona 2. Barra roscada de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectada con lechada de cemento, longitud total de 10 m, dispuesta en malla de 1,20 m horizontal por 1,20 m vertical, inclinación de 15° respecto a la horizontal, descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento, sin postensado. Cuatro filas.

Entre la última fila de la Zona 2 y la primera fila de la Zona 3 se deja una separación de 1,20 m, medida sobre la cara del corte en el sentido de la máxima pendiente.

Zona 3. Barra roscada de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectada con lechada de cemento, longitud total de 8 m, dispuesta en malla de 1,20 m horizontal por 1,20 m vertical, inclinación de 15° respecto a la horizontal, descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento, sin postensado. Cinco filas o las que resulten necesarias para cubrir el frente hasta empalmar con la Zona 4, conservando la malla y la longitud especificadas.

Entre la última fila de la Zona 3 y la primera fila de la Zona 4 se deja una separación de 1,50 m, medida sobre la cara del corte en el sentido de la máxima pendiente.

Zona 4. Barra roscada de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectada con lechada de cemento, longitud total de 1,50 m, dispuesta en malla de 2,50 m horizontal por 2,50 m vertical, inclinación de 15° respecto a la horizontal, descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento, sin postensado. La distribución en planta corresponde a los planos SMV-E-01 y SMV-E-03. Con carácter previo a la perforación debe retirarse el depósito coluvial en el tramo correspondiente, de modo que los elementos queden alojados en saprolito competente o directamente en el macizo de la Formación Guaduas (denominación Anclaje pasivo Roca en el modelo). Cumplen función de retención superficial del revestimiento en el tramo próximo al pie del corte.

Perforación e inyección: diámetro nominal de 75 mm en las cuatro zonas, barra centrada y perforación completamente llena mediante inyección desde el fondo. La longitud efectiva mínima dentro de la Formación Guaduas, medida detrás de la envolvente de superficies críticas, será de 1,50 m en las Zonas 1, 2 y 3. En la Zona 4 no resulta aplicable dicho mínimo por ser igual a la longitud total del elemento; rige el requerimiento teórico de 0,40 m obtenido en la expresión (10), valor que constituye un límite estricto y debe verificarse elemento por elemento sobre el frente expuesto.

Cabeza: platina de acero estructural de 150 × 150 × 9 mm en las cuatro zonas, con fy ≥ 250 MPa y agujero central compatible con el sistema de tuerca, inicialmente de 32 mm y sujeto a aprobación del proveedor. La platina debe apoyar completamente sobre concreto lanzado o sobre un dado regularizado. No se permite el apoyo directo sobre una superficie irregular.

Durabilidad: por tratarse de una condición de servicio permanente, la barra, la tuerca, la platina, los empalmes y el extremo expuesto deben contar con protección anticorrosiva. La documentación técnica consultada señala que los sistemas permanentes requieren protección reforzada o doble protección.

4.2.2.4 Verificación de la pantalla anclada (Soil Nail Walls – Reference Manual)

La pantalla anclada se verificó por el método de diseño por factores de carga y resistencia del manual de referencia Soil Nail Walls, con factores de resistencia de 0,90 para flexión y punzonamiento de la pantalla, 0,70 para tensión en el anclaje y 0,65 para arrancamiento, y factor de carga de 1,35 para el empuje del suelo. Para cada zona se verificaron el arrancamiento del anclaje, la tensión en la barra, la resistencia a la flexión y el punzonamiento de la pantalla, con fuerza de diseño To = 30 kN por anclaje. En todos los casos la relación capacidad/demanda (CDR) resulta mayor que 1,0. Las hojas de verificación se reproducen a continuación.

4.2.2.4.1 Zona IV

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PANTALLAS
TIPO SOIL NAILING
Referencia Soil Nail walls (Reference Manual)

Factores de Resistencia

Flexión en la pantalla	ϕ_{FF}	0,9
Punzonamiento pantalla	ϕ_{FP}	0,9
Tensión en el anclaje	ϕ_{τ}	0,7
Arrancamiento anclaje	ϕ_{PO}	0,65

Factores de carga

Carga del suelo	γ	1,35

1. Verificación de arrancamiento del anclaje

$$r_{PO} = \pi \, q_u \, D_{DH}$$

qu	adherencia entre el suelo y el concreto	955	Kpa
DDh	Diámetro perforación	0,075	m
rpo	resistencia al arrancamiento anclaje		
rpo	225,02 KN/m		
Longitud del bulbo		1,5	m

Rpo	337,53 KN		
To	Fuerza admisible en el bulbo	30	KN
CDR	$CDR = \frac{\phi_{PO} \, R_{PO}}{\gamma \, T_{max}} \geq 1.0$	5,42	cumple!!

2. Verificación tensión en el anclaje

$$R_T = A_t f_y$$

At	Área del anclaje	510	mm2
Fy	Límite de fluencia anclaje	525	Mpa
Rt	267,75 KN		
CDR	$CDR = \frac{\phi_T \, R_T}{\gamma \, T_{max}} \geq 1.0$	4,63	cumple!!

3. Verificación de la resistencia a la flexión

avm	área malla	188	mm2	Área en el centro de los anclajes dirección vertical
ahm	área malla	188	mm2	Área en el centro de los anclajes dirección horizontal
avn	$a_{vn} = a_{vm} + \frac{A'_{VN}}{S_H}$			Área en la zona de anclajes direcció vertical
Avn		0	mm2	Área de refuerzo adicional en zona de anclaje. Dirección vertical
A´vn	$A'_{VN} = (f_{y_R}/f_{y_W}) \times A_{VN},$			
Fy_R		530	Mpa	Límite de fluencia refuerzo adicional
Fy_W		530	Mpa	Límite de fluencia malla electrosoldada
A´vn		0	mm2	
SH		1,5	m	Separación horizontal entre anclajes
avn		188	mm2/m	
ahn	$a_{hn} = a_{hm} + \frac{A'_{HN}}{S_V}$			Area en la zona de anclajes dirección horizontal
Ahn		0	mm2	

ahn	$a_{hn} = a_{hm} + \frac{A'_{HN}}{S_V}$		Area en la zona de anclajes dirección horizontal
Ahn	0	mm2	
A´hn	$A'_{HN} = (f_{y_R}/f_{y_W}) \times A_{HN}$		
Fy_R	420	Mpa	Límite de fluencia refuerzo adicional
Fy_W	530	Mpa	Límite de fluencia malla electrosoldada
A´hn	0	mm2	
SV	1,5	m	Separación vertical entre anclajes
ahn	188	mm2/m	
hi	100	mm	espesor de la pantalla
f´c	21	Mpa	Resistencia a compresión del concreto
cuantia total	0,00752		cumple!!
cuantia mínima	0,0017		
cuantía máxima	0,011		

<u>Capacidad a momento en zonas de claros y anclajes</u>

d=	hi/2	50	mm	
mvm		4,70	KN*m	Momento en dirección vertical en el claro
mvn		4,70	KN*m	Momento en dirección vertical en la zona de anclaje
mhm		4,70	KN*m	Momento en dirección horizontal en el claro
mhn		4,70	KN*m	Momento en dirección horizontal en la zona de anclaje

Rff vertical $R_{FF} = C_F \times \left(m_{vm} + m_{vn} \right) \times \left(\frac{8 S_H}{S_V} \right)$

Rff hztal $R_{FF} = C_F \times \left(m_{hm} + m_{hn} \right) \times \left(\frac{8 S_V}{S_H} \right)$

Table 6.5: Factor C_F

Facing	Facing Thickness, h_i or h_f (in.)	C_F
Initial	4	2.0
Initial	6	1.5
Initial	8	1.0
Final	All	1.0

CF 2

Rff vertical 150,52 KN

Rff hztal 150,52 KN

CDR $CDR = \frac{\phi_{FF} R_{FF}}{\gamma T_o} \geq 1.0$ 3,34 cumple!!

4. Verificación por punzonamiento

RFP $R_{FP} = C_P V_F$

Cp=1 1

Vf $V_F = 0,33 \cdot \sqrt{F`c\ MPa} \cdot D`_c \cdot h_c \cdot \pi$

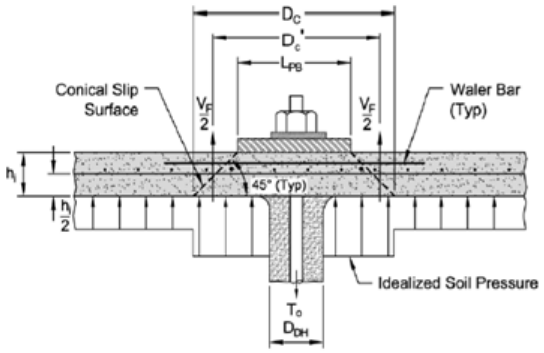
LPB 150 mm

hi 100 mm

D´c 250 mm

Vf 118,8 KN

RFP 118,77 KN



CDR $CDR = \frac{\phi_{FP} R_{FP}}{\gamma T_o} \geq 1.0$ 2,64 cumple!!

Figura 119. Verificación de la pantalla anclada por el método Soil Nail – Zona IV.

Fuente: verificación estructural de la pantalla anclada, planos SMV-E-01 a SMV-E-03.

4.2.2.4.2 Zona II y III

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PANTALLAS

TIPO SOIL NAILING

Referencia Soil Nail walls (Reference Manual)

Factores de Resistencia

Flexión en la pantalla	ϕ_{FF}	0,9
Punzonamiento pantalla	ϕ_{FP}	0,9
Tensión en el anclaje	ϕ_{τ}	0,7
Arrancamiento anclaje	ϕ_{PO}	0,65

Factores de carga

Carga del suelo	γ	1,35

1. Verificación de arrancamiento del anclaje

$$r_{PO} = \pi\, q_u\, D_{DH}$$

qu	adherencia entre el suelo y el concreto	255	Kpa
DDh	Diámetro perforación	0,075	m
rpo	resistencia al arrancamiento anclaje		
rpo	60,08 KN/m		
Longitud del bulbo		8	m
Rpo	480,66 KN		
To	Fuerza admisible en el bulbo	30	KN

CDR $CDR = \frac{\phi_{PO} \; R_{PO}}{\gamma \; T_{max}} \geq 1.0$ 7,71 cumple!!

2. Verificación tensión en el anclaje

$$R_T = A_t f_y$$

At	Área del anclaje	491	mm2
Fy	Límite de fluencia anclaje	525	Mpa

Rt 257,775 KN

CDR $CDR = \frac{\phi_T \; R_T}{\gamma \; T_{max}} \geq 1.0$ 4,46 cumple!!

Figura 120. Verificación de la pantalla anclada por el método Soil Nail – Zonas II y III.
Fuente: verificación estructural de la pantalla anclada, planos SMV-E-01 a SMV-E-03.

4.2.2.4.3 Zona I

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PANTALLAS

TIPO SOIL NAILING

Referencia Soil Nail walls (Reference Manual)

Factores de Resistencia

Flexión en la pantalla	ϕ_{FF}	0,9
Punzonamiento pantalla	ϕ_{FP}	0,9
Tensión en el anclaje	ϕ_{τ}	0,7
Arrancamiento anclaje	ϕ_{PO}	0,65

Factores de carga

Carga del suelo	γ	1,35

1. Verificación de arrancamiento del anclaje

$$r_{PO} = \pi \, q_u \, D_{DH}$$

qu	adherencia entre el suelo y el concreto	255	Kpa
DDh	Diámetro perforación	0,075	m
rpo	resistencia al arrancamiento anclaje		

rpo 60,08 KN/m

Longitud del bulbo	12	m

Rpo	721,00 KN		
To	Fuerza admisible en el bulbo	30	KN
CDR	$CDR = \frac{\phi_{PO} \; R_{PO}}{\gamma \; T_{max}} \geq 1.0$	11,57	cumple!!

2. Verificación tensión en el anclaje

$$R_T = A_t f_y$$

At	Área del anclaje	510	mm2
Fy	Límite de fluencia anclaje	525	Mpa
Rt	267,75 KN		
CDR	$CDR = \frac{\phi_T \; R_T}{\gamma \; T_{max}} \geq 1.0$	4,63	cumple!!

Figura 121. Verificación de la pantalla anclada por el método Soil Nail – Zona I.
Fuente: verificación estructural de la pantalla anclada, planos SMV-E-01 a SMV-E-03.

4.2.3 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS Y DE CONTROL

- Replantear en campo el límite entre zonas antes de iniciar la perforación, verificando las separaciones de 1,50 m entre la Zona 1 y la Zona 2, de 1,20 m entre la Zona 2 y la Zona 3 y de 1,50 m entre la Zona 3 y la Zona 4.
- Localizar cada fila conforme al patrón indicado para su zona y controlar la inclinación de 15°.
- Controlar que la longitud de barra instalada corresponda a la de la zona respectiva: 12,00 m en la Zona 1, 10,00 m en la Zona 2, 8,00 m en la Zona 3 y 1,50 m en la Zona 4. Las barras deben identificarse por zona antes de su instalación para evitar intercambios.
- Registrar la longitud perforada y los materiales atravesados; confirmar que el extremo de cada elemento de las Zonas 1 a 3 alcanza la Formación Guaduas y que los elementos de la Zona 4 se instalan sobre el macizo aflorante y no sobre relleno o saprolito.
- Retirar el depósito coluvial en el tramo de la Zona 4 con carácter previo a la perforación, de modo que los elementos queden alojados en saprolito competente o en el macizo de la Formación Guaduas, y dejar registro fotográfico y topográfico del frente descubierto.
- Verificar, para cada elemento de la Zona 4, que la longitud situada detrás de la superficie de falla local no resulte inferior a 0,40 m. Este valor es un límite estricto: con él la utilización al arrancamiento alcanza el 100 %, por lo que no admite reducción y cualquier elemento que no lo satisfaga debe alargarse o reubicarse.
- Limpiar el taladro e introducir la barra sin dañar su protección anticorrosiva.
- Emplear separadores o centralizadores que garanticen el centrado de la barra dentro de la perforación y el recubrimiento radial de lechada de 25,0 mm en toda su longitud; el chequeo del modo de falla 3

supone adherencia íntegra en el perímetro de la barra y es especialmente sensible en la Zona 4, donde la utilización alcanza el 75,0 %.

- Inyectar desde el fondo hasta obtener retorno de lechada en la boca de la perforación, evitando la formación de vacíos.
- Especificar y verificar la resistencia a la compresión de la lechada mediante ensayos sobre probetas tomadas en obra, con un valor mínimo no inferior a 17 MPa, resistencia para la cual la longitud de desarrollo requerida en el modo de falla 3 queda gobernada por el mínimo de 300 mm del numeral C.12.2.1 de la NSR-10.
- Instalar la platina sobre una superficie de apoyo plana y continua; utilizar asiento o elemento de compensación cuando la barra no resulte normal a la superficie.
- Ajustar la tuerca hasta lograr contacto, sin aplicar carga de postensado.
- Ejecutar ensayos de arrancamiento para validar la adherencia de 150 kN/m declarada en el modelo, con carácter previo a la instalación masiva. Los ensayos deben incluir al menos un elemento de la Zona 4, por ser el de menor longitud y, por tanto, el más sensible a una adherencia inferior a la supuesta.
- Mantener y revisar periódicamente los drenes, dado que la condición seca (Ru = 0 y ausencia de superficie de agua en todos los materiales del modelo) es una hipótesis esencial del diseño.

4.2.3.1 Verificaciones durante la construcción

Durante la construcción deben verificarse las siguientes condiciones del diseño:

- Longitud efectiva de la Zona 4. Cada elemento de 1,50 m debe conservar al menos 0,40 m de longitud adherida detrás de la superficie de falla local; la comprobación se realiza elemento por elemento sobre el frente descubierto y se consigna en el registro de obra.
- Adherencia lechada-terreno. El valor de 150 kN/m adoptado para los cuatro tipos de soporte debe validarse con los ensayos de arrancamiento previstos en el control de calidad, con carácter previo a la instalación masiva.
- Longitud efectiva de bulbo en las Zonas 1 a 3. El registro de perforación debe confirmar que el extremo de cada elemento se aloja en la Formación Guaduas y que se conserva una longitud adherida no menor de 1,50 m detrás de la envolvente de superficies críticas.
- Resistencia de la lechada de inyección. La lechada debe alcanzar una resistencia a la compresión no menor de 17 MPa, verificada mediante ensayos sobre probetas tomadas en obra.

Los factores de seguridad de 1,582 en condición estática y 1,254 en condición pseudoestática corresponden a la condición seca (Ru = 0 en todos los materiales, según la Tabla 94); el margen del 5,5 % en la condición estática frente al umbral de 1,50 exige conservar sin reducción la densidad y la longitud de los elementos de las Zonas 1 a 3 y mantener operativo el sistema de drenaje.

Con las precisiones anteriores, los resultados del presente numeral constituyen un dimensionamiento verificado en sus componentes estructurales y respaldado por una modelación de estabilidad global que satisface los umbrales de la Resolución 111 de 2022 en las condiciones normal y extrema.

4.2.4 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN

El proceso constructivo deberá ejecutarse de manera secuencial y controlada, garantizando que en ninguna etapa se generen condiciones de estabilidad más desfavorables que las consideradas en los análisis geotécnicos desarrollados para el proyecto. La secuencia constructiva descrita en este capítulo constituye una condición fundamental del diseño geotécnico, cualquier modificación en el orden de ejecución de las actividades deberá ser previamente evaluada y aprobada por el especialista geotécnico responsable, demostrando que las condiciones de estabilidad durante construcción no resultan inferiores a las consideradas en los análisis presentados.

Las actividades deberán ejecutarse bajo las siguientes consideraciones generales:

- Todas las dimensiones se expresan en metros, salvo indicación contraria.
- Antes del inicio de las obras se verificarán las coordenadas, cotas y alineamientos definidos en los planos de diseño.
- Cualquier condición geológica, geotécnica o hidrogeológica diferente a la considerada en el estudio deberá ser evaluada por el especialista geotécnico antes de continuar la construcción.
- El material excavado deberá retirarse de manera inmediata y transportarse a sitios de disposición autorizados.
- Durante todo el proceso constructivo deberán mantenerse operativas las obras provisionales de manejo de aguas superficiales.

En caso de lluvias intensas, aparición de grietas, deformaciones, asentamientos diferenciales o incremento de caudales de filtración, se suspenderán temporalmente los trabajos y se efectuará una inspección geotécnica de la zona.

Etapa 0: Actividades preliminares

Esta etapa comprende las actividades destinadas a establecer el control topográfico, proteger los elementos expuestos y garantizar el manejo provisional de las aguas superficiales durante toda la construcción.

1. Localización topográfica y replanteo de los ejes de los anclajes, drenes y obras complementarias.
2. Instalación de cerramientos, señalización y medidas de seguridad para personal y usuarios de la vía.
3. Implementación de cunetas y canales provisionales para interceptar y evacuar las aguas de escorrentía.
4. Descapote y limpieza superficial de la zona de intervención.
5. Instalación de instrumentación de seguimiento, cuando esta sea requerida por la interventoría o por el especialista geotécnico.
6. Verificación de la existencia de redes de servicios públicos o estructuras enterradas que puedan interferir con las excavaciones.
7. Construcción de los trinchos en guadua, el biomanto y la revegetalización de la franja superior (plano SMV-E-05), de arriba hacia abajo y en forma manual, sin intervenir el sendero peatonal, el andén, las escaleras ni el sendero de acceso a viviendas.

Etapa 1: Ejecución del sostenimiento del sector superior (escenario durante la construcción)

El sostenimiento del sector superior se ejecutará en sentido descendente, mediante pasos de excavación de altura limitada drenado y protegido antes de avanzar al nivel siguiente. Cada zona de estabilización deberá quedar sostenido bajo las siguientes consideraciones:

- **Zona 1: Barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, de longitud 12 m, dispuestas en una malla de 1,50 m en sentido horizontal por 1,50 m en sentido vertical, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento y sin postensado. Esta configuración corresponde al diseño verificado en condición seca.**

- **Zona 2: Barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, de longitud 10 m, dispuestas en una malla de 1,20 m en sentido horizontal por 1,20 m en sentido vertical, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento y sin postensado. Esta configuración corresponde al diseño verificado en condición seca.**

- **Zona 3: Barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, de longitud 8 m, dispuestas en una malla de 1,20 m en sentido horizontal por 1,20 m en sentido vertical, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento y sin postensado. Esta configuración corresponde al diseño verificado en condición seca.**

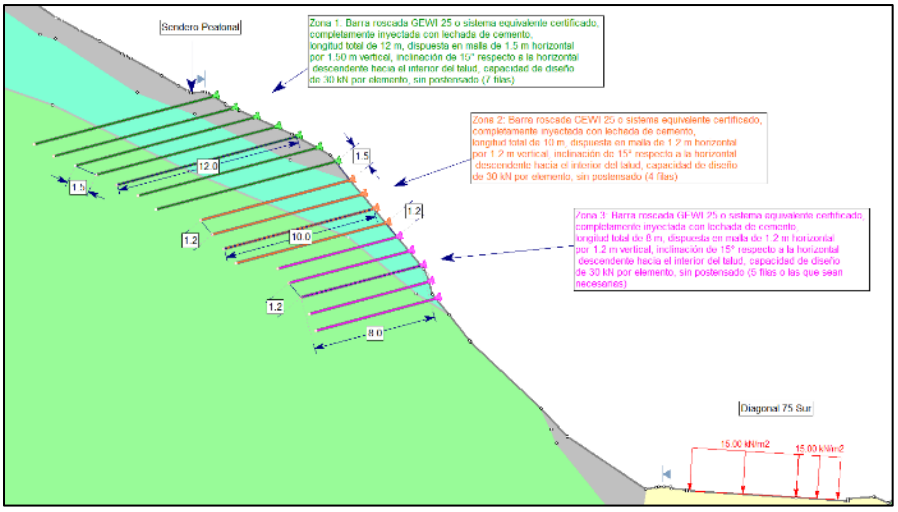


Figura 122. Sección típica de sostenimiento inicial- sección A-A'.
Fuente: Diseño del proyecto (dimensiones en metros).

- Replanteo de la fila correspondiente y perforación de barrenos de diámetro mínimo de 75 mm, con la longitud e inclinación indicadas en los planos. El barreno deberá limpiarse antes de introducir la barra.
- Instalación de la barra roscada de 25 mm con centralizadores, seguida de la inyección de lechada de cemento desde el fondo de la perforación hasta obtener retorno continuo y homogéneo en la boca. Los anclajes se dispondrán en patrón al tresbolillo.
- Instalación del geotextil, de la malla de alambre de acero G65 de alta resistencia y del biomanto, con los traslapos y fijaciones indicados en los planos SMV-E-02 y SMV-E-03.
- Una vez alcanzada la resistencia especificada de la lechada, instalación de la platina de reparto de 150 × 150 × 9 mm y de la tuerca. El apriete se limitará a garantizar el contacto uniforme de la platina con la superficie de apoyo, sin aplicar postensado.
- Fijación de la malla G65 a las cabezas de los anclajes y verificación de su contacto con el terreno, conforme con los detalles de los planos del proyecto.
- Colocación del biomanto y ejecución de las medidas de revegetalización y protección superficial definidas para el sector superior.

La secuencia se repetirá hasta completar el sector de sostenimiento; no se autorizará el avance si la geometría real, el agua observada o el estado del terreno difieren de las condiciones analizadas.

Etapa 2: Ejecución del sostenimiento del sector inferior (escenario con obra)

El sostenimiento del sector inferior se ejecutará igualmente en sentido descendente y por pasos de excavación de altura limitada, instalando el sostenimiento de cada paso antes de continuar. El sistema previsto está constituido por barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, de 1,5 m de longitud, dispuestas en una malla de 2,5 m en sentido horizontal por 2,5 m en sentido vertical, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento y sin postensado. Los parámetros de este sector deberán coincidir con los planos y con la memoria de estabilidad específica del tramo inferior.

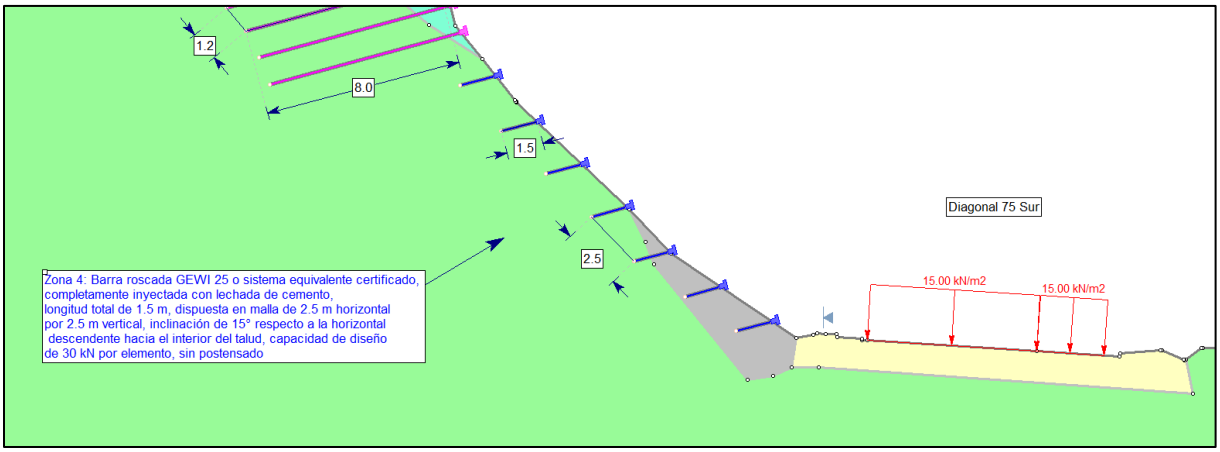


Figura 123. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A'.
Fuente: Diseño del proyecto (dimensiones en metros).

- Replanteo de la fila correspondiente y perforación de barrenos de diámetro mínimo de 75 mm, con la longitud e inclinación indicadas en los planos. El barreno deberá limpiarse antes de introducir la barra.
- Instalación de la barra roscada de 25 mm con centralizadores e inyección de lechada de cemento desde el fondo de la perforación hasta obtener retorno continuo y homogéneo en la boca. Los anclajes se dispondrán en patrón al tresbolillo.
- Instalación de los drenes subhorizontales de la Zona IV conforme a la Etapa 3 y al plano SMV-E-06, y de 250 lloraderos de PVC Ø 2" de 0,50 m con bolsa filtrante de gravilla de 0,15 × 0,15 × 0,15 m envuelta en geotextil no tejido, uno por cada 6,25 m² de concreto lanzado (1 556,80 m² según el plano SMV-E-03), ubicados entre anclajes.
- Una vez alcanzada la resistencia especificada de la lechada, instalación de la platina de reparto de 150 × 150 × 9 mm y de la tuerca, con apriete limitado a garantizar el contacto, sin postensado.
- Instalación de la malla electrosoldada Ø 6 mm c/0,15 m en ambos sentidos y aplicación de concreto lanzado f'c = 21 MPa con espesor de 0,10 m. Si durante la excavación se detectan afloramientos, filtraciones persistentes o acumulaciones de agua, se suspenderá el avance y el especialista geotécnico definirá las medidas de drenaje adicionales antes de continuar.

Repetición de la secuencia hasta completar el sector inferior, manteniendo en todo momento el frente excavado dentro de las dimensiones analizadas.

Etapa 3: Instalación de los drenes subhorizontales

Una vez instalados los anclajes de la Zona IV y antes de aplicar el concreto lanzado, se procederá con la instalación del sistema de drenaje subsuperficial previsto en el diseño geotécnico. El objetivo de esta intervención es reducir las presiones de poros en el pie del talud, interceptar flujos subterráneos y mantener la condición de diseño.

Los drenes subhorizontales se ejecutarán con tubería PVC ranurada Ø 2" envuelta en geotextil no tejido, en perforación de 3" a 4", con longitud de 15 m e inclinación de 5° ascendente hacia el interior del talud, y tramo ciego de 1,00 m sellado en la boca. Se disponen 14 drenes en una fila a 1,40 m sobre el pie del corte, con separación de 7,50 m, a media distancia entre la primera y la segunda fila de anclajes de la Zona IV, conforme al plano SMV-E-06. La construcción deberá realizarse de conformidad con el Artículo 674 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras INVÍAS 2022.

La secuencia constructiva recomendada será la siguiente:

1. Replanteo topográfico de la ubicación de cada dren, verificando las cotas, alineamientos y espaciamientos definidos en los planos del proyecto.
2. Perforación de los barrenos mediante equipos rotatorios o roto-percusivos adecuados para las condiciones geológicas encontradas, garantizando la longitud, diámetro e inclinación especificados en el diseño.
3. Durante la perforación se deberá llevar un registro de las condiciones encontradas, incluyendo cambios litológicos, zonas fracturadas, presencia de humedad, afloramientos o flujos de agua interceptados.
4. Limpieza de la perforación mediante aire comprimido o métodos equivalentes hasta asegurar la remoción de detritos y material suelto que pueda afectar la capacidad hidráulica del dren.
5. Instalación de tubería drenante ranurada de PVC o material equivalente aprobado por la interventoría, garantizando la continuidad del sistema drenante a lo largo de la perforación.
6. Cuando las condiciones del terreno lo requieran, se dispondrán filtros o elementos complementarios para evitar el arrastre de finos y Preservar la capacidad de drenaje del sistema.
7. Verificación del funcionamiento hidráulico de cada dren, comprobando la libre evacuación del agua interceptada y la ausencia de obstrucciones.
8. Protección de las salidas mediante cabezales, cunetas u obras complementarias que permitan conducir el agua drenada hacia un sistema de descarga seguro, evitando procesos de erosión en el pie del talud.
9. Durante la ejecución de los drenes se deberá realizar un seguimiento permanente a la presencia de flujos de agua, zonas de infiltración, niveles de humedad elevados o caudales no previstos en los análisis de diseño. En caso de identificarse condiciones hidrogeológicas significativamente diferentes a las consideradas en el modelo geotécnico, los trabajos deberán ser evaluados por el especialista geotécnico y la interventoría antes de continuar con la siguiente etapa constructiva.

Adicionalmente, todos los drenes instalados deberán mantenerse libres de obstrucciones durante la construcción y permanecer operativos hasta la terminación de las obras, garantizando el adecuado funcionamiento del sistema de abatimiento de presiones de poros contemplado en el diseño.

Manejo de aguas durante la construcción

El control del agua constituye una condición crítica para el desempeño de las obras de estabilización. En consecuencia:

1. Las cunetas provisionales deberán permanecer operativas durante toda la construcción.
2. No se permitirá la descarga de aguas sobre la superficie del talud.
3. Toda acumulación de agua deberá evacuarse inmediatamente mediante bombeo o drenaje controlado.
4. Los drenes instalados deberán mantenerse libres de obstrucciones.
5. Durante eventos de precipitación intensa se suspenderán las excavaciones y se protegerán las superficies expuestas.
6. Cualquier incremento significativo de filtraciones deberá ser evaluado por el especialista geotécnico antes de reanudar los trabajos.

Conforme a los resultados de los análisis geotécnicos y al diseño de las medidas de mitigación propuestas, a continuación, se presenta un esquema general de la configuración final de las obras proyectadas para el área de estudio.

Detalles constructivos generales

El proyecto contempla dos tratamientos superficiales, definidos según el sector intervenido: biomanto en el sector superior y concreto lanzado en el sector inferior. La estabilización se complementa con anclajes pasivos, cuyas longitudes, separaciones y capacidades se establecen en los planos y memorias de diseño

de cada zona. Los anclajes deberán instalarse con la geometría especificada, disponer de protección anticorrosiva compatible con su carácter permanente y quedar completamente inyectados, de manera que se garantice la transferencia de esfuerzos al terreno y la protección de la barra.

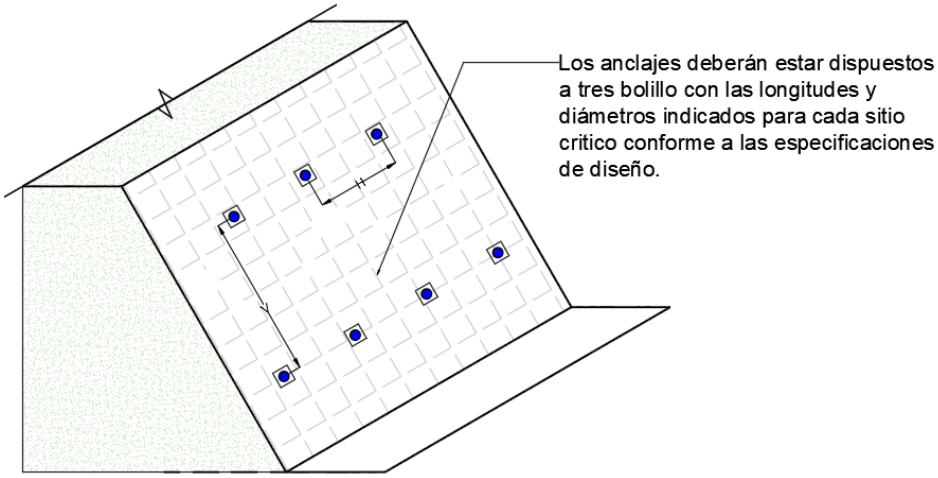


Figura 124. Isométrico de instalación de anclajes.

Fuente: Elaboración propia

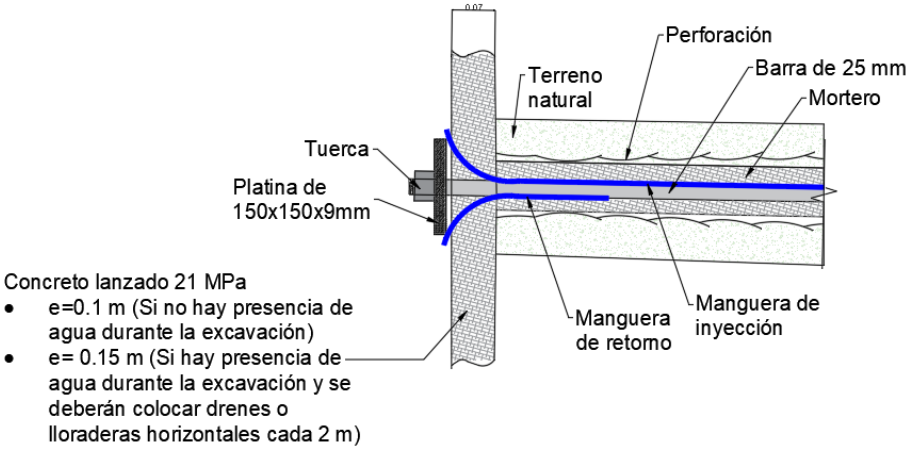


Figura 125. Isométrico de instalación de anclajes (Nota: El concreto lanzado solo aplica para la parte baja del talud)

Fuente: Elaboración propia

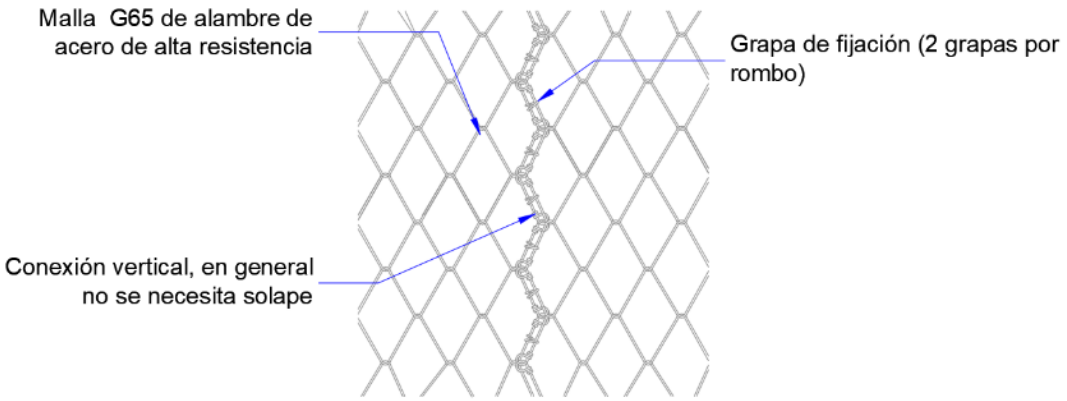


Figura 126. Isométrico de instalación de malla de acero
Fuente: Elaboración propia

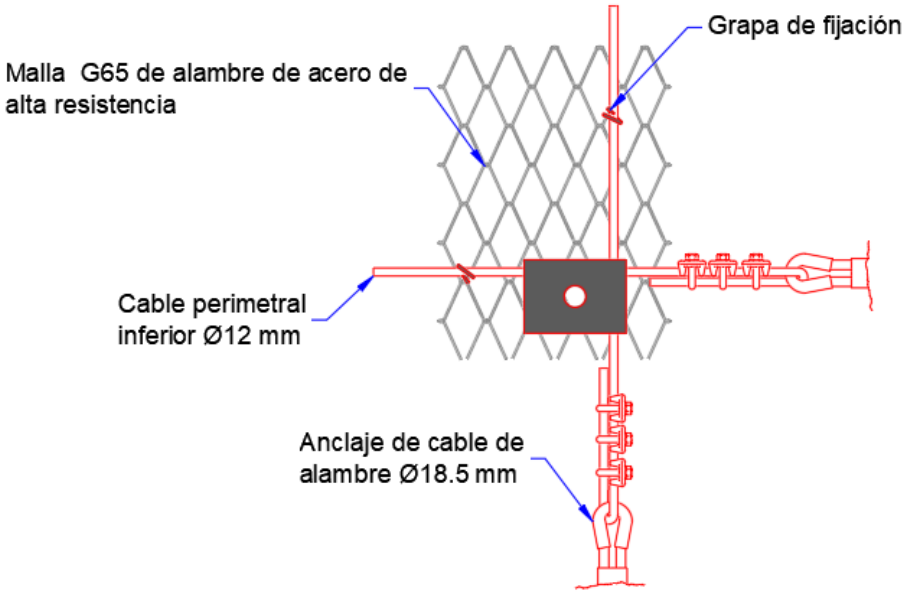


Figura 127. Isométrico de instalación de anclajes de cable de sostenimiento de malla de acero
Fuente: Elaboración propia

Planos de obra

Las obras de mitigación se representan en los planos SMV-E-01 a SMV-E-06 del anexo de planos. Los planos SMV-E-01 a SMV-E-03 contienen el diseño estructural de la pantalla anclada (localización de anclajes, corte general y distribución y cantidades por zona); los planos SMV-E-04 a SMV-E-06 contienen la implantación general de las obras, la franja superior de bioingeniería y el sistema de drenaje subsuperficial. A continuación se reproducen las vistas principales.



PLANTA – LOCALIZACIÓN E IMPLANTACIÓN GENERAL DE OBRAS

Figura 128. Planta de localización e implantación general de obras.
Fuente: plano SMV-E-04.

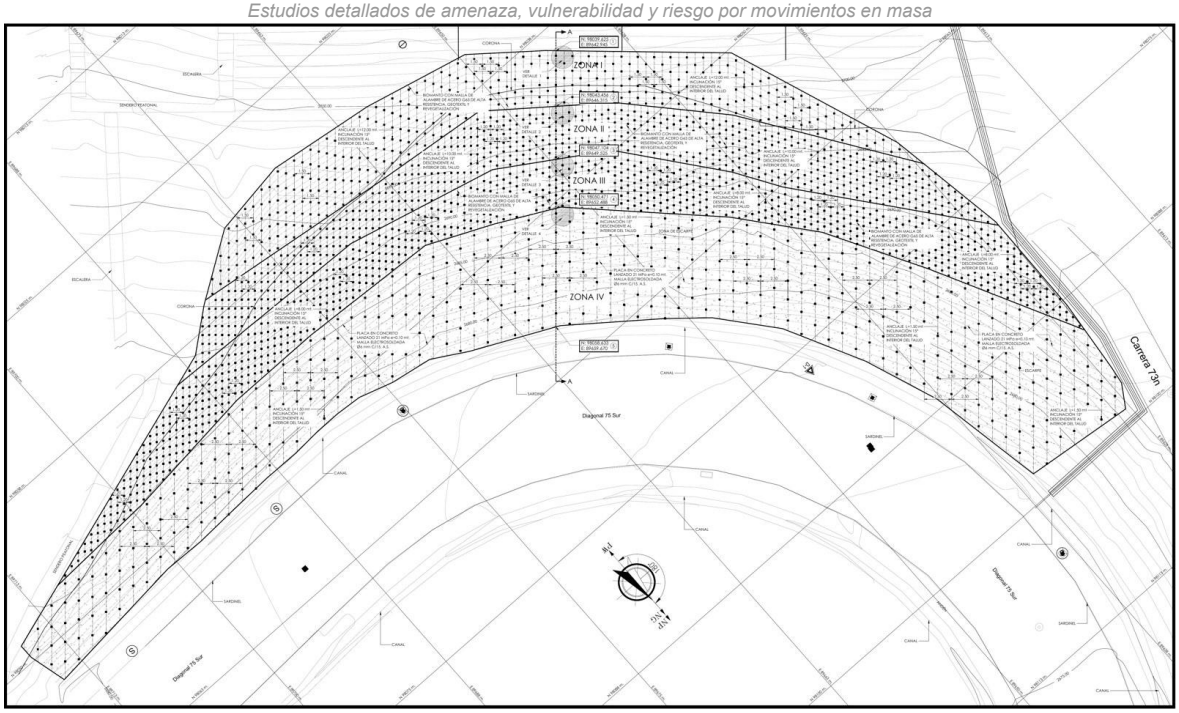


Figura 129. Planta de localización general de anclajes por zonas.
Fuente: plano SMV-E-01.

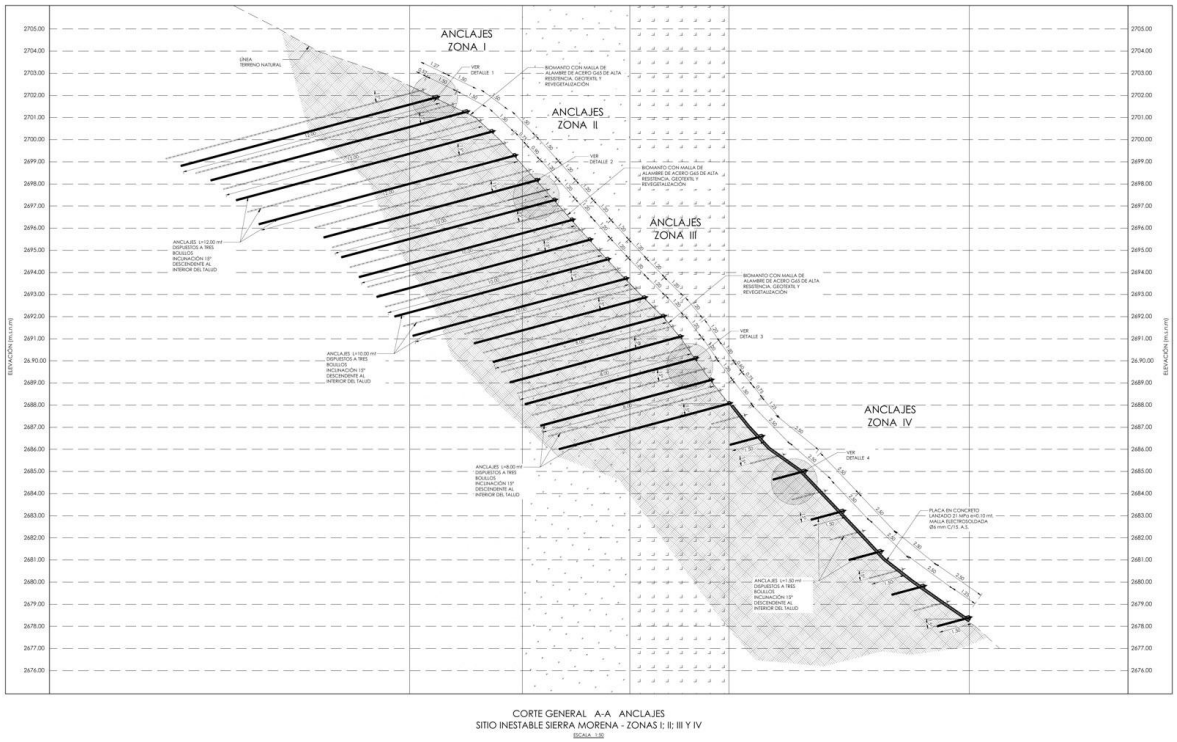


Figura 130. Corte general A-A con la distribución de anclajes de las Zonas I a IV.
Fuente: plano SMV-E-02.

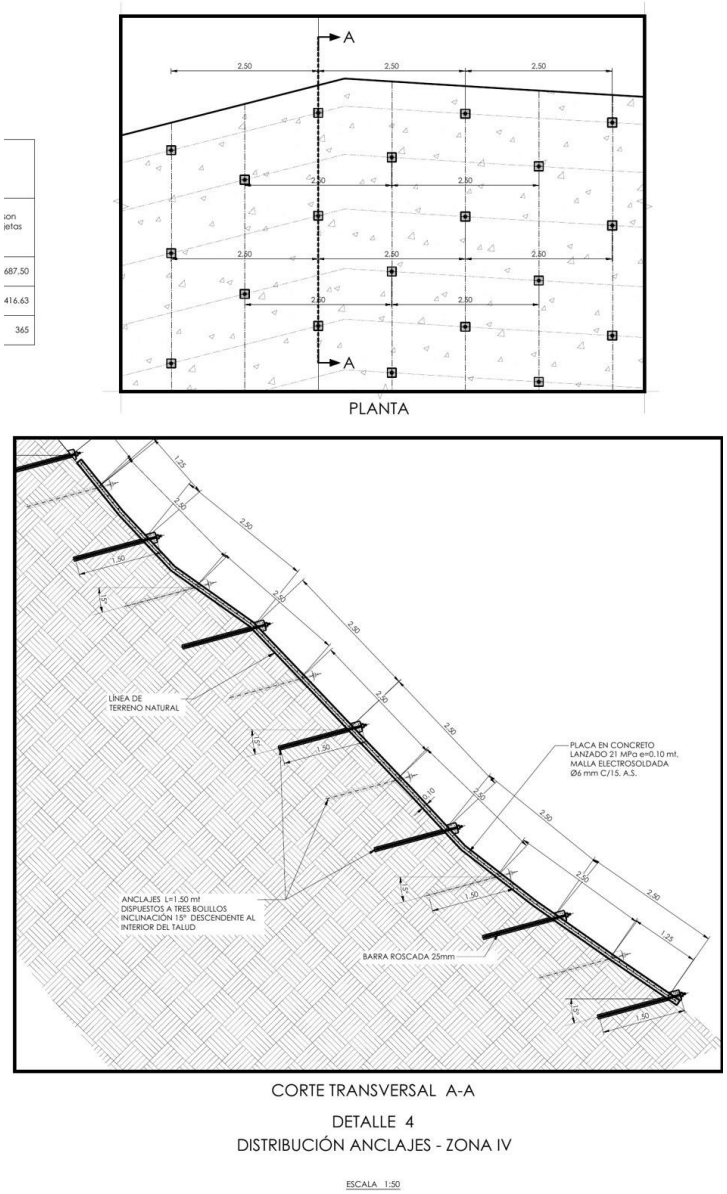


Figura 131. Distribución de anclajes y revestimiento con concreto lanzado de la Zona IV.
Fuente: plano SMV-E-03.

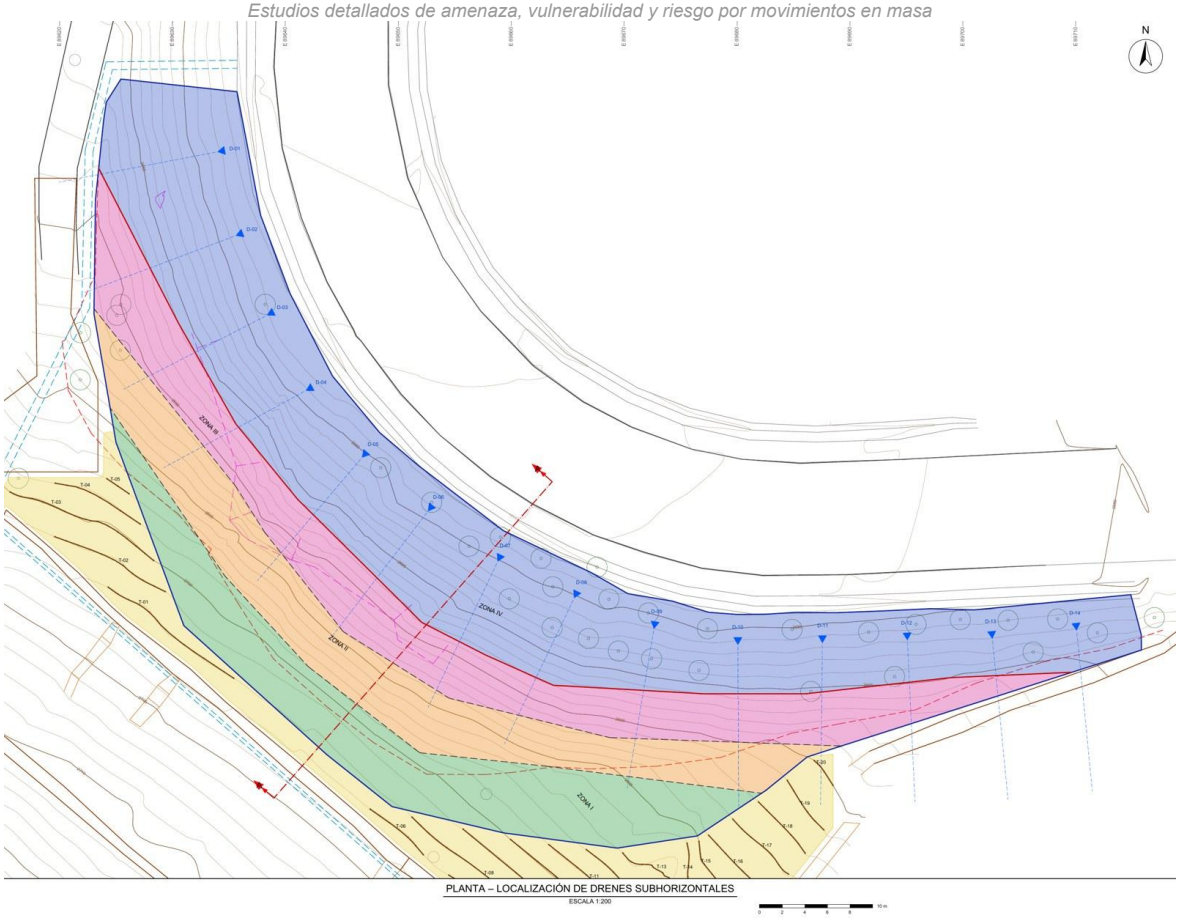


Figura 132. Planta de localización de drenes subhorizontales.
Fuente: plano SMV-E-06.

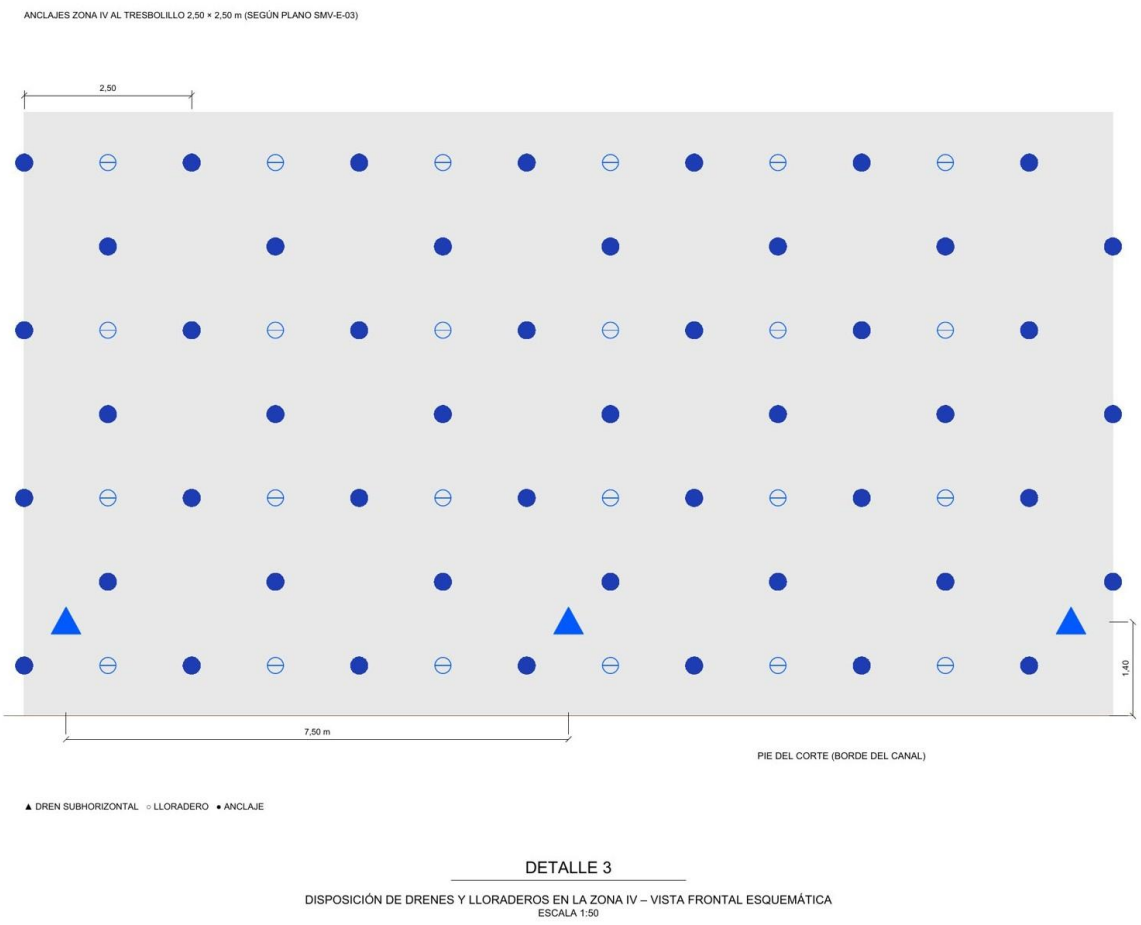


Figura 133. Disposición de drenes y lloraderos en la Zona IV – vista frontal esquemática.
Fuente: plano SMV-E-06, detalle 3.

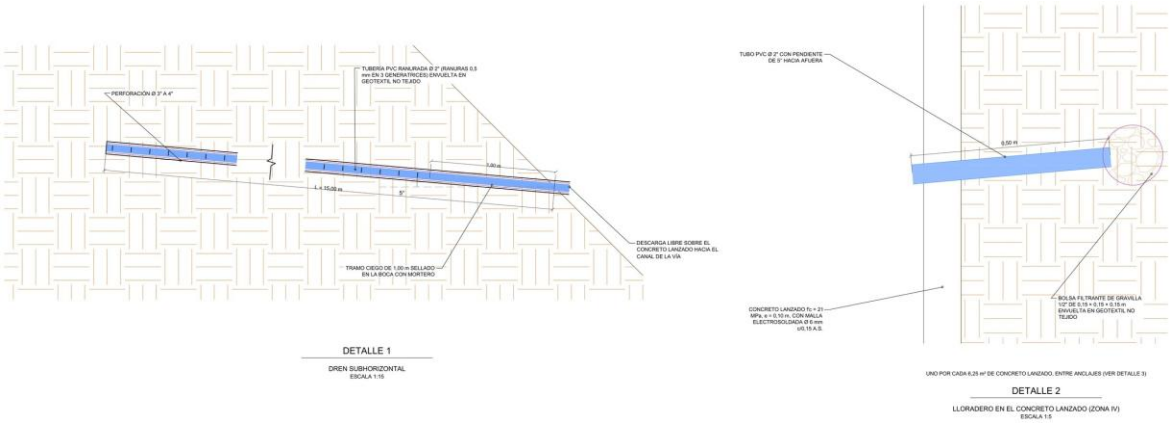


Figura 134. Detalles del dren subhorizontal y del lloradero en el concreto lanzado.
Fuente: plano SMV-E-06, detalles 1 y 2.

Control, tolerancias y criterios de aceptación

Tabla 102. Controles mínimos durante la construcción.

Actividad	Control	Frecuencia / criterio
Replanteo	Cotas, ejes, malla y límites de cada sector	Antes de iniciar cada módulo; registro topográfico
Perforación	Longitud, diámetro mínimo de 75 mm e inclinación	Todos los barrenos; registro individual
Anclaje pasivo	Tipo de barra, centralizadores, longitud y protección anticorrosiva	Todos los elementos; certificado y trazabilidad por lote
Inyección	Dosificación, volumen inyectado, retorno y ausencia de vacíos	Todos los elementos; registro individual de inyección
Lechada de cemento	Resistencia a compresión	Un juego de probetas por cada 20 anclajes o fracción; criterio según especificación
Cabeza del anclaje	Platina 150 × 150 × 9 mm, tuerca, alineación y apoyo completo	Todos los elementos, antes de instalar la protección superficial
Anclaje pasivo	Ensayo de arrancamiento	Mínimo 5 % de los elementos y no menos de 3 por frente; carga y aceptación según plan de ensayos
Drenaje	Longitud, inclinación, continuidad y descarga libre	Por módulo y antes de cerrar la protección superficial
Malla y biomanto	Fijaciones, continuidad, traslapos y contacto con el talud	Inspección continua y aceptación por módulo
Concreto lanzado	Espesor, resistencia f'c = 21 MPa y acabado	Espesor cada 10 m²; probetas por cada 20 m³ o fracción
Instrumentación	Lectura de testigos y puntos topográficos	Diaria durante la excavación y semanal en las demás etapas

Fuente: Elaboración propia.

Puntos de parada obligatorios: *No se autorizará el avance a la etapa siguiente sin la aceptación técnica de la etapa previamente ejecutada. Como mínimo, deberán cumplirse los siguientes puntos de parada:*

- *Finalización y aceptación topográfica del replanteo.*
- *Verificación del funcionamiento de los drenes subhorizontales antes de ejecutar el corte definitivo.*
- *La aparición de agua no prevista, materiales diferentes a los considerados en el modelo geológico-geotécnico, inestabilidad local, desplazamientos anómalos del terreno o afectaciones al muro existente obligará a suspender inmediatamente los trabajos y solicitar la evaluación del especialista geotécnico antes de continuar la construcción.*

4.3 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

4.3.1 TRINCHOS EN GUADUA Y PROTECCIÓN DE LA FRANJA SUPERIOR

La franja superior del talud, comprendida entre el borde de la Zona I de anclajes y el sendero peatonal de la corona, se protege con trinchos en guadua inmunizada, biomanto y revegetalización. Los trinchos funcionan como barreras transversales que disminuyen la velocidad y el poder erosivo de la escorrentía, retienen sedimentos y conforman pequeñas terrazas que favorecen el establecimiento de la cobertura vegetal; el biomanto protege la superficie mientras se desarrolla la vegetación. La intervención no afecta el sendero peatonal, el andén, las escaleras existentes ni el sendero de acceso a viviendas.



Figura 135. Fotografía de referencia de trinchos de bioingeniería.
Fuente: Cortolima. 2012

4.3.1.1 Objetivos

- Disminución de la erosión superficial en taludes.
- Disipación de la escorrentía superficial en taludes.
- Reducción de la velocidad del flujo hídrico.

4.3.1.2 Lugar de aplicación

Los trinchos se implantan en la franja superior, sobre las curvas de nivel cada 1,00 m de desnivel, entre las cotas 2 690 y 2 703 m s.n.m., en sectores con pendientes medias entre 12° y 34°. Se proyectan 20 trinchos con una longitud total de 195,6 m, sobre una franja de 528,25 m² en planta (585,78 m² de área de talud). Ningún poste, excavación o relleno se ubica a menos de 1,00 m del sendero peatonal, de las escaleras, de la zanja de coronación ni del sendero de acceso a viviendas.

4.3.1.3 Características del diseño

- **Estructura general:** postes verticales de guadua inmunizada y tablero de latas de guadua dispuesto en la cara aguas arriba de los postes, con altura libre de 0,60 m.
- **Postes verticales:** guadua Angustifolia Kunth madura (4 a 6 años), inmunizada por inmersión en solución de sales de boro, de 0,10 a 0,12 m de diámetro y 1,80 m de longitud, hincados 1,20 m y separados 1,00 m.
- **Tablero y amarres:** siete hiladas de latas de guadua inmunizada traslapadas sobre los postes, con el tablero enterrado 0,10 m; amarres con alambre galvanizado calibre 12 en doble vuelta cruzada, ajustado con torsión.
- **Materiales complementarios:** geotextil no tejido NT 2000 o similar en la cara aguas arriba del tablero, relleno con suelo del sitio apisonado a mano en capas no mayores de 0,15 m, biomanto anclado en la corona con trinchera de 0,20 × 0,20 m y ganchos en J, y revegetalización con especies nativas de porte bajo.
- **Disposición espacial:** hileras de trinchos sobre las curvas de nivel cada 1,00 m de desnivel, conforme al cuadro de trinchos del plano SMV-E-05.

4.3.1.4 Ejecución (proceso constructivo)

1) Replantear sobre el terreno el eje de cada trincho a partir de las coordenadas y cotas del plano SMV-E-05, verificando las distancias mínimas al sendero, a las escaleras y a la zanja de coronación.
2) Hincar los postes de guadua 1,20 m, con separación de 1,00 m, iniciando por el trincho más alto.
3) Colocar el geotextil y las latas de guadua en la cara aguas arriba de los postes y amarrarlas con alambre galvanizado calibre 12.
4) Rellenar con suelo del sitio en capas no mayores de 0,15 m, apisonadas a mano, libre de materia orgánica.
5) Instalar el biomanto sobre la franja, anclado en la corona y con traslapos tipo teja, y ejecutar la revegetalización con riego y mantenimiento durante seis meses.

4.3.1.5 Esquemas de implantación

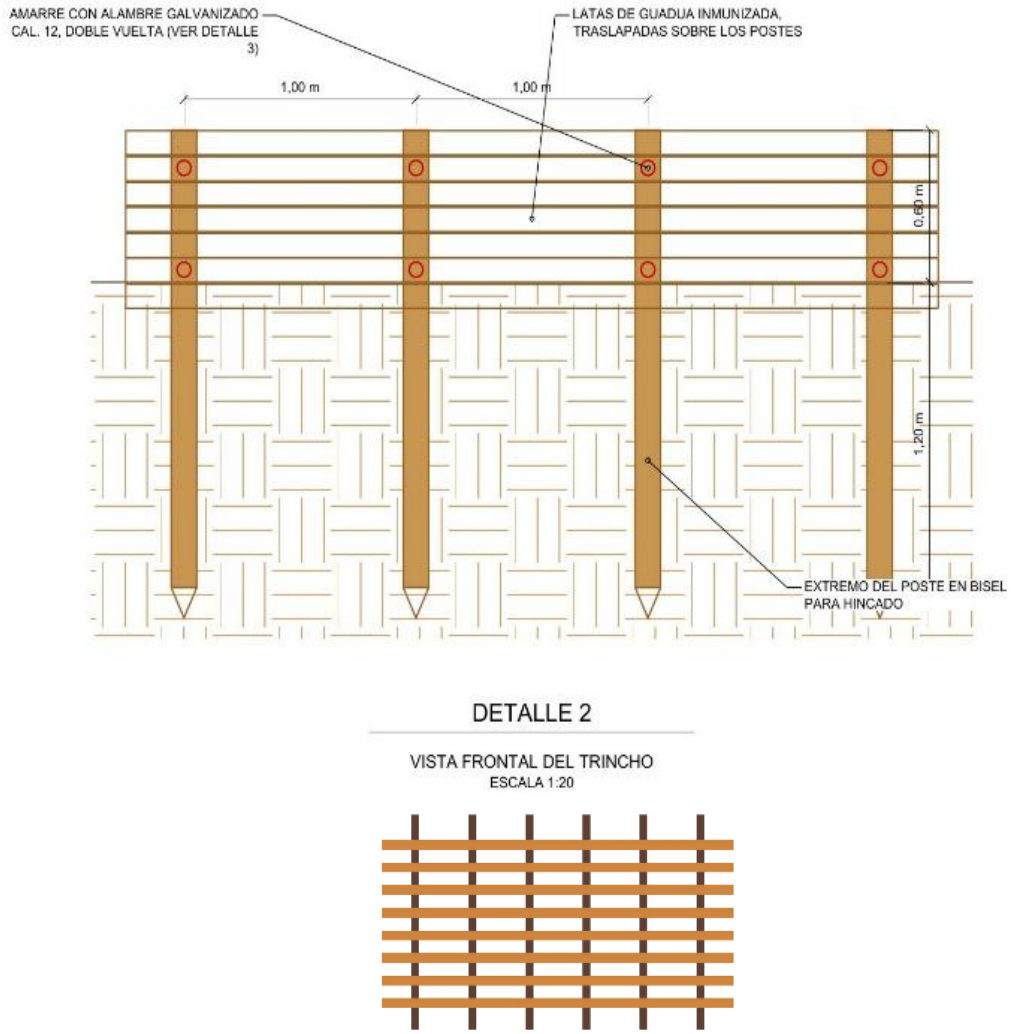


Figura 136. Vista frontal del trincho en guadua.
Fuente: plano SMV-E-05, detalle 2.

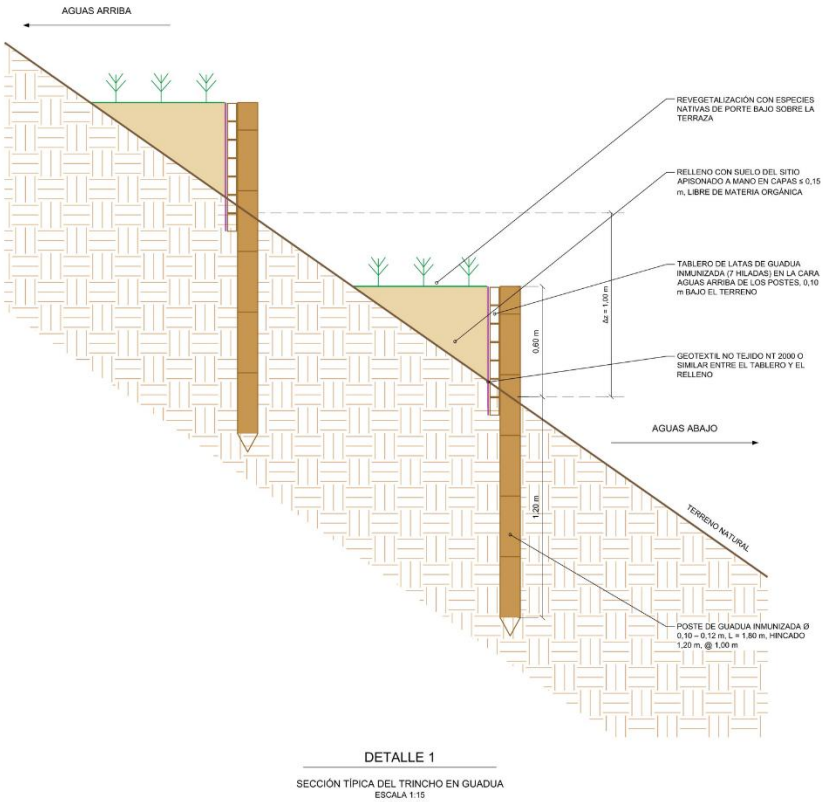


Figura 137. Sección típica del trincho en guadua.
Fuente: plano SMV-E-05, detalle 1.

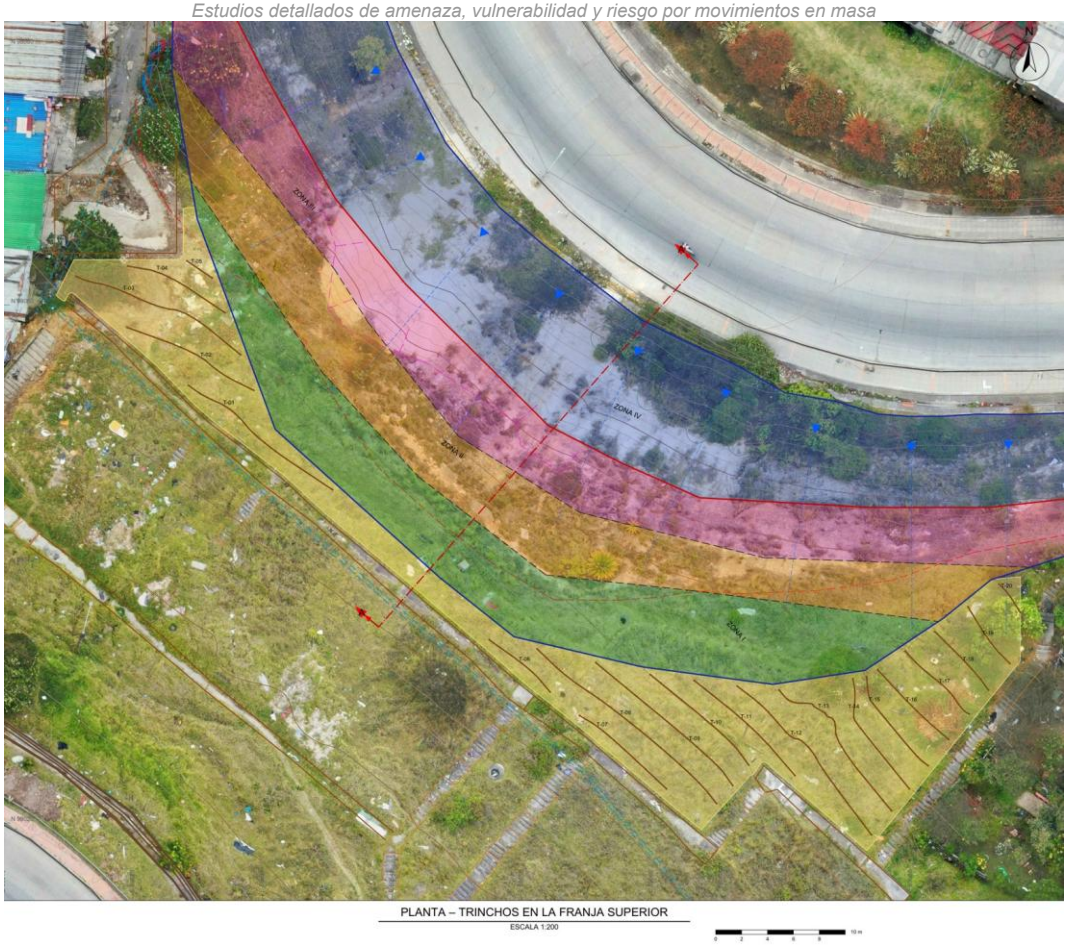


Figura 138. Planta de trinchos en la franja superior.
Fuente: plano SMV-E-05.

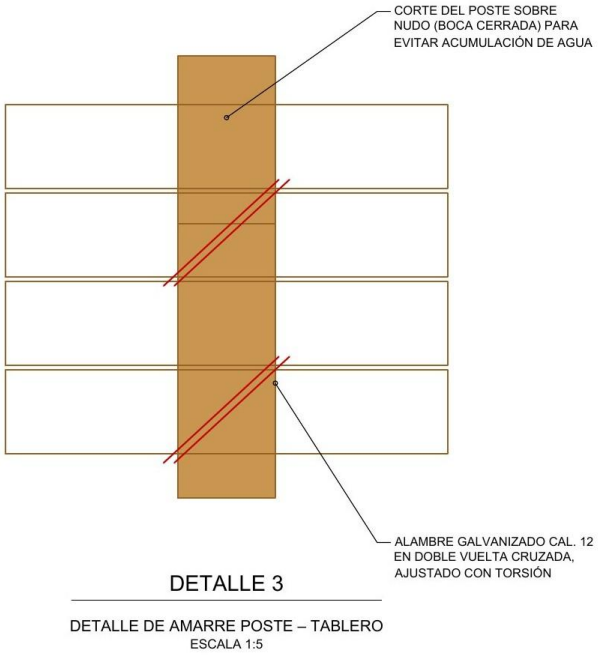


Figura 139. Detalle de amarre poste – tablero.
Fuente: plano SMV-E-05, detalle 3.

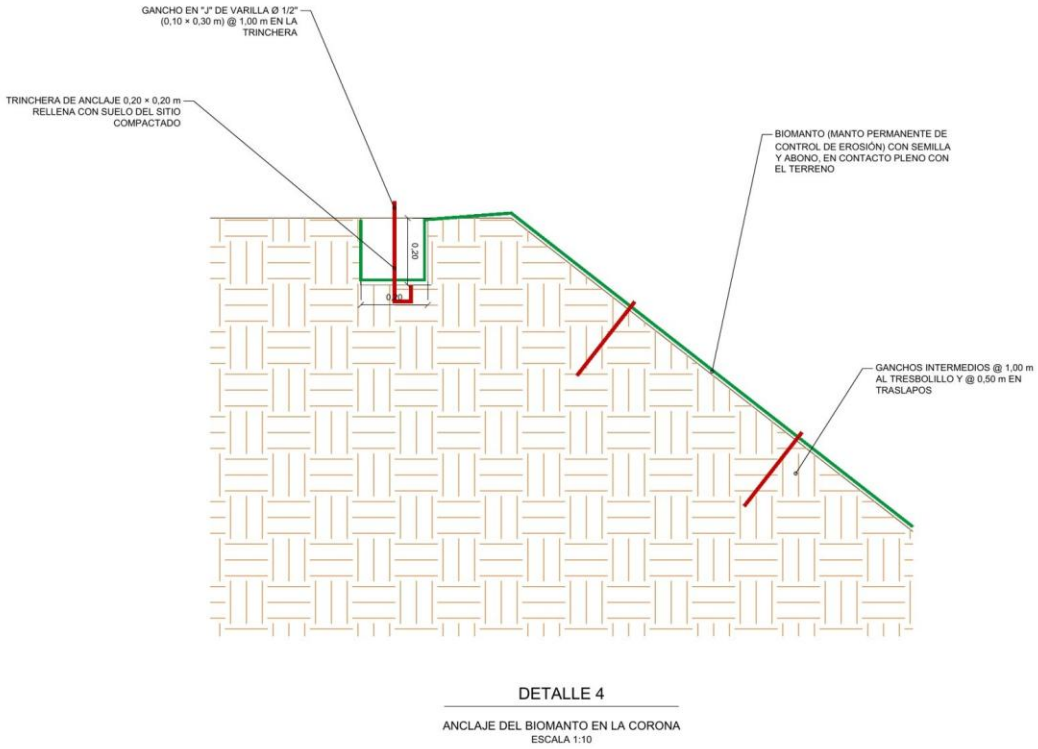


Figura 140. Anclaje del biomanto en la corona.
Fuente: plano SMV-E-05, detalle 4.

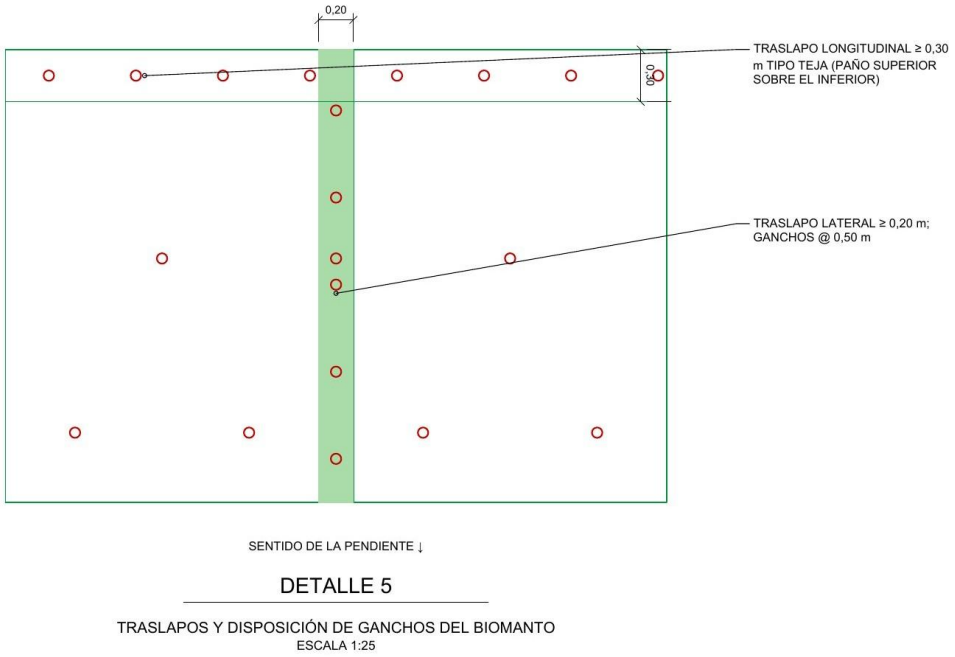


Figura 141. Traslapos y disposición de ganchos del biomanto.
Fuente: plano SMV-E-05, detalle 5.

Las cantidades de obra de la franja superior, calculadas en la memoria de cantidades de obra a partir del cuadro de trinchos del plano SMV-E-05, se presentan en la siguiente tabla. Estas obras no tienen precio unitario en el presupuesto de esta versión; se incorporarán cuando se cuente con el análisis de precio unitario correspondiente.

Tabla 103. Cantidades de obra de la franja superior.

Concepto	Unidad	Cantidad	Criterio	Plano
Trinchos en guadua inmunizada, h = 0,60 m	m	195,56	20 trinchos sobre curvas de nivel	SMV-E-05
Postes de guadua Ø 0,10 – 0,12 m, L = 1,80 m	und	205	Uno cada 1,00 m por trincho	SMV-E-05
Tablero de latas de guadua	m²	136,89	0,70 m por metro de trincho	SMV-E-05
Geotextil no tejido NT 2000 o similar	m²	156,45	0,80 m por metro de trincho	SMV-E-05
Relleno con suelo del sitio apisonado	m³	80,17	½ · 0,60² / tan β por metro	SMV-E-05
Biomanto, franja superior	m²	585,78	Área de talud de la franja	SMV-E-05
Revegetalización, franja superior	m²	585,78	Área de talud de la franja	SMV-E-05
Total trinchos	und	20	Cuadro de trinchos	SMV-E-05

Fuente: memoria de cantidades de obra, hoja TRINCHOS.

4.3.2 PLAN DE MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE SIERRA MORENA III - CORTE VIAL

El presente numeral desarrolla el plan de monitoreo e instrumentación geotécnica del sector de Sierra Morena III - Corte vial (Polígono 4), en el marco de las medidas no estructurales del numeral 4.2. El plan tiene carácter permanente y cubre tres etapas sucesivas: el establecimiento de la línea base con anterioridad a cualquier intervención, el control durante la ejecución de las obras de mitigación y el seguimiento de largo plazo en la etapa de operación. Su objeto es verificar en campo las hipótesis de los modelos de análisis y detectar oportunamente desviaciones del comportamiento previsto, de manera que puedan adoptarse medidas preventivas o correctivas antes de que el proceso alcance una condición crítica.

4.3.2.1 Objeto y alcance

El plan tiene por objeto establecer los instrumentos, su localización, las variables a medir, las frecuencias de lectura, los umbrales de actuación y el protocolo de respuesta asociado, de manera que el comportamiento del terreno y de las estructuras de mitigación quede documentado de forma continua y trazable. El alcance comprende:

- El registro de la condición inicial del sector antes de iniciar cualquier actividad constructiva, sin el cual las lecturas posteriores carecen de referencia.
- El control de las deformaciones del terreno y de las estructuras durante la ejecución de las obras, con especial atención a las configuraciones transitorias más desfavorables.
- La verificación del desempeño de las obras y de la evolución de la amenaza en la etapa de operación.
- La definición de umbrales cuantitativos de actuación y de las acciones asociadas a cada nivel.

No forman parte del alcance de este numeral los ensayos de control de calidad de materiales y de ejecución de las obras, que se rigen por lo establecido en el numeral de proceso constructivo y en las especificaciones técnicas correspondientes.

4.3.2.2 Fundamento técnico: mecanismo a monitorear y variables de control

En este sector coexisten dos procesos que exigen instrumentos distintos. El primero es un deslizamiento asociado a la severa meteorización diferencial del depósito coluvial y del sustrato rocoso. El segundo, y dominante, es la caída de bloques por pérdida de soporte basal: el desleimiento de las intercalaciones de arcillolitas y el lavado continuo de la matriz areno-arcillosa dejan en voladizo los fragmentos y bloques de arenisca, de hasta cerca de 1 m de diámetro, hasta su desprendimiento por gravedad. Los bloques desprendidos alcanzan la berma peatonal y la calzada situadas al pie del corte, condición que define la exposición del sector. El monitoreo debe, en consecuencia, cumplir dos funciones: registrar el desplazamiento superficial de la cara del corte y de su corona, que es la variable que refleja la actividad del proceso de deslizamiento, y caracterizar en profundidad la posición de la superficie de falla y el régimen de presión de poros en el tramo de mayor espesor del depósito coluvial.

La medida estructural proyectada corresponde a un sistema de anclajes y concreto lanzado sobre la cara del corte, complementado con las obras de drenaje previstas. El perfil representativo del sector presenta un desnivel de 46,1 m; la cara del corte se desarrolla con inclinaciones de 38° a 51° y la calzada de la Diagonal 75 Sur, de 12,3 m de ancho, discurre al pie. La altura de caída entre la zona fuente y la vía es de 22,0 m.

Los elementos expuestos son la Diagonal 75 Sur al pie del corte, la berma por la que circulan peatones y que constituye el acceso a los senderos del sector, la Calle 75A Sur en la corona y las viviendas localizadas sobre ella. La autoridad vial dispuso barreras plásticas de canalización a lo largo del borde de la calzada, cuya posición debe conservarse como referencia de contraste del monitoreo.

De la caracterización anterior se desprenden las variables que gobiernan el diseño del plan y que, en consecuencia, deben medirse:

- Desplazamiento horizontal en profundidad, que permite identificar la posición de la superficie de falla y la magnitud y velocidad del movimiento.
- Presión de poros y nivel freático, por ser el agua el factor detonante identificado y por constituir la hipótesis más sensible de los análisis de estabilidad.
- Desplazamiento y asentamiento superficial del terreno y de la obra proyectada.
- Precipitación, como variable explicativa de la respuesta de las anteriores.

4.3.2.3 Instrumentos propuestos

La red propuesta para Sierra Morena III - Corte vial está conformada por 8 elementos, distribuidos según se relaciona en la siguiente tabla.

Tabla 104. Composición de la red de instrumentación propuesta. Sierra Morena III - Corte vial.

Instrumento	Cantidad	Identificadores
Inclinómetro	1	ISM-1
Piezómetro de tubo abierto	1	PZS-1
Punto de control topográfico	6	PTS-1, PTS-2, PTS-3, PTS-4, PTS-5, PTS-6

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.3.1 Inclinómetros

Los inclinómetros constituyen el instrumento principal del plan. Su funcionamiento se basa en una sonda provista de acelerómetros que recorre una tubería guía instalada verticalmente y ranurada en dos direcciones ortogonales; la integración de los perfiles de inclinación entrega el perfil de desplazamiento horizontal en profundidad. Su valor diagnóstico radica en que permiten identificar la cota exacta a la que se concentra la deformación y, por tanto, confirmar o descartar la superficie de falla supuesta en el modelo.

Se propone una longitud de perforación de 20,0 m, de modo que la tubería atraviese el depósito coluvial y el tramo meteorizado del sustrato y se empotre holgadamente en el macizo competente de la Formación Guaduas. La tubería debe quedar solidaria al terreno mediante lechada de cemento-bentonita de rigidez comparable a la del suelo circundante, con protección superficial en caja metálica con tapa y candado. La lectura de origen se ejecuta por duplicado dentro de los tres (3) días siguientes al fraguado de la lechada y define el cero del instrumento; toda lectura posterior se refiere a ella. Los procedimientos de instalación y lectura se sujetan a la norma ASTM D6230.

En la siguiente figura presenta las partes del instrumento y la forma en que se obtiene el perfil de desplazamiento acumulado.

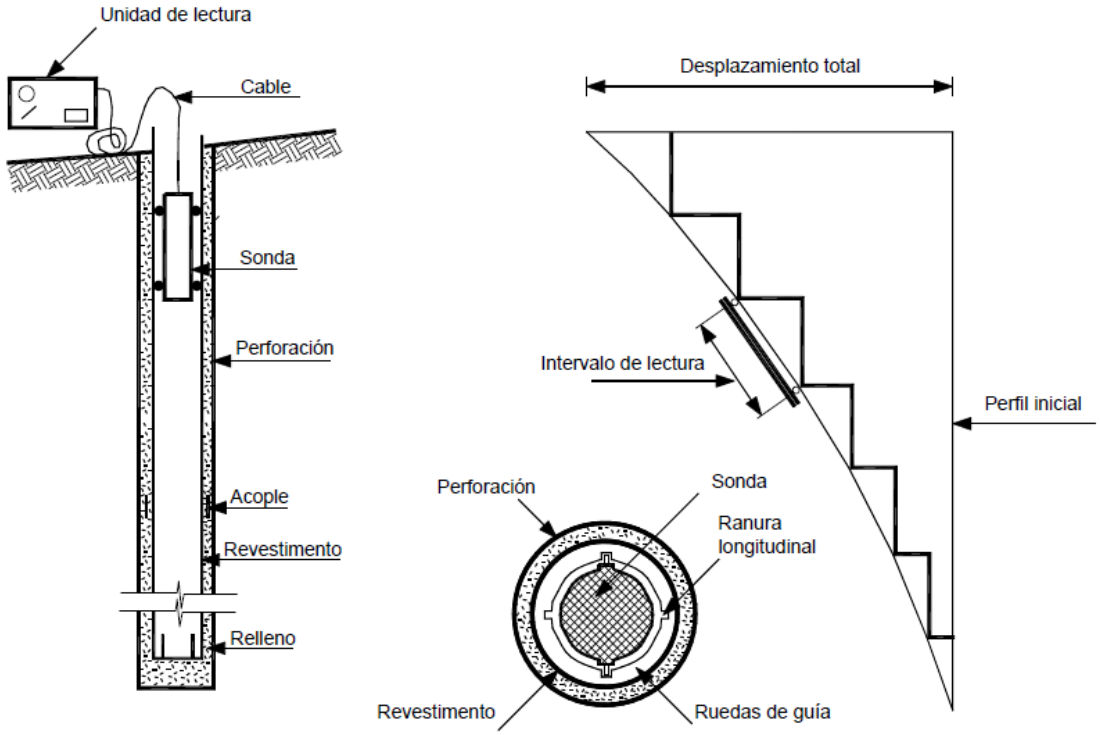


Figura 142. Esquema de partes del inclinómetro y de la medición del desplazamiento acumulado.
Fuente: Hanna (1985).

El sistema consta de cuatro componentes: el revestimiento o tubería guía, la sonda con transductor, la unidad de lectura y el cable eléctrico graduado. El desplazamiento acumulado se obtiene sumando, desde el fondo hacia la superficie, las desviaciones medidas en cada intervalo de lectura respecto del perfil inicial; de ahí que la validez de toda la serie dependa de que el fondo de la tubería quede efectivamente empotrado en material estable.

4.3.2.3.2 Piezómetros de tubo abierto

Se propone la instalación de piezómetros de tubo abierto tipo Casagrande, conformados por tubería de PVC de diámetro no menor de 1" con tramo ranurado envuelto en geotextil no tejido, empaque de arena lavada en el tramo filtrante, sello de bentonita de al menos 1,0 m sobre el empaque y relleno con lechada hasta la superficie. La profundidad prevista es de 20,0 m, de modo que el tramo filtrante abarque el depósito coluvial, el saprolito y el techo del macizo, donde se alojan los niveles colgados asociados a las intercalaciones de arcillolita. La lectura se ejecuta con sonda de nivel de agua de precisión milimétrica, conforme a la norma ASTM D4750. El objeto de estos instrumentos es doble: verificar la hipótesis de presión de poros adoptada en los análisis de estabilidad y comprobar la eficacia de las obras de drenaje una vez construidas.

La siguiente figura presenta la disposición de los componentes del instrumento.

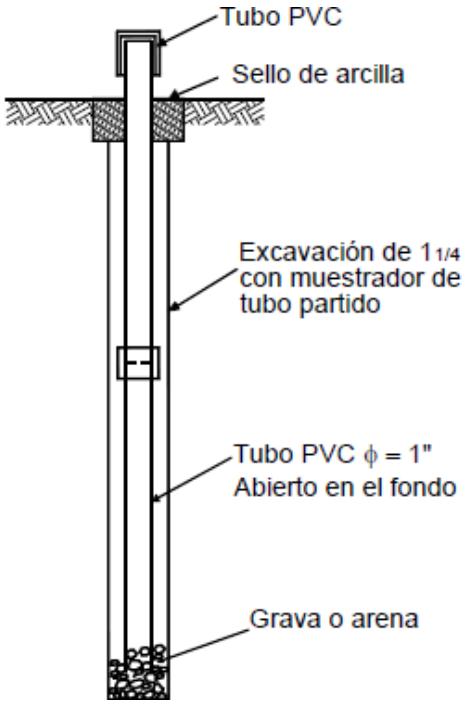


Figura 143. Esquema de un piezómetro de tubo abierto.
Fuente: Suárez (1998).

4.3.2.3.3 Puntos de control topográfico

La forma de materializar cada punto depende de la superficie sobre la que se instala. Sobre terreno natural se funde un mojón en concreto de 0,20 × 0,20 × 0,50 m contra terreno firme, con placa metálica y punto grabado. Sobre el concreto masivo de la obra, corona del muro y viga cabezal, se ancla una placa de referencia con vástago embebido. Sobre el concreto lanzado, cuyo espesor no admite un anclaje profundo, el punto se materializa con una diana o un prisma reflectivo fijado con perno corto a la malla y al recubrimiento, de modo que la lectura se haga sin contacto y sin comprometer la integridad de la protección superficial. En los tres casos el punto grabado o el centro de la diana definen de forma inequívoca el eje de la lectura, de modo que las campañas sucesivas sean comparables entre sí.

La distribución responde a un criterio de continuidad de la serie. Un punto materializado dentro de la huella de la obra se pierde al ejecutarla, y con él toda la información previa; por eso los puntos destinados a la

línea base se ubican en terreno natural inmediatamente por fuera de la zona de intervención, donde sobreviven a la construcción y entregan una serie ininterrumpida desde antes de los trabajos hasta la operación. Los puntos sobre la obra, en cambio, solo pueden existir una vez construida: su lectura de origen es la primera campaña posterior al recibo del elemento correspondiente, y su objeto es medir el comportamiento de la estructura terminada. Las dos familias se solapan durante la etapa de operación, de manera que el movimiento del terreno adyacente y el de la obra puedan compararse entre sí.

Los métodos de medición son tres, complementarios entre sí: la nivelación geométrica de precisión, para los movimientos verticales; la colimación, que mide el desplazamiento respecto de un plano vertical fijo, para el control expedito de los movimientos horizontales en la dirección crítica; y la poligonal cerrada o la radiación desde base conocida, con estación total de precisión angular no mayor de 5″, para el control espacial completo.

Para su implementación se observan los siguientes criterios: amarrar todas las campañas a puntos de control situados fuera del área de influencia del movimiento; densificar la red en la vecindad de la obra y reducirla progresivamente con la distancia; apoyarse, cuando se requiera densificar, en elementos visibles y estables del entorno urbano, como postes, sardineles, esquinas de edificaciones y muros; y registrar coordenadas y cotas de todos los puntos antes de iniciar los trabajos, de manera que la condición inicial quede documentada.

El control topográfico permitirá verificar, en particular, el retroceso de la corona del corte, el desplazamiento de la cara tratada una vez ejecutados los anclajes y el concreto lanzado, y la aparición de deformaciones que anticipen nuevos desprendimientos sobre la berma peatonal y la calzada.

Como el plan no contempla la materialización de puntos base propios, todas las campañas deben amarrarse a los puntos de control del levantamiento topográfico del proyecto, anexo A.1_CART, localizados fuera de la zona de movimiento, y cerrarse sobre ellos. La tolerancia de cierre debe ser inferior al umbral del nivel naranja antes definido; de no alcanzarse, la campaña se repite. La lectura de origen se ejecuta por duplicado en días distintos y su promedio constituye el origen de la serie.

La siguiente figura sitúa los instrumentos sobre el modelo geológico-geotécnico de la sección de análisis y la obra proyectada, de modo que quede explícita la relación entre la profundidad de cada elemento y las unidades que atraviesa.

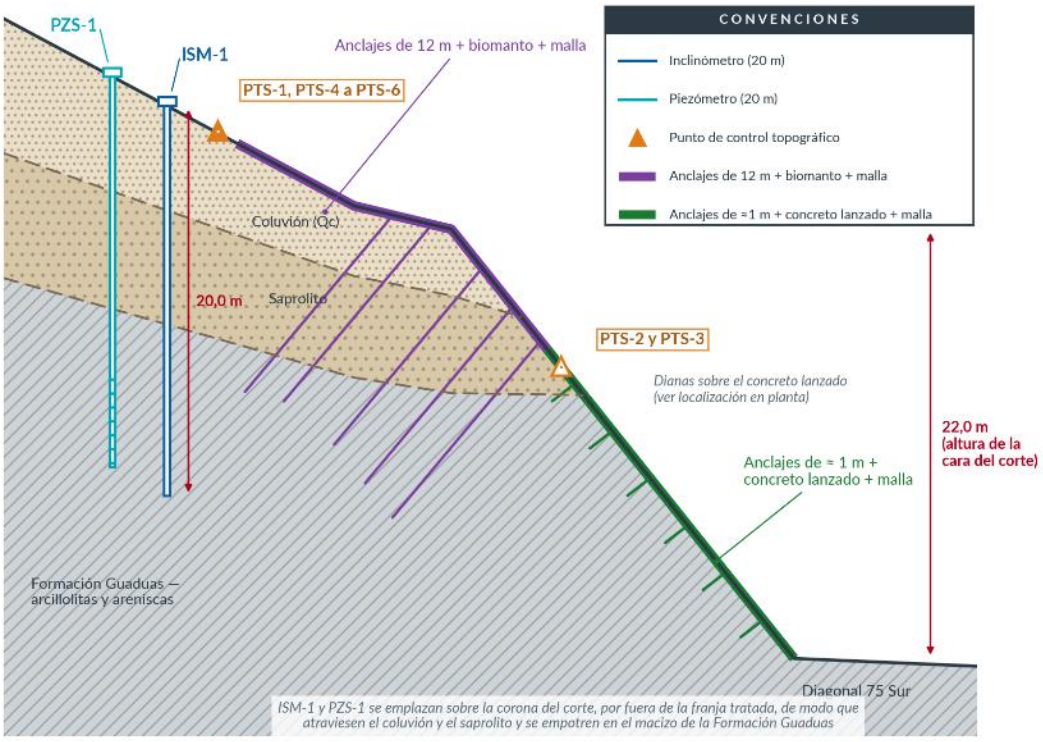


Figura 144. Modelo geológico-geotécnico con la disposición del inclinómetro, del piezómetro y de los puntos de control respecto de la obra proyectada. Sierra Morena III - Corte vial.

Fuente: Elaboración propia. Esquema sin escala.

El esquema muestra que las dianas se fijan sobre la franja tratada con concreto lanzado, por debajo del límite con la zona de biomanto, donde la superficie ofrece un soporte rígido y permanente. Los cuatro mojones en terreno natural quedan sobre la corona del corte, por encima de la cresta y fuera de la superficie que se interviene, de modo que su serie no se interrumpa con la ejecución de las obras. El inclinómetro y el piezómetro se emplazan también sobre la corona, por fuera de la franja tratada, con longitud suficiente para atravesar el depósito coluvial y el saprolito y empotrarse en el macizo de la Formación Guaduas, de modo que la lectura en profundidad quede referida a un tramo estable.

4.3.2.3.4 Localización de la instrumentación

La localización de los instrumentos se estableció a partir de los siguientes criterios: (i) coincidencia con las secciones de análisis del numeral 3.3.2, de modo que las lecturas sean directamente contrastables con los modelos de estabilidad; (ii) disposición de la instrumentación en profundidad en el trasdós de la obra y en la sección de menor factor de seguridad; y (iii) disposición de los puntos de control topográfico sobre la zona de implantación de la obra, cubriendo su desarrollo completo y combinando puntos en terreno natural, legibles desde la línea base, con puntos sobre la estructura, destinados a la etapa de operación. Los elementos expuestos del inventario detallado del numeral 3.1 no se instrumentan en esta versión del plan.

La siguiente figura presenta la disposición propuesta sobre el ortomosaico del sector, junto con la zona de implantación de la obra proyectada, y la relaciona las coordenadas de cada elemento. La zona delimitada corresponde a la superficie de la cara del corte sobre la cual se implantan los anclajes, el concreto lanzado y el biomanto, tomada de la zonificación geotécnica de detalle. PTS-2 y PTS-3 se materializan como dianas sobre el concreto lanzado, en los sectores central y centro-oriental, que son los de mayor actividad; PTS-1, PTS-4, PTS-5 y PTS-6 se ubican como mojones en terreno natural, inmediatamente por fuera de la zona

de intervención, cubriendo sus extremos noroccidental, suroriental y el flanco occidental, de modo que puedan leerse desde antes de los trabajos y sobrevivan a su ejecución. ISM-1 y PZS-1 se disponen contiguos entre sí sobre la corona del corte, en el sector centro-occidental, por fuera de la franja tratada y en la vertical del tramo donde el coluvión alcanza mayor espesor



Figura 145. Localización de la instrumentación geotécnica propuesta sobre ortomosaico. Sierra Morena III - Corte vial.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 105. Coordenadas y características de los instrumentos propuestos. Sierra Morena III - Corte vial.

ID	Instrumento	Este [m]	Norte [m]	Prof. [m]	Lectura desde	Localización
ISM-1	Inclinómetro	89.620,22	98.066,88	20,0	Línea base	Corona del corte, sector centro-occidental, por fuera de la franja tratada
PZS-1	Piezómetro de tubo abierto	89.621,94	98.063,25	20,0	Línea base	Contiguo a ISM-1, control del nivel freático y de los niveles colgados
PTS-1	Punto de control topográfico	89.668,00	98.030,00	N. A.	Línea base	Mojón en terreno natural sobre la corona del corte, sector suroriental
PTS-2	Punto de control topográfico	89.667,55	98.045,40	N. A.	Recibo de obra	Diana sobre el concreto lanzado, sector centro-oriental

ID	Instrumento	Este [m]	Norte [m]	Prof. [m]	Lectura desde	Localización
PTS-3	Punto de control topográfico	89.635,04	98.064,96	N. A.	Recibo de obra	Diana sobre el concreto lanzado, sector de mayor actividad
PTS-4	Punto de control topográfico	89.614,00	98.080,00	N. A.	Línea base	Mojón en terreno natural sobre la corona del corte, sector noroccidental
PTS-5	Punto de control topográfico	89.622,09	98.108,76	N. A.	Línea base	Mojón en terreno natural sobre la corona del corte, extremo noroccidental
PTS-6	Punto de control topográfico	89.703,32	98.043,96	N. A.	Línea base	Mojón en terreno natural, extremo suroriental de la zona de intervención

Fuente: Elaboración propia. Coordenadas planas cartesianas con origen Bogotá (MAGNA-SIRGAS), consistentes con la cartografía del proyecto. Las profundidades son estimadas y se ajustan al perfil encontrado durante la perforación.

Las posiciones consignadas tienen carácter preliminar y deben ser verificadas en el replanteo de las obras. Los ajustes de localización que resulten de la disponibilidad de espacio, de la interferencia con redes de servicios públicos o de las condiciones de acceso deben ser avalados por el especialista geotécnico y por la interventoría, y consignados en el acta correspondiente, conservando en todo caso el número de instrumentos y su función dentro de la red.

4.3.2.4 Etapas del monitoreo y frecuencias de lectura

El programa se organiza en cuatro etapas. La línea base corresponde al período previo a cualquier intervención y su omisión invalida la totalidad del programa, por cuanto no existiría referencia contra la cual comparar. La etapa de construcción concentra las mayores solicitaciones y exige la máxima frecuencia. La etapa de post-construcción, con duración de doce (12) meses contados desde el recibo de las obras, debe cubrir al menos una temporada completa de lluvias. La etapa de operación corresponde al seguimiento permanente de largo plazo.

Tabla 106. Frecuencias mínimas de lectura por instrumento y etapa.

Instrumento	Línea base	Construcción	Post-construcción (12 meses)	Operación
Inclinómetro	Mínimo tres (3) lecturas en quince (15) días; la primera define el origen	Diaria en el frente activo de excavación y semanal en los demás frentes	Quincenal; semanal en temporada de lluvias	Mensual; quincenal en las temporadas de lluvia (marzo–mayo y octubre–noviembre)
Piezómetro de tubo abierto	Mínimo tres (3) lecturas en quince (15) días	Semanal, y diaria durante la excavación activa	Quincenal; semanal en temporada de lluvias	Mensual
Puntos de control topográfico	Dos (2) campañas completas antes de intervenir	Diaria en el frente activo y semanal en los demás frentes	Quincenal	Mensual; quincenal en las temporadas de lluvia

Fuente: Elaboración propia.

Con independencia de la frecuencia programada, debe ejecutarse una campaña extraordinaria completa dentro de las veinticuatro (24) horas siguientes a la ocurrencia de cualquiera de los siguientes eventos: precipitación diaria superior a 40 mm; precipitación acumulada en cinco (5) días superior a 100 mm; sismo sentido en el sector con intensidad igual o superior a IV en la escala de Mercalli modificada; y toda lectura que alcance el nivel rojo o negro de la Tabla 107.

Los puntos materializados sobre la obra se incorporan al programa en el momento en que la estructura correspondiente alcanza la resistencia especificada y desde entonces siguen la frecuencia de la Tabla 107. Hasta ese momento el control superficial del sector recae en los puntos de terreno natural.

Por tratarse de un talud que descarga directamente sobre una vía y una berma peatonal en operación, toda lectura que alcance el nivel rojo obliga a restringir el tránsito en la berma y en el costado de la calzada adyacente al corte, y a reforzar la señalización dispuesta por la autoridad vial, mientras el especialista geotécnico define las medidas correctivas.

4.3.2.4.1 Interpretación de los registros y umbrales de alerta

El objeto de la interpretación es generar una evaluación rápida que permita detectar cambios o anomalías que demanden acciones inmediatas y, en paralelo, identificar tendencias y patrones de movimiento que permitan juzgar la evolución de la estabilidad del sector. Antes de interpretar, los datos deben validarse desde el campo para descartar lecturas erróneas o cuestionables, repitiendo la campaña cuando sea necesario. La interpretación debe ser ejecutada por un ingeniero geotecnista con experiencia, capaz de correlacionar entre sí los registros de inclinómetros, piezómetros y control topográfico, y de establecer con ellos patrones de comportamiento y criterios de decisión. Es un proceso iterativo: los patrones se ajustan a medida que la serie crece, de modo que las interpretaciones deben hacerse con la frecuencia suficiente para detectar oportunamente cualquier cambio.

Los umbrales se organizan en cuatro niveles de alerta, verde, naranja, rojo y negro, y se expresan en dos magnitudes complementarias: el desplazamiento acumulado respecto de la lectura de origen, que mide la magnitud total del movimiento, y la velocidad en milímetros por día, que mide su rapidez y es la que anticipa una aceleración. Los valores adoptados corresponden a la práctica en proyectos de estabilización de laderas en zona urbana y constituyen una guía que debe ajustarse una vez se disponga de al menos seis (6) meses de registro propio. En todos los casos el umbral se compara contra la precisión del equipo: una variación del orden de la precisión no constituye movimiento.

Tabla 107. Precisión de lectura y umbrales de alerta. Sierra Morena III - Corte vial.

Dispositivo y precisión	Magnitud	Verde (leve)	Naranja (moderado)	Rojo (alto)	Negro (muy alto)
Punto de control topográfico	Desplazamiento acumulado	< 15 mm	15 a 30 mm	30 a 60 mm	**> 60 mm**
V: ± 4 mm · H: ± 10 mm	Velocidad	< 0,2 mm/día	0,2 a 0,6 mm/día	0,6 a 1,5 mm/día	**> 1,5 mm/día**
Inclinómetro	Desplazamiento acumulado	< 5 mm	5 a 10 mm	10 a 20 mm	**> 20 mm**
± 6 mm / 30 m	Velocidad	< 0,2 mm/día	0,2 a 0,3 mm/día	0,3 a 0,5 mm/día	**> 0,5 mm/día**
Piezómetro	Ascenso sobre la línea base	< 0,2 m	0,2 a 0,5 m	0,5 a 1,0 m	**> 1,0 m o artesianismo**
± 0,05 a 0,10 m	Velocidad de ascenso	< 0,01 m/día	0,01 a 0,05 m/día	0,05 a 0,10 m/día	**> 0,10 m/día**

Fuente: Elaboración propia.

El nivel se asigna por la lectura más desfavorable de la red: basta que un punto o un instrumento alcance el criterio para que se active el nivel correspondiente en todo el sector. Con independencia de la frecuencia programada, debe ejecutarse una campaña extraordinaria completa dentro de las veinticuatro (24) horas siguientes a una precipitación diaria superior a 40 mm, a una precipitación acumulada en cinco (5) días superior a 100 mm o a un sismo sentido en el sector con intensidad igual o superior a IV en la escala de Mercalli modificada.

4.3.2.4.2 Niveles de alerta y acciones asociadas

A cada nivel de la Tabla 107 corresponde un comportamiento esperado y un conjunto de acciones de obligatorio cumplimiento, unas de ejecución inmediata en campo y otras programadas. Para que el esquema opere, el personal técnico y los equipos necesarios para las medidas de mitigación deben estar disponibles en obra, y debe garantizarse un canal de comunicación permanente entre el personal de campo y la oficina técnica, de manera que el tiempo de respuesta ante una anomalía sea mínimo.

Tabla 108. Niveles de alerta, comportamiento observado y acciones asociadas.

Nivel de alerta	Comportamiento observado	Acción inmediata	Acción programada
Verde (leve)	Desplazamientos y variaciones dentro del rango de precisión de los equipos. Tendencia estable.	Continuar el monitoreo con la frecuencia establecida.	Mantener la periodicidad de lecturas y presentar los reportes rutinarios.
Naranja (moderado)	Movimientos acumulados o variaciones intermedias con tendencia creciente, o ascenso gradual del nivel piezométrico.	Inspección en campo del sector y su entorno, con revisión de grietas nuevas, surgencias y acumulación de agua. Ajustar la frecuencia de lectura según lo observado.	Informar por escrito a la residencia y a la interventoría. Evaluar ajustes en el manejo de aguas superficiales y en el drenaje.
Rojo (alto)	Movimientos significativos o rápidos, o ascenso rápido del nivel piezométrico con riesgo de sobrepresión.	Comunicación inmediata a la residencia y a la dirección de obra. Revisión de los sistemas de drenaje y protección. Incremento inmediato de la frecuencia de monitoreo.	Ejecutar obras menores de mitigación, como zanjas, filtros o sellado de grietas. Informe técnico a la dirección del proyecto y notificación al IDIGER.
Negro (muy alto)	Movimientos críticos con tendencia acelerada, o nivel piezométrico próximo a la superficie o artesiano. Ocurrencia de un nuevo desprendimiento o retroceso visible de la corona del corte.	Llamada inmediata a la dirección de obra y a la interventoría. Suspensión de las actividades en el frente afectado y restricción del acceso al área expuesta. Reunión de emergencia para la toma de decisiones.	Estudio geotécnico complementario urgente y definición e implementación de las obras de estabilización mayores antes de reanudar la operación normal.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.4.3 Registro, procesamiento y entregables

Toda lectura debe consignarse en el formato de campo con fecha, hora, operador, equipo empleado con su certificado de calibración vigente y condición climática del día. El procesamiento debe entregar, como mínimo, los perfiles de desplazamiento acumulado por inclinómetro referidos a la lectura de origen; los planos de vectores de desplazamiento de los puntos de control topográfico y sus series de tiempo de desplazamiento y de velocidad; las series de nivel piezométrico superpuestas al registro de precipitación del período.

Los entregables son un informe mensual durante la construcción y la post-construcción y un informe trimestral en operación, que en todos los casos debe incluir la comparación explícita de cada lectura contra los umbrales antes definidos, el pronunciamiento del especialista geotécnico sobre la tendencia observada y, cuando corresponda, la constancia de las acciones ejecutadas conforme a la Tabla 108. La base de datos debe mantenerse en formato abierto y entregarse actualizada con cada informe.

4.3.2.4.4 Alcance y limitaciones

El plan aquí formulado corresponde al nivel de detalle propio de la fase de estudios y diseños. El número, la localización y la profundidad de los instrumentos son valores de diseño que deben ratificarse o ajustarse durante el replanteo y a partir de la estratigrafía efectivamente encontrada en la perforación de cada inclinómetro y piezómetro. Los umbrales deben revisarse una vez se disponga de al menos seis (6) meses de registro, oportunidad en la cual la dispersión propia de la instrumentación y el ruido de las series quedan caracterizados y permiten ajustar los criterios a la respuesta real del sitio. Los umbrales de precipitación, en particular, tienen carácter preliminar por no derivarse de un análisis de lluvias antecedentes específico para el sector.

El plan de esta etapa dispone una sola vertical instrumentada, conformada por el inclinómetro ISM-1 y el piezómetro PZS-1 sobre la corona del corte, complementada con seis puntos de control superficial. En consecuencia, la superficie de falla y el régimen de presión de poros quedan caracterizados en un único punto del frente, y su representatividad debe verificarse con la propia serie de lecturas. La limitación es relevante en este sector por dos razones: el mecanismo dominante es la caída de bloques por pérdida de soporte basal, que no produce necesariamente desplazamiento en profundidad ni desplazamiento superficial previo detectable en un punto discreto; y la exposición al pie del corte es permanente, por tratarse de una vía y una berma peatonal en operación. Se recomienda, por tanto, que el control instrumental se acompañe de inspección visual periódica de los bloques en voladizo y de registro del volumen de material acumulado en la berma y la cuneta, y que, si cualquier elemento de la red alcanza el nivel naranja o si se documenta un nuevo desprendimiento, se densifique la instrumentación en profundidad con al menos una vertical adicional en el sector afectado.

La red propuesta constituye un alcance mínimo, ajustado al número de instrumentos definido para el proyecto. No contempla puntos base propios, testigos ni pluviómetro en sitio, de modo que el control topográfico depende del amarre a los puntos georreferenciados del levantamiento del proyecto y el seguimiento de la lluvia, de la red hidrometeorológica distrital. Ambas dependencias deben verificarse antes de iniciar el programa: si los puntos de amarre no resultan accesibles o su estabilidad no puede acreditarse, debe materializarse al menos un punto base fuera del área de influencia, sin el cual las lecturas topográficas carecen de referencia absoluta.

El plan no sustituye la inspección visual periódica del sector por parte de personal calificado, que debe mantenerse con la misma frecuencia de las lecturas y cuyos hallazgos, como la aparición de grietas nuevas, surgencias de agua, basculamiento de postes o de muros o deformación de la superficie de rodadura, constituyen información de igual jerarquía que la instrumental.

5 ANÁLISIS PREDIAL Y URBANO

5.1 ALCANCE

El análisis predial y urbano pretende identificar los predios en el área de estudio y realizar un diagnóstico general en cuanto a los componentes catastral, jurídico, físico, urbanístico, normativo y económico, de tal manera que permita determinar la situación predial en el evento de posibles adquisiciones prediales.

5.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.2.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio del proyecto Sierra Morena se ubica en la Localidad 19 - Ciudad Bolívar, en el barrio Sierra Morena sector catastral 002440, específicamente entre la Carrera 73 P y la Transversal 73 H Bis, y entre la Diagonal 75 Sur y la Calle 75A Sur, tal como se señala en la siguiente ilustración:



Figura 146. Localización del área de estudio.

5.2.2 IDENTIFICACIÓN DE PREDIOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

De acuerdo a la información de la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital – UAECD, contenida en la plataforma oficial Mapas Bogotá, se identifican en el área de estudio 14 predios de los cuales 8 corresponden a vías, 3 se identifican como espacio público (2 son zonas verdes de la urbanización), 2 se identifican como predios urbanizados no edificados y 1 es predio disperso. Solo el predio disperso no se reporta como propiedad Distrital.

ID Predio	Barrio	Código CHIP	Cédula Catastral	Tipo de titular	Dirección	Destino Económico	Área Terreno Alfanumérica (M2)
1	SIERRA MORENA	AAA0266YKDM	00244098990000000	DISTRITAL	DG 75 SUR 73B 00	VIA	9652.70

2	SIERRA MORENA	AAA0020LJSK	00244022020000000	DISTRITAL	DG 75B SUR 74 07	ESPACIO PÚBLICO	11366.50
3	SIERRA MORENA	AAA0266YKCX	00244098010000000	DISTRITAL	TV 73H BIS A 75 35 SUR	ESPACIO PÚBLICO	3727.60
4	SIERRA MORENA	AAA0266YOXR	00244071990000000	DISTRITAL	DG 75 BIS SUR 73M 25	VIA	75,20
5	SIERRA MORENA	AAA0266YHXS	00244070980000000	DISTRITAL	DG 75 BIS SUR 73I 00	VIA	581,30
6	SIERRA MORENA	DISPERSO	SIN DATO	DISPERSO	SIN DATO	LOTE	SIN DATO
7	SIERRA MORENA	AAA0266YHYN	00244070990000000	DISTRITAL	TV 73M 75 60 SUR	VIA	91,90
8	SIERRA MORENA	AAA0235NLEA	00244070010000000	DISTRITAL	TV 73M 75 50 SUR	URBANIZADO NO EDIFICADO PROPIEDAD DEL ESTADO	288,00
9	SIERRA MORENA	AAA0266YHUH	00244069990000000	DISTRITAL	TV 73L 75 70 SUR	VIA	154,40
10	SIERRA MORENA	AAA0235NLDM	00244069010000000	DISTRITAL	TV 73I 75 61 SUR	URBANIZADO NO EDIFICADO PROPIEDAD DEL ESTADO	576,00
11	SIERRA MORENA	AAA0266YHTD	00244069980000000	DISTRITAL	TV 73I 75 91 SUR	VIA	2361,00
12	SIERRA MORENA	AAA0266YHZE	00244072010000000	DISTRITAL	CL 75A SUR 73L 30	ESPACIO PÚBLICO	352,00
13	SIERRA MORENA	AAA0266YHWW	00244070970000000	DISTRITAL	DG 75 BIS A SUR 73L 00	VIA	319,10
14	SIERRA MORENA	AAA0266YERU	00244024990000000	DISTRITAL	CL 75A SUR 51 00	VIA	18839,20

Tabla 109. Información Catastral.

Estos predios se localizan e identifican para el presente estudio con ID como se muestra en la siguiente ilustración:

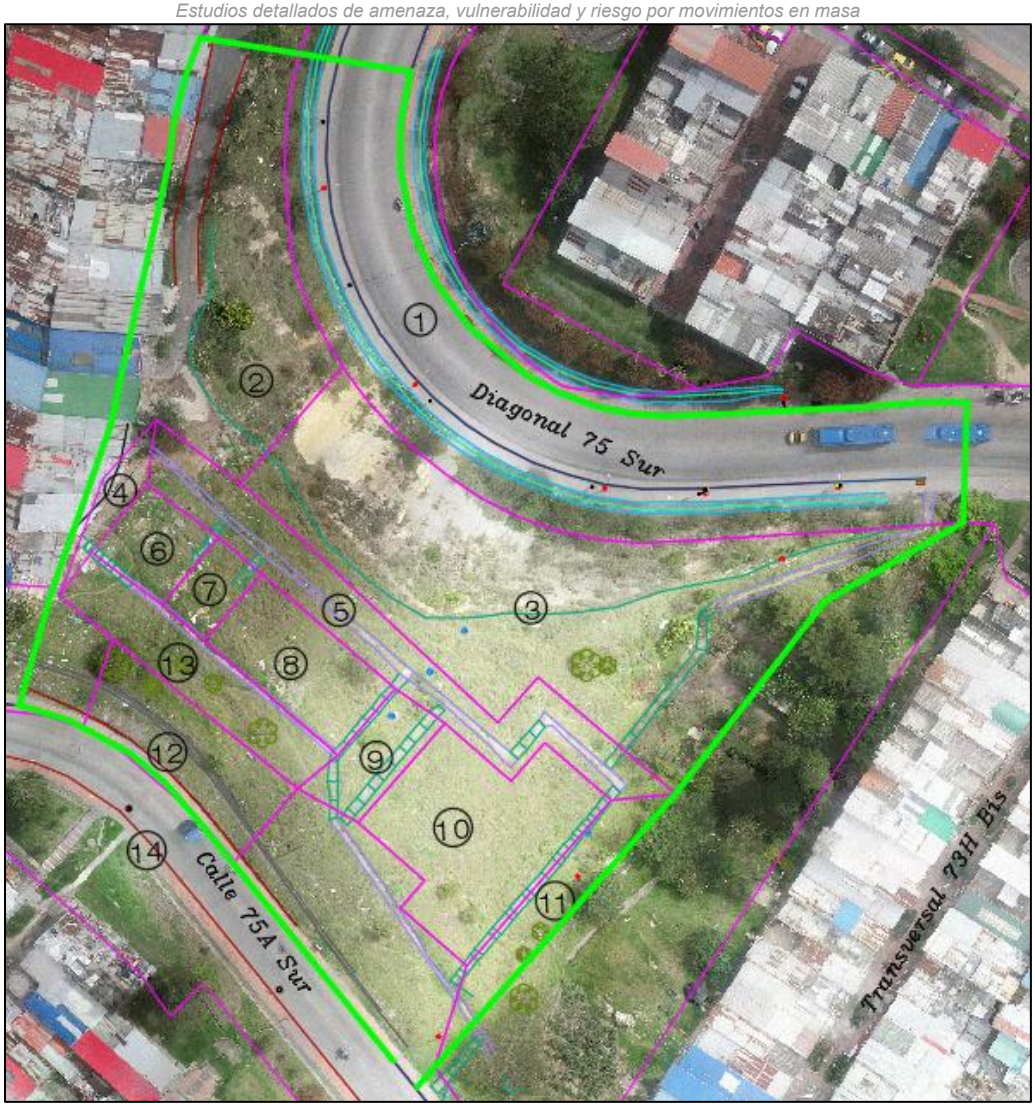


Figura 147. Identificación Catastral de Predios

Otros Datos Catastrales:
Se identifican además de los datos ya relacionados los siguientes para cada predio:

ID Predio	Código Predial Nacional	BARMANPRE	Avalúo Catastral 2026
1	11001012419400098009940000000	002440098099	$ 453,973,000
2	11001012419400063000130000000	002440063001	$ 494,373,000
3	11001012419400000000000000000	002440098001	$ 163,024,000
4	11001012419400000000000000000	002440071099	$ 3,295,000
5	11001012419400070009840000000	002440070098	$ 25,403,000
6	2438091001 (ID LOTE DISPERSO)	002440071001	SIN DATO

7	11001012419400070009940000000	002440070099	$ 4,016,000
8	11001012419400070000130000000	002440070001	$372,096,000
9	11001012419400069009940000000	002440069099	$6,747,000
10	11001012419400069000130000000	002440069001	$ 744,192,000
11	11001012419400000000000000000	002440069098	$ 10,318,000
12	11001012419400072000130000000	002440072001	$ 15,382,000
13	11001012419400000000000000000	002440070097	$13,945,000
14	11001012419400024009940000000	002440024099	$ 1,034,138,000

Tabla 110. Otros Datos Catastrales

Respecto a la información catastral se puede destacar lo siguiente:

- ✓ Todos los predios se identifican como de propiedad Distrital, a excepción del predio con ID 6, que es un predio disperso, probablemente un remante del predio de mayor extensión.
- ✓ 13 de los predios corresponden a espacio público (vías y zonas verdes) y a predios urbanizados no edificados de propiedad Distrital.

5.2.3 INFORMACIÓN JURÍDICA

Una vez descargados los folios de matrícula inmobiliaria de la Ventanilla Única de Registro – VUR, se tiene la siguiente información de titularidad y características jurídicas:

ID Predio	Matrícula inmobiliaria	Dirección FMI	Tipo de Predio	Área Terreno FMI (M2)	Título de Adquisición	Propietario	TIPO ID	No. ID
1	050S40727018	DG 75 SUR 73800	CALLE 76 SUR	9741,14	ESC. 3074 DEL 16/12/2016 NOT. 57 DE BOGOTA D. C.	SECRETARIA DISTRITAL DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP.	NIT	8999990619
2	ESPACIO PUBLICO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
3	050S40727081	TV 73H BIS A 75 35 SUR	ÁREA PARA LA ZONA VERDE A 76A	3685,21	ESC. 3074 DEL 16/12/2016 NOT. 57 DE BOGOTÁ D. C	SECRETARIA DISTRITAL DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP.	NIT	8999990619
4	050S40727264	DG 75 BIS SUR 73M 25	ÁREA PARA LA CARRERA 73	116,45	ESC. 3074 DEL 16/12/2016 NOT. 57 DE BOGOTÁ D. C	SECRETARIA DISTRITAL DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP.	NIT	8999990619

5	050S40727269	DG 75 BIS SUR 731 00	ÁREA PARA LA CALLE 76 SUR C	678,31	ESC. 3074 DEL 16/12/2016 NOT.57 DE BOGOTA D. C.	SECRETARIA DISTRITAL DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP.	NIT	8999990619
6	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
7	050S40727265	TV 73M 75 60 SUR	AREA PARA LA CARRERA 72	91,43	ESC. 3074 DEL 16/12/2016 NOT.57 DE BOGOTA D. C.	SECRETARIA DISTRITAL DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP.	NIT	8999990619
8	050S40627603	TV 73M 75 50 SUR	LOTE DE TERRENO MANZANA 70	288,00	ESC. 2627 DEL 01/11/2012 NOT. 40 DE BOGOTA D. C.	CAJA DE LA VIVIENDA POPULAR	NIT	8999990744
9	050S40727266	TV 73L 75 70 SUR	ÁREA PARA LA CARRERA 71	144,68	ESC. 3074 DEL 16/12/2016 NOT.57 DE BOGOTA D. C.	SECRETARIA DISTRITAL DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP	NIT	8999990619
10	050S40627602	TV 731 75 61 SUR	LOTE DE TERRENO MANZANA69	576,00	ESC. 2627 DEL 01/11/2012 NOT. 40 DE BOGOTA D. C.	CAJA DE LA VIVIENDA POPULAR	NIT	8999990744
11	050S40727267	TV 731 75 91 SUR	ÁREA PARA LA CARRERA 70A	244,31	ESC. 3074 DEL 16/12/2016 NOT.57 DE BOGOTA D. C.	SECRETARIA DISTRITAL DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP	NIT	8999990619
12	050S70727082	SIN DATO	ÁREA PARA LA ZONA VERDE A 76B	305,72	ESC. 3074 DEL 16/12/2016 NOT.57 DE BOGOTA D. C.	SECRETARIA DISTRITAL DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP	NIT	8999990619
13	050S40727268	DG 75 BIS A SUR 73L 00	ÁREA PARA LA CALLE 76A SUR	412,41	ESC. 3074 DEL 16/12/2016 NOT.57 DE BOGOTA D. C.	SECRETARIA DISTRITAL DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP	NIT	8999990619
14	050S40727020	CL 75A SUR 51 00 (	CALLE 76 A SUR	20402,27	ESC. 3074 DEL 16/12/201	SECRETARIA DISTRITAL	NIT	8999990619

					6 NOT.57 DE BOGOTA D. C.	DEL MEDIO AMBIENTE - DADEP		

Tabla 111. Información Jurídica

De la información contenida en los folios de matrícula inmobiliaria descargados de la ventanilla VUR, se puede deducir lo siguiente:

- ✓ De 2 de los predios no fue posible determinar datos de titularidad (ID 2 y 6). El predio 2 se identifica como espacio público y el 6 es un lote, ambos son probablemente remanentes del predio o predios de mayor extensión.
- ✓ 2 predios son propiedad de la Caja de Vivienda Popular y 10 predios son propiedad de la Secretaría Distrital del Medio Ambiente.
- ✓ Ninguno de los predios con datos de titularidad identificados, presentan limitaciones al dominio, gravámenes o medidas cautelares registradas.

5.2.4 INFORMACIÓN URBANÍSTICA

A partir de la información tomada del Sistema SINUPOT de la SDP y del Visor de la Defensoría del Espacio público SIGDEP del Departamento Administrativo de Defensoría del Espacio Público- DADEP, fue posible contar con la siguiente información Urbanística:

ID Predio	Desarrollo Urbanístico	Tipo de Propiedad	ID en Plano Urbanístico	Plano	Área (M2)	RUPI
1	SIERRA MORENA	DISTRITAL	VIA V-6 - DG 75 SUR	CB 58/4-06	9741,14	1268-53
2	SIERRA MORENA	DISTRITAL	PARTE DE LOS LOTES 3 Y 4 DE LA MZ 71, PARTE DE LA CL 76 SUR, PARTE DE LA CL 76A SUR, PARTE DE LA ZONA VERDE	CB 58/4-06	SIN DATO	
3	SIERRA MORENA	DISTRITAL	ZONA VERDE -Z.V.A. 76A	CB 58/4-06	3685,21 (EN PARTE)	1268-418
4	SIERRA MORENA	DISTRITAL	ZONA VERDE -Z.V.A. 76A	CB 58/4-06	3685,21 (EN PARTE)	1268-418
5	SIERRA MORENA	DISTRITAL	VÍA - CL 76 SUR	CB 58/4-06	678,31 (PARTE)	1268-285
6	SIERRA MORENA	DISTRITAL	LOTES 1 Y 2 MZ 71	CB 58/4-06	144,00	
7	SIERRA MORENA	DISTRITAL	VÍA PETONAL - TV 73M	CB 58/4-06	91,43	1268-281
8	SIERRA MORENA	DISTRITAL	LOTES 1,2, 3 Y 4 MZ 70	CB 58/4-06	288,00	
9	SIERRA MORENA	DISTRITAL	VÍA PEATONAL - TV 72 - KR 71	CB 58/4-06	144,68	1268-282
10	SIERRA MORENA	DISTRITAL	LOTES 1 AL 8 - MZ 69	CB 58/4-06	576,00	
11	SIERRA MORENA	DISTRITAL	VÍA PEATONAL - TV 71	CB 58/4-06	244,31	1268-283
12	SIERRA MORENA	DISTRITAL	ZONA VERDE - Z.V.Z. 76B	CB 58/4-06	305,72	1268-419
13	SIERRA MORENA	DISTRITAL	VIA PEATONAL - CL 76 A SUR	CB 58/4-06	412,41	1268-284

14	SIERRA MORENA	DISTRITAL	VÍA VEHICULAR V-5 - DG 76 SUR - HOY CL 75A SUR	CB 58/4-06	20402,27 (EN PARTE)	1268-55

Tabla 112. Información Urbanística

Los predios corresponden a la Urbanización Sierra Morena, aprobada por Resolución No. 1126 de 18/12/1996 del DAPD– hoy Secretaría Distrital de Planeación -SDP. Planos Urbanísticos CB.58/4-00, CB.58/4-04, CB.58/4-06. (Ver plano CB 58/4-06 anexo).

En el SIGDEP (Geo visor del DADEP), el área de estudio se evidencia así:

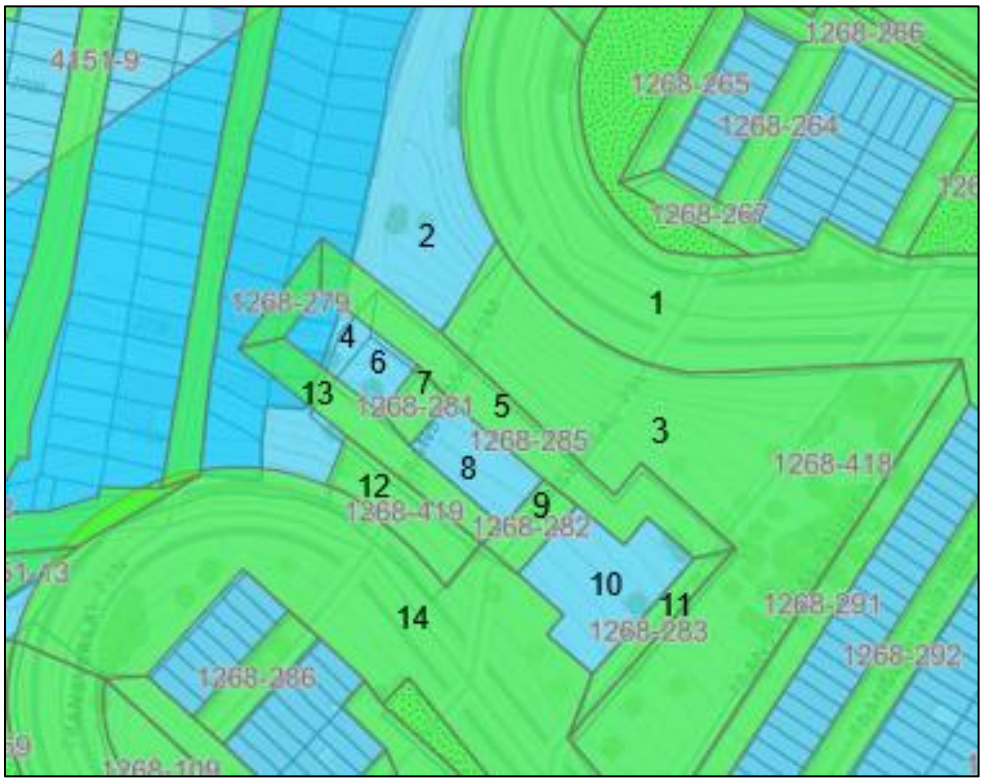


Figura 148. Predios en Información gráfica SIGDEP – DADEP

El predio 6 que está conformado por los lotes 1 y 2 de la Manzana 71, probablemente corresponde a un remanente del predio o predios de mayor extensión, por lo que se presume titularidad en cabeza de particulares.

El predio 2 (con CHIP AAA0020LISK) catastralmente se identifica como propiedad Distrital por su señalamiento en el Plano Urbanístico como zona de cesión. Corresponde a una franja en el costado occidental de la Urbanización conformada por parte de una zona verde y parte de algunas vías, franja que quedó en la Urbanización Sierra Morena al superponer el plano de la Urbanización colindante denominada Santa Viviana Sector Villa Hermosa (Plano Urbanístico CB 58/4-08). No presenta Acta de Toma de Posesión, ni fue posible determinar la titularidad, por lo que se presume corresponde a un remanente del predio o predios de mayor extensión.

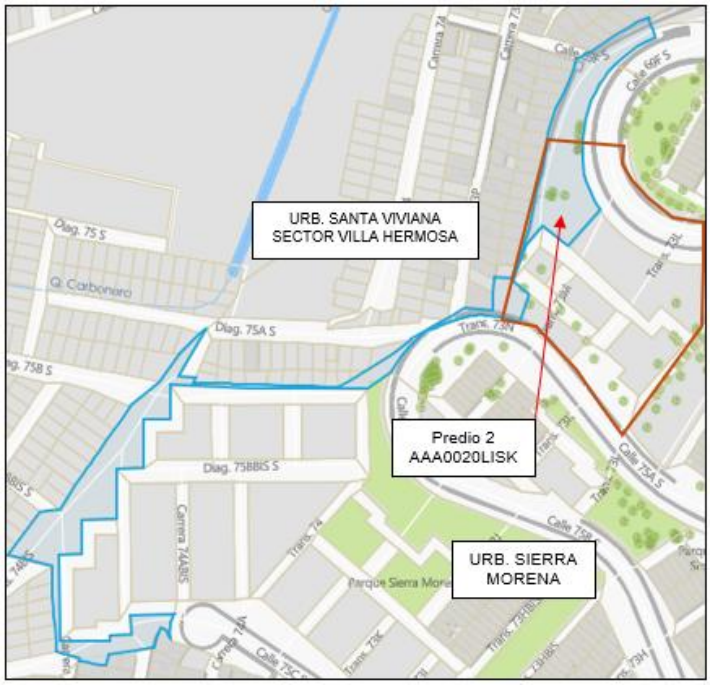


Figura 149. Franja Predio 2



Figura 150. Predio Catastral AAA0020LISK (ID 2) – sobre gráfica SIGDEP

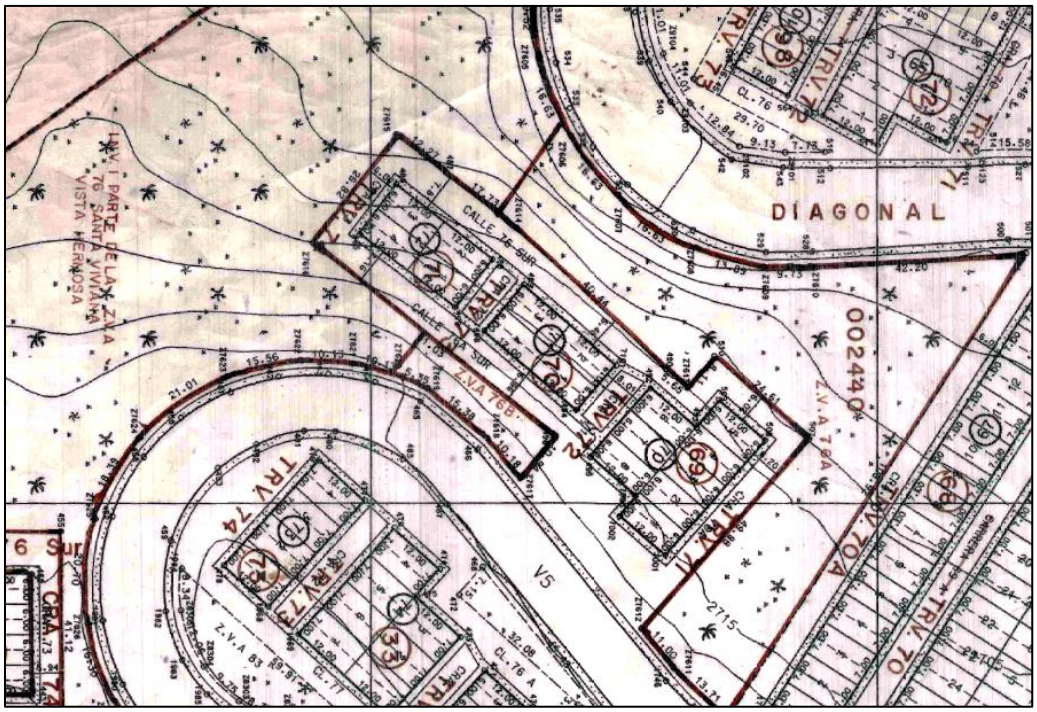


Figura 151. Área e Estudio en Plano Urb. Sierra Morena CB 58/4-06Los predios

Los predios con ID 3 y 4 en el presente estudio, aunque presentan identificación catastral diferente (CHIP AAA0266YKCX y AAA0266YOXR) corresponden al mismo RUPI 1268 -418 (Zona verde).



Figura 152. Predios RUPI 1268-418

10 de los predios (ID 1, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13 y 14) son de propiedad Distrital, adquiridos por la Secretaría de Medio Ambiente, identificados con RUPI. Estos corresponden a espacio público, (vías vehiculares o peatonales y zonas verdes). Los predios con ID 8 y 10 corresponden a lotes adquiridos por la Caja de Vivienda Popular.

5.2.5 INFORMACIÓN NORMATIVA

De acuerdo al Decreto Distrital No. 555 del 29 de diciembre de 2021, por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, el área de estudio se encuentra en:

- **Unidad de Planeamiento Local – UPL:** 03- Arborizadora (Plano CU-5.4.3 del POT)

Número de pisos permitidos: 3

- **Tratamiento Urbanístico:** Mejoramiento Integral

Artículo 332.
Tratamiento Urbanístico de Mejoramiento Integral. *El tratamiento urbanístico de mejoramiento integral aplica a determinadas áreas desarrolladas al interior del suelo urbano que carecen o presentan deficiencias en espacio público, servicios públicos y soportes urbanos. Este tratamiento establece, a partir del reconocimiento del hábitat popular, las directrices que permiten complementar, reordenar, adecuar y consolidar para revitalizar las áreas en condiciones de precariedad y de origen informal, a fin de corregir y mejorar las condiciones urbanísticas y de habitabilidad*

- **Área de Actividad:** Área de Actividad de Proximidad - AAP - Receptora de soportes urbanos

Artículo.240
Área de Actividad de Proximidad*: corresponde a las zonas cuyo uso principal es el residencial, destinadas a la configuración de tejidos residenciales y socioeconómicos locales que permiten el acceso y cercanía de su población a los servicios y al cuidado inmediato requerido, y en el cual se promueve el incremento de la vitalidad urbana, la interacción social y la vida en comunidad, salvaguardando la calidad residencial de los territorios que la conforman.*

Zona Receptora de Soportes Urbanos. *Corresponde a las áreas más deficitarias en soportes urbanos densamente pobladas, donde se requiere consolidar los tejidos socioeconómicos locales y mejorar los entornos urbanos*.

5.2.6 ANÁLISIS DE COSTOS

Teniendo en cuenta que 12 de los predios corresponden a predios con titularidad en cabeza de Entidades Distritales, no se considera calcular costos de adquisición sobre estas áreas.

Respecto al predio 2, señalado urbanísticamente como espacio público a pesar de desconocerse datos de titularidad, tampoco se calculan costos de adquisición por ser de tenencia Distrital.

Respecto al predio 6 se calculan posibles costos de adquisición, dado que no aparece señalado como zona de cesión o espacio público, correspondiente a los lotes 1 y 2 de la Manzana 71 de la Urbanización Sierra Morena, predio identificado catastralmente como disperso, sin determinar datos jurídicos de titularidad, razones por las cuales se presume posible remanente de un predio o predios de mayor extensión con titularidad en cabeza de particulares.

5.2.6.1 Estudio de Mercado

Se efectúa estudio de mercado inmobiliario en el entorno cercano para determinar el valor probable de terreno, encontrando una muestra de 3 ofertas. Los valores pedidos incluyen terreno y construcción por lo que se procede a descontar el valor de la construcción (Método del costo de reposición depreciado) para calcular el valor del terreno a partir del valor pedido al cual se le aplica un factor de descuento entre el 5% y el 10% dado que los precios son negociables.

Para determinar el valor de las construcciones de los predios en oferta, se estiman tipos de construcción con valores entre $800.000 y $ 1.100.000, para una edad promedio de 30 años y un estado de conservación bueno (Clase 2, según tabla de Fitto y Corvini[3]).

De esta manera el valor del terreno se calcula de la siguiente manera:

No	AREA CONST. (M2)	ÁREA LOTE (M2)	VR VENTA	FACTOR OFERTA	VR VENTA DEPURADO	VR CONST/ M2	VR CONST	VR TERRENO	VR/ M2
1	132,00	88	$ 300.000.000	0,90	$ 270.000.000	$ 1.100.000	$ 145.200.000	$ 124.800.000	$ 1.418.182
2	180,00	60	$ 228.000.000	0,95	$ 216.600.000	$ 700.000	$ 126.000.000	$ 90.600.000	$ 1.510.000
3	360,00	180	$ 635.000.000	0,95	$ 603.250.000	$ 900.000	$ 324.000.000	$ 279.250.000	$ 1.551.389

MUESTRAS	3
PROMEDIO ARITMETICO	$ 1.493.190
DESVIACION ESTANDAR	$ 68.176
COEF. DE VARIACION (%)	4,57
VALOR/ M2	$ 1.493.190
LIMITE SUPERIOR	$ 1.561.366
LIMITE INFERIOR	$ 1.425.014
VALOR ADOPTADO/M2	**$ 1.500.000**

Tabla 113. Valor de Terreno/M2

Se determina un valor de terreno en el área de estudio de $1.500.000/m2. El valor de la mediana en la manzana establecido por la UAECD para 2026 es de $ 1.360.000:

[3] *Según Resolución IGAC 620 de 2008 por la cual por la cual se establecen los procedimientos para los avalúos ordenados dentro del marco de la Ley 388 de 1997.*



Figura 153. Mediana del valor de referencia de terreno UAECD

5.2.6.2 Valor del Terreno

De acuerdo a lo ya mencionado, el valor del terreno pare el predio con ID 6 es:

PREDIO	AREA TERRENO (m2)	AREA CONST. (M2)	VR. TERRENO /M2	VR CONST. /M2	VALOR TERRENO	VALOR CONST.	VR TOTAL
6	144,00	0,00	$ 1.500.000	$ -	$ 216.000.000	$ -	$ 216.000.000
TOTAL					**$ 216.000.000**	**$ -**	**$ 216.000.000**

Tabla 114. Valor Terreno Predio 6

5.2.6.3 Cálculo del Daño Emergente

Se estiman los posibles gastos notariales y de registro en eventual proceso de adquisición de la siguiente manera:

PREDIO	COSTO TERRENO Y CONST.	GASTOS NOTARIALES Y DE REGISTRO			TOTAL
		Derechos notariales (0.54%*Vr venta)+IVA	Impuesto de Registro (Beneficencia) 1%	Derechos de Registro y Anotación (1.67 %)	
6	$ 216.000.000	$ 1.388.016,00	$ 2.160.000,00	$ 1.447.200,00	$ 4.995.216,00
TOTAL	**$ 216.000.000**	**$ 1.388.016,00**	**$ 2.160.000,00**	**$ 1.447.200,00**	**$ 4.995.216,00**

Tabla 115. Costo Daño Emergente Predio 6

5.2.6.4 Costo Total

PREDIO	VALOR TOTAL TERRENO Y CONST	DAÑO EMERGENTE (Gastos notariales y de registro)	COSTO TOTAL
6	$ 216.000.000	$ 4.995.216	$ 220.995.216
TOTAL	**$ 216.000.000**	**$ 4.995.216**	**$ 220.995.216**

Tabla 116. Costo Total Predio 6

6 PRESUPUESTOS, PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y PROGRAMACIÓN DE OBRA

El presupuesto se presenta en el anexo correspondiente, y se basa en los precios de referencia del IDU, conformándose por los siguientes elementos:

6.1 MEMORIAS DE CÁLCULO ESTRUCTURAL

Las memorias de cantidades de obra se presentan en el anexo de presupuesto. Incluyen los formatos de cantidades para cada ítem de la estructura general del presupuesto y la memoria de cantidades de obra de las obras de mitigación de Sierra Morena III, con las hojas de anclajes, revestimientos, drenaje y trinchos, formuladas y referidas a los planos SMV-E-01 a SMV-E-06, junto con las figuras de los planos y detalles correspondientes.

6.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

Las Especificaciones de obra, se relacionan con las Especificaciones IDU, y para los casos particulares se anexa la especificación que corresponda. Igualmente se puede consultar en el Anexo Correspondiente.

6.3 PRESUPUESTO Y CANTIDADES DE OBRA

Junto con el presupuesto, se presentan los Análisis de Precios Unitarios, para las actividades de obra que no se encuentre la debida referencia en los precios IDU, estos se presentan en el correspondiente anexo.

El documento estructura el presupuesto de obra en diversas etapas que abarcan tanto la fase de consultoría (estudios, monitoreo e instrumentación geotécnica) como la fase de ejecución constructiva a precios unitarios, detallando ítems de preliminares, movimientos de tierra y otras obras de conservación.

Los costos directos de obra suman $4.863.850.937, valor que corresponde a la ejecución neta de las actividades físicas (producto de las cantidades de obra por el valor unitario de cada ítem, sin recargos indirectos). Sobre este costo directo se aplica el porcentaje de Administración, Imprevistos y Utilidad (A.I.U.) del 32 %, con lo que el valor total del componente de obra a precios unitarios asciende a $6.420.282.657. Las cantidades de los ítems de anclajes, revestimientos y drenaje corresponden a los planos SMV-E-01 a SMV-E-06 y se incluye el ítem 4.004 de lloraderos; las obras de la franja superior (trinchos en guadua, biomanto y revegetalización) se cuantifican en la memoria de cantidades de obra y no tienen precio unitario en esta versión del presupuesto.

6.4 PROGRAMACIÓN DE OBRA

Se presentan los soportes correspondientes a los rendimientos, y ejecución presupuestal, en función de los tiempos, y se plasma en el correspondiente cronograma de actividades conforme la estructura de desglose del trabajo. Esta obra se estima una ejecución entre 6 a 8 meses, que sumando las otras intervenciones producto de esta consultoría, se podría estimar la ejecución de las 3 obras en 10 meses.

7 INSUMOS PARA TRAMITES PERMISOS

El único trámite a realizar en el marco del contrato de obra es la solicitud de autorización o permiso de aprovechamiento forestal ante la Secretaria Distrital de Ambiente, principalmente para la obra en el corte vial de Sierra Morena III.

7.1 INVENTARIO FORESTAL

En general, se evidencia que el arbolado localizado en los diferentes predios ha tenido mantenimiento, unos más que otros o incluso lugares como el barrio Porvenir que conserva un árbol y el único, mientras que Arborizadora alta se observa arboles plateados, pero esto no Sierra morena. En general para la mayoría de los individuos presentan un lugar de emplazamiento adecuado para su desarrollo y sobresalen especies propias de regeneración natural.

La intervención silvicultural considerada para cada individuo y su ubicación, se consideraron cinco (5) tipos de intervención: conservación, poda, tala, traslado y tratamiento integral. De esta manera, se tienen 16 individuos para conservación, 11 para poda, 58 para tala, 1 para tratamiento integral y 3 para traslado.

La siguiente tabla presenta el tratamiento silvicultural propuesto junto a la ubicación de cada una de estos sectores objeto de estudio.

Tabla 117. Tratamientos silviculturales propuestos por individuo

No Ind.	Barrio	Tratamiento silvicultural	Nombre científico
1	Sierra Morena	Tratamiento integral	*Cytharexylum subflavescens*
2	Sierra Morena	Conservación	*Ligustrum lucidum*
3	Sierra Morena	Tala	*Cytharexylum subflavescens*
4	Sierra Morena	Tala	*Cytharexylum subflavescens*
5	Sierra Morena	Conservación	*Tecoma stans*
6	Sierra Morena	Conservación	*Ligustrum lucidum*
7	Sierra Morena	Conservación	*Bacharis floribunda*
8	Sierra Morena	Conservación	*Morella parvifolia*
9	Sierra Morena	Conservación	*Bacharis floribunda*
10	Sierra Morena	Conservación	*Bacharis floribunda*
11	Sierra Morena	Conservación	*Bacharis floribunda*
12	Sierra Morena	Conservación	*Bacharis floribunda*
13	Sierra Morena	Conservación	*Paraserianthes lophanta*
14	Sierra Morena	Conservación	*Bacharis floribunda*
15	Sierra Morena	Conservación	*Bacharis floribunda*
16	Sierra Morena	Tala	*Paraserianthes lophanta*
17	Sierra Morena	Tala	*Ligustrum lucidum*
18	Sierra Morena	Tala	*Bacharis floribunda*
19	Sierra Morena	Tala	*Tecoma stans*
20	Sierra Morena	Tala	*Tecoma stans*
21	Sierra Morena	Tala	*Tecoma stans*
22	Sierra Morena	Tala	*Tecoma stans*
23	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
24	Sierra Morena	Tala	*Paraserianthes lophanta*
25	Sierra Morena	Tala	*Bacharis floribunda*
26	Sierra Morena	Tala	*Paraserianthes lophanta*
27	Sierra Morena	Tala	*Cotoneaster multiflora*
28	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*

No Ind.	Barrio	Tratamiento silvicultural	Nombre científico
29	Sierra Morena	Tala	*Cotoneaster multiflora*
30	Sierra Morena	Tala	*Cotoneaster multiflora*
31	Sierra Morena	Tala	*Cotoneaster multiflora*
32	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
33	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
34	Sierra Morena	Tala	*Cotoneaster multiflora*
35	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
36	Sierra Morena	Traslado	*Cotoneaster multiflora*
37	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
38	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
39	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
40	Sierra Morena	Tala	*Bacharis floribunda*
41	Sierra Morena	Tala	*Prunus serotina*
42	Sierra Morena	Tala	*Prunus serotina*
43	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
44	Sierra Morena	Tala	*Bacharis floribunda*
45	Sierra Morena	Tala	*Cotoneaster multiflora*
46	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
47	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
48	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
49	Sierra Morena	Tala	*Paraserianthes lophanta*
50	Sierra Morena	Tala	*Paraserianthes lophanta*
51	Sierra Morena	Tala	*Bacharis floribunda*
52	Sierra Morena	Tala	*Prunus serotina*
53	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
54	Sierra Morena	Tala	*Prunus serotina*
55	Sierra Morena	Tala	*Morella parvifolia*
56	Sierra Morena	Traslado	*Fraxinus chinensis*
57	Sierra Morena	Tala	*Bacharis floribunda*
58	Sierra Morena	Tala	*Prunus serotina*
59	Sierra Morena	Tala	*Prunus serotina*
60	Sierra Morena	Tala	*Sambucus nigra*
61	Sierra Morena	Conservación	*Sambucus nigra*
62	Sierra Morena	Tala	*Eucalyptus globulus*
63	Sierra Morena	Conservación	*Cupressus lusitanica*
64	Sierra Morena	Tala	*Paraserianthes lophanta*
65	Sierra Morena	Conservación	*Ficus carica*
66	Sierra Morena	Tala	*Tecoma stans*
67	Sierra Morena	Tala	*Tecoma stans*
68	Sierra Morena	Tala	*Prunus serotina*
69	Sierra Morena	Tala	*Paraserianthes lophanta*
70	Sierra Morena	Tala	*Sambucus nigra*
71	Sierra Morena	Tala	*Bacharis floribunda*
72	Porvenir	Conservación	*Sambucus nigra*
73	Arborizadora Alta	Poda de formación/realce	*Tecoma stans*
74	Arborizadora Alta	Poda de formación/realce	*Tecoma stans*
75	Arborizadora Alta	Tala	*Paraserianthes lophanta*
76	Arborizadora Alta	Poda de formacion/realce	*Tecoma stans*
77	Arborizadora Alta	Poda de formacion/realce	*Tecoma stans*
78	Arborizadora Alta	Poda de formacion/realce	*Tecoma stans*
79	Arborizadora Alta	Tala	*Sambucus nigra*
80	Arborizadora Alta	Traslado	*Tecoma stans*

No Ind.	Barrio	Tratamiento silvicultural	Nombre científico
81	Arborizadora Alta	Tala	*Paraserianthes lophanta*
82	Arborizadora Alta	Poda de formacion/realce	*Prunus serotina*
83	Arborizadora Alta	Poda de formación control de alturas	*Acacia decurrens*
84	Arborizadora Alta	Tala	*Acacia decurrens*
85	Arborizadora Alta	Poda de formacion/realce	*Acacia decurrens*
86	Arborizadora Alta	Poda de formación control de alturas	*Acacia decurrens*
87	Arborizadora Alta	Poda de formación control de alturas	*Carica pubescens*
88	Arborizadora Alta	Tala	*Prunus serotina*
89	Arborizadora Alta	Poda de formación control de alturas	*Prunus serotina*

Fuente: Consorcio Preservar, 2026

7.2 ESTUDIO AMBIENTAL

7.2.1 ALCANCE

El presente Plan de Manejo Ambiental corresponde al sector de **Corte Vial Sierra Morena III**, ubicado en la Localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá D.C., y se desarrolla como parte de los estudios y diseños detallados e integrales con planteamiento de medidas de reducción de riesgo por movimientos en masa, que permitan la correcta inversión y ejecución de obras de mitigación, en la localidad de ciudad bolívar.

El estudio comprende la caracterización ambiental del área de intervención mediante la recopilación y análisis de información primaria y secundaria de los componentes físico, biótico y socioeconómico, así como la identificación y evaluación de los impactos ambientales asociados a las actividades proyectadas.

A partir de lo anterior, se formulan las medidas y acciones de manejo ambiental aplicables a las obras, incluyendo el manejo de materiales, residuos y RCD, aguas, sustancias químicas, cobertura vegetal, fauna y paisaje, de acuerdo con lo establecido en el Anexo Técnico y la normativa ambiental aplicable.

7.2.2 NORMATIVIDAD APLICABLE

Con el propósito de garantizar que la elaboración de la presente Línea Base Ambiental se desarrolle conforme a los lineamientos técnicos, ambientales y normativos vigentes, se realizó la recopilación y revisión del marco normativo aplicable a nivel nacional, distrital y local, relacionado con la gestión ambiental, el ordenamiento territorial, la gestión del riesgo y las intervenciones en zonas susceptibles a procesos de remoción en masa.

La identificación de la normativa aplicable permite establecer los criterios técnicos y legales que orientan la caracterización ambiental del área de estudio, así como la formulación de lineamientos y consideraciones ambientales para el desarrollo de futuras intervenciones en el sector objeto de análisis.

En este sentido, a continuación, se presenta la relación de normas, decretos, resoluciones y demás instrumentos regulatorios considerados para la elaboración del presente documento de Línea Base Ambiental.

Tabla 118. Marco normativo

COMPONENTE	DENOMINACIÓN	EMITE	OBJETO
GENERALES	Decreto Ley 2811 de 1974	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

COMPONENTE	DENOMINACIÓN	EMITE	OBJETO
	Ley 99 de 1993	Congreso	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
	Acuerdo distrital 248 de 2006	Concejo De Bogotá	Por el cual se modifica el Estatuto General de Protección Ambiental del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones.
	Ley 1333 de 2009	Congreso	Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.
	Decreto 1076 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
	Decreto 2372 de 2010	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Sobre los criterios, categorías y jurisdicción de las áreas protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas.
	Resolución 415 del 2010	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se reglamenta el Registro Único de Infractores Ambientales (RUIA) y se toman otras determinaciones.
	Decreto 623 de 2011	Alcaldía de Bogotá	Por medio del cual se clasifican las áreas-fuente de contaminación ambiental Clase I, II y III de Bogotá, D.C., y se dictan otras disposiciones.
	Acuerdo 19 de 1996	Concejo De Bogotá	Por el cual se adopta el Estatuto General de Protección Ambiental del Distrito Capital de Santa Fe de Bogotá y se dictan normas básicas necesarias para garantizar la Preservarción y defensa del patrimonio ecológico, los recursos naturales y el medio ambiente. (Reglamentado parcialmente por el Decreto Distrital 417 de 2006)

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
PLAN DE DESARROLLO DISTRITAL	Acuerdo 927 de 2024		Concejo De Bogotá	Por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas del Distrito Capital 2024-2027 “Bogotá Camina Segura”
RECURSOS NATURALES	A G U A	Decreto 1541 de 1978	Presidente De La República De Colombia	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. (Modificado por el Decreto Nacional 2858 de 1981)
		Decreto 4742 de 2005	Presidente De La República De Colombia	Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 mediante el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.
		Decreto 3930 de 2010	Presidente De La República De Colombia	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. (Compilado por el Decreto 1076 de 2015)
		Decreto 4728 de 2010	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 4728 de 2010, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010.
		Ley 373 de 1997	Congreso	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, busca Preservar la oferta hídrica a partir de la formulación de proyectos y acciones que deben adoptar los usuarios.
		Resolución 3956 de 2009	Secretaria Distrital de Ambiente	Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados al recurso hídrico en el Distrito Capital
		Resolución 1424 de 2011	Secretaria Distrital de Ambiente	Por la cual se suspenden términos en las actuaciones administrativas relacionadas con el manejo del Recurso Hídrico y se adoptan otras determinaciones

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
		Resolución 0631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
	ATMOSFÉRICO	Resolución 0601 de 2006	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
		Decreto 506 de 2003	Alcaldía de Bogotá	Por el cual se reglamentan los Acuerdos 01 de 1998 y 12 de 2000, compilados en el Decreto 959 de 2000; en el contexto de la reglamentación de publicidad exterior visual.
		Resolución 762 de 2022	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se reglamentan los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamentan los artículos 2.2.5.1.6.1, 2.2.5.1.8.2 y 2.2.5.1.8.3 del Decreto 1076 de 2015 y se adoptan otras disposiciones
		Decreto 555 de 2021	Alcaldía de Bogotá	Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.
		Resolución 909 de 2008	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
		Resolución 0627 de 2006	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental disposiciones.
		Resolución 8321 de 1983	Ministerio de Salud	Por la cual se dictan normas sobre Protección y conservación de la Audición, de la Salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos.
		Resolución 2254 de 2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Adopta la norma de calidad del aire ambiente la cual incorpora un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes, incluyendo nuevos contaminantes y

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
				definiendo elementos técnicos integrales para mejorar la gestión de la calidad del aire.
	SUELO	Ley 388 de 1997	Congreso	Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones. (Adicionado por la Ley 614 de 2000.)
	BIODIVERSIDAD	Decreto 1608 de 1978	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y la Ley 23 de 1973 en materia de fauna silvestre.
		Ley 299 de 1995	Congreso	Por la cual se protege la flora colombiana, se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones.
		Ley 99 de 1993	Congreso	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Protección de los Recursos Naturales.
		Resolución 126 de 2024	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se establece el listado oficial de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera, se actualiza el Comité Coordinador de Categorización de las Especies Silvestres Amenazadas en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones
		Ley 165 de 1994	Congreso	Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992. (Reglamentada por el Decreto Nacional 2372 de 2010)
	FO	Decreto 1791 de 1996	Presidente de la República de Colombia	Por medio de la cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal.

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
	RESTAL	Ley 299 de 1996	Congreso	Por la cual se protege la flora colombiana, se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones.
		Acuerdo 653 de 2016	Concejo De Bogotá	Por el cual se implementan acciones para el manejo integral de la población de Palomas en el Distrito Capital y se dictan otras disposiciones
		Resolución 4090 de 2007	LA SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE Y EL DIRECTOR DEL JARDÍN BOTANICO JOSE CELESTINO MUTIS	Por la cual se adopta el manual de arborización para Bogotá D.C.
		Decreto 646 DE 2025	EL ALCALDE MAYOR DE BOGOTÁ	Por medio del cual se expide el Decreto Único Distrital del Sector Ambiente
		Resolución 6563 de 2011	Secretaria Distrital De Ambiente	Por la cual se dictan disposiciones para la racionalización y el mejoramiento de trámites de arbolado urbano
		Acuerdo 327 de 2008	Concejo De Bogotá	Por medio cual se dictan normas para la planeación, generación y sostenimiento de zonas verdes denominadas "Pulmones Verdes" en el Distrito Capital y se dictan otras disposiciones.
		Acuerdo 418 de 2009	Concejo De Bogotá	Por el cual se promueve la implementación de tecnologías arquitectónicas sustentables, como techos o terrazas verdes, entre otras en el D. C. y se dictan otras disposiciones.
		Acuerdo distrital 435 de 2010	Concejo De Bogotá	Por medio del cual se dictan lineamientos para ampliar la cobertura arbórea en parques y zonas verdes de equipamientos urbanos públicos.
		Resolución 1909 de 2017	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Por la cual se establece el Salvoconducto Único Nacional en Línea para la movilización de especímenes de la diversidad biológica.

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
		Resolución conjunta 001 de 2019	Secretaría Distrital de Planeación	Por medio de la cual se establecen los lineamientos y procedimientos para la Compensación por endurecimiento de zonas verdes por desarrollo de obras de infraestructura, en cumplimiento del Acuerdo Distrital 327 de 2008.
		Decreto 646 de 2025	EL ALCALDE MAYOR DE BOGOTÁ	Por medio del cual se modifica y adiciona el Decreto Distrital 531 de 2010, y se toman otras determinaciones.
FACTORES DE AFECTACIÓN	ENERGÍA	Ley 685 de 2002	Congreso	Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.
		Resolución 194 de 2025	LA MINISTRA DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO	Por medio de la cual se definen los parámetros y Lineamientos de construcción sostenible, se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, se sustituye la Resolución 0549 del 2015 y se dictan otras disposiciones.
	RESIDUOS	Decreto 4741 de 2005	EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. (Desarrollado parcialmente por la Resolución del Min. Ambiente 1402 de 2006)
		Decreto 838 de 2005	EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.
		Decreto 620 de 2007	Alcaldía mayor de Bogotá	Por medio del cual se complementa el Plan Maestro de Residuos Sólidos (Decreto 312 de 2006), mediante la adopción de las normas urbanísticas y arquitectónicas para la regularización y construcción de las infraestructuras y equipamientos del Sistema General de Residuos Sólidos, en Bogotá Distrito Capital.
		Resolución 1326 de 2017	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
				Usadas y se adoptan otras disposiciones.
		Decreto 507 de 2026	Alcaldía mayor de Bogotá	Por el cual se adopta el modelo y los lineamientos para la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición - RCD en Bogotá D.C., y se dictan otras disposiciones
		Decreto 646 de 2025	Alcaldía mayor de Bogotá	Por medio del cual se expide el Decreto Único Distrital del Sector Ambiente
		Resolución 472 de 2017	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones
		Resolución 2184 de 2019	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Por la cual se modifica la Resolución 668 de 2016 sobre uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.
		Resolución 1362 de 2007	EL MINISTRO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL,	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los Artículo 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.
		Resolución 0062 de 2007	IDEAM	Por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos peligrosos en el país.
		Resolución 1257 de 2021	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Por la cual se modifica la resolución 0472 de 2017 sobre la Gestión Integral de RCD y se adoptan otras disposiciones.

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

7.2.3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Los puntos de intervención objeto del presente estudio se encuentran ubicados en la Localidad de Ciudad Bolívar, correspondiente a la Localidad No. 19 de Bogotá D.C., localizada al sur del Distrito Capital. La localidad limita al norte con las localidades de Bosa y Kennedy, al oriente con Tunjuelito, al sur con Usme y al occidente con el municipio de Soacha, en el departamento de Cundinamarca.

Ciudad Bolívar se caracteriza por presentar condiciones topográficas asociadas a zonas de ladera, con pendientes pronunciadas y sectores urbanizados sobre terrenos de alta complejidad geomorfológica. Estas condiciones, sumadas a la presencia de depósitos coluviales, suelos residuales y materiales poco

consolidados, generan escenarios de susceptibilidad frente a procesos de remoción en masa y fenómenos de inestabilidad del terreno.

El presente estudio comprende tres (3) puntos de intervención ubicados en áreas urbanas consolidadas y de expansión de la localidad, correspondientes a los barrios Porvenir de la Estancia II, Sierra Morena III – Corte vial y Arborizadora Alta – Candelaria La Nueva, estos sitios se caracterizados principalmente por uso residencial, vías locales y redes de servicios públicos, con predominio de ocupación sobre ladera.

En la siguiente figura se presenta la localización general de los polígonos analizados.

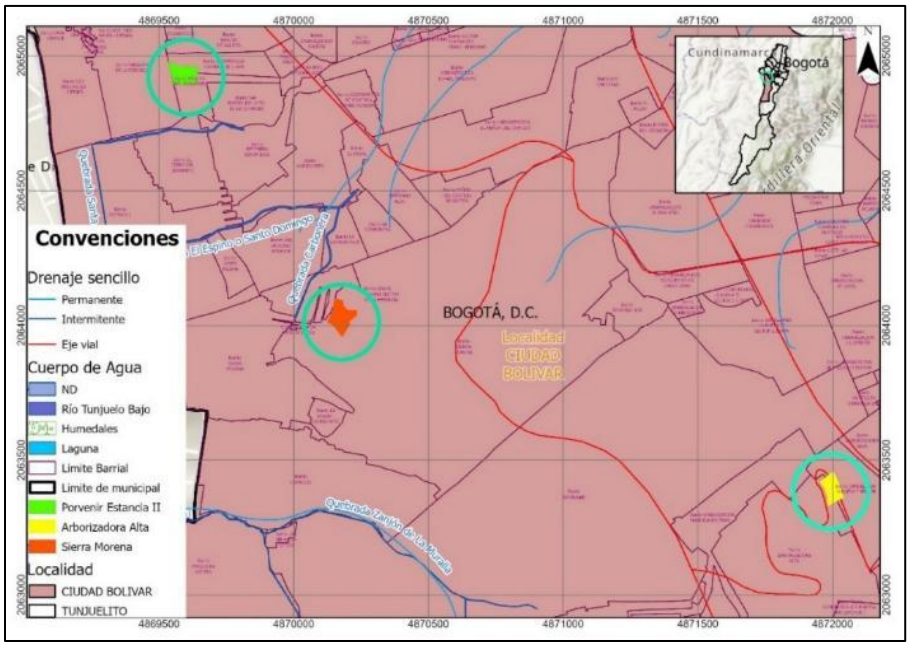


Figura 154. Localización general de los sectores de estudio en la Localidad de Ciudad Bolívar
Fuente: Consorcio Preservar, 2026

7.3 ÁREA DE ESTUDIO

El polígono correspondiente al sector Sierra Morena III – Corte vial se localiza aproximadamente entre la Calle 75a Sur y la Diagonal 75 Sur, y entre la Carrera 73n y la Transversal 73i, en una zona urbana con predominio de vivienda y vías locales.

La zona se emplaza sobre laderas características del sur de Bogotá, presentando condiciones topográficas que favorecen la ocurrencia de procesos de inestabilidad.

Tabla 119. Coordenadas geográficas del polígono Sierra Morena III.

Polígono	Vértice	Latitud	Longitud
Sierra Morena – Corte vial	1	4,578399	-74,1705
Sierra Morena – Corte vial	2	4,578617	-74,1703
Sierra Morena – Corte vial	3	4,578784	-74,1703
Sierra Morena – Corte vial	4	4,578791	-74,1704

Polígono	Vértice	Latitud	Longitud
Sierra Morena – Corte vial	5	4,578878	-74,1706
Sierra Morena – Corte vial	6	4,578962	-74,1707
Sierra Morena – Corte vial	7	4,579125	-74,1707
Sierra Morena – Corte vial	8	4,579135	-74,1709
Sierra Morena – Corte vial	9	4,579154	-74,171
Sierra Morena – Corte vial	10	4,578978	-74,1711
Sierra Morena – Corte vial	11	4,578902	-74,171
Sierra Morena – Corte vial	12	4,578775	-74,1711
Sierra Morena – Corte vial	13	4,578696	-74,1711
Sierra Morena – Corte vial	14	4,578548	-74,1712
Sierra Morena – Corte vial	15	4,578462	-74,1711
Sierra Morena – Corte vial	16	4,578374	-74,171
Sierra Morena – Corte vial	17	4,578285	-74,1709
Sierra Morena – Corte vial	18	4,57817	-74,1708
Sierra Morena – Corte vial	19	4,578008	-74,1707
Sierra Morena – Corte vial	20	4,577987	-74,1707
Sierra Morena – Corte vial	21	4,578089	-74,1706
Sierra Morena – Corte vial	22	4,578201	-74,1706
Sierra Morena – Corte vial	23	4,57827	-74,1705

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

En la figura siguiente se presenta la localización específica del polígono:

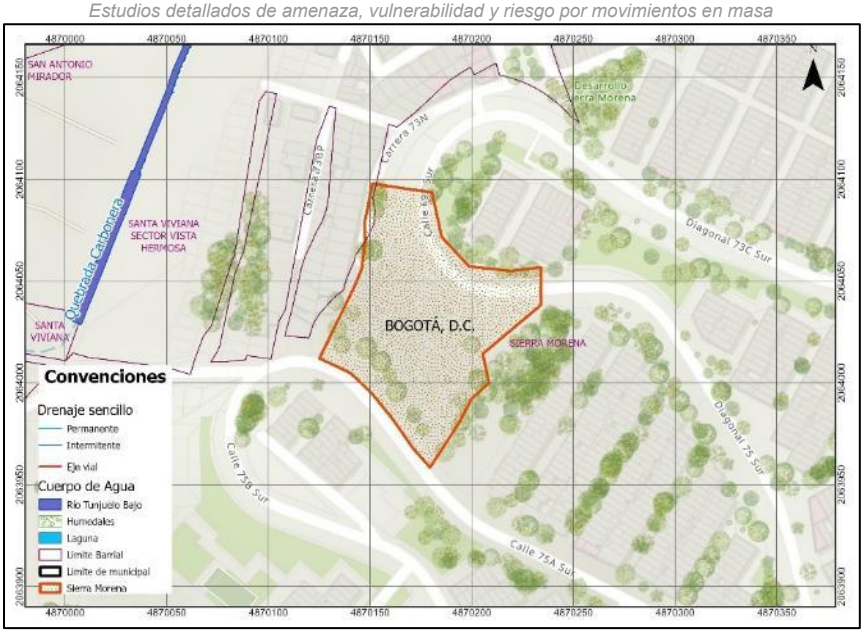


Figura 155. Polígono Sierra Morena III.

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

7.3.1 ÁREA DE INTERVENCIÓN

El área de intervención presenta una cobertura predominante de pastos limpios sobre la zona, mientras que en la parte superior se encuentra un tejido urbano continuo, correspondiente a una manzana conformada principalmente por viviendas y en la parte inferior cuenta con la localización de una vía principal de la zona. En las proximidades del muro existente se evidencia la presencia de dos especímenes arbóreos dispersos. Estos corresponden a los elementos de vegetación arbórea identificados dentro del área de intervención. Lo anterior se evidencia a continuación.

Tabla 120. Registro fotográfico recorrido 13 de abril de 2026.







Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

Según lo evidenciado anteriormente, el área de intervención no registra cuerpos de agua superficiales ni drenajes permanentes. Sin embargo, factores como la inclinación del terreno, las condiciones del talud, la cobertura vegetal existente y la presencia de residuos de construcción y demolición (RCD) evidencian condiciones de vulnerabilidad e inestabilidad en el sector.

7.4 DETERMINANTES AMBIENTALES

7.4.1 SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE - SDA

Para la identificación de las condiciones ambientales y territoriales del área de intervención, se efectuó la revisión de información disponible en el geovisor de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), permitiendo obtener información relevante del sector objeto de estudio.



Figura 156. Estructura Ecológica Principal (Dec 555 de 2021).

Fuente: Geo-visor secretaria distrital de ambiente, 2026.

https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/?lon=-74.176305&lat=4.586927&z=18&l=180:1|136:1|132:1|131:1|130:1|134:1|133:1|user_whelLfTh:0.7

De acuerdo con la información consultada en el geovisor, el área de intervención no presenta superposición con áreas protegidas ni con zonas de interés ambiental, como se observa en la Figura 3.

7.4.2 SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL ARBOLADO URBANO (SIGAU)

Como parte del proceso de revisión de información secundaria, se efectuó la consulta del geovisor SIGAU del Jardín Botánico de Bogotá, con el fin de identificar la presencia de árboles en el área de intervención, como se presenta a continuación.



Figura 157. Verificación de individuos arbóreos presentes en el área de intervención.
Fuente: Visor Web Público SIGAU, 2026. https://geoportal.jbb.gov.co/SigauJBB/VisorPublico/VisorPublico

Por otra parte, teniendo en cuenta que durante el recorrido de campo se evidenció la presencia de especímenes arbóreos en el área, se efectuó la verificación mediante la consulta del geovisor del SIGAU.

7.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

7.5.1 DESCRIPCIÓN SITUACIÓN ACTUAL

El proceso morfodinámico predominante en el sector de Sierra Morena – Corte vial corresponde a caídas de roca y desprendimientos, con deslizamiento asociado, sobre un talud de corte vial desconfinado donde interactúan los depósitos coluviales y la Formación Guaduas (Conjunto Inferior). La problemática principal radica en la severa meteorización diferencial que afecta tanto a los depósitos coluviales como al sustrato rocoso; la dinámica está dominada por el rápido desleimiento de las intercalaciones de arcillolitas y el lavado continuo de la matriz areno-arcillosa del estrato cuaternario, lo que genera pérdida de soporte basal y deja en voladizo los fragmentos y bloques de arenisca, propiciando su desprendimiento por gravedad.

La condición actual de desconfinamiento y degradación del talud es el detonante directo de la caída constante de material rocoso (bloques y fragmentos angulares de arenisca, hasta cerca de 1 m de diámetro) y de suelo areno-arcilloso hacia la vía. El diagnóstico proyecta que la corona del talud mantendrá

una cinemática de retroceso progresivo mientras no se ejecuten obras de contención y protección, configurando una amenaza doble sobre la seguridad vial y sobre la infraestructura aledaña.

La evidencia gráfica del proceso se presenta en la siguiente figura:



Figura 158. Ilustración de los procesos morfodinámicos que afectan el talud de corte vial de la Diagonal 75B Sur (Sierra Morena – Corte vial): zona de desprendimiento, trayectoria, lóbulo del deslizamiento y matriz fina.

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

El levantamiento de detalle permitió cartografiar en planta el escarpe de caída de rocas y la dirección del movimiento del material sobre el talud de corte, como se presenta en la Figura 159. La disposición del escarpe a lo largo del borde del corte y las direcciones de movimiento hacia la vía confirman el retroceso progresivo de la corona y la caída de material hacia la calzada.

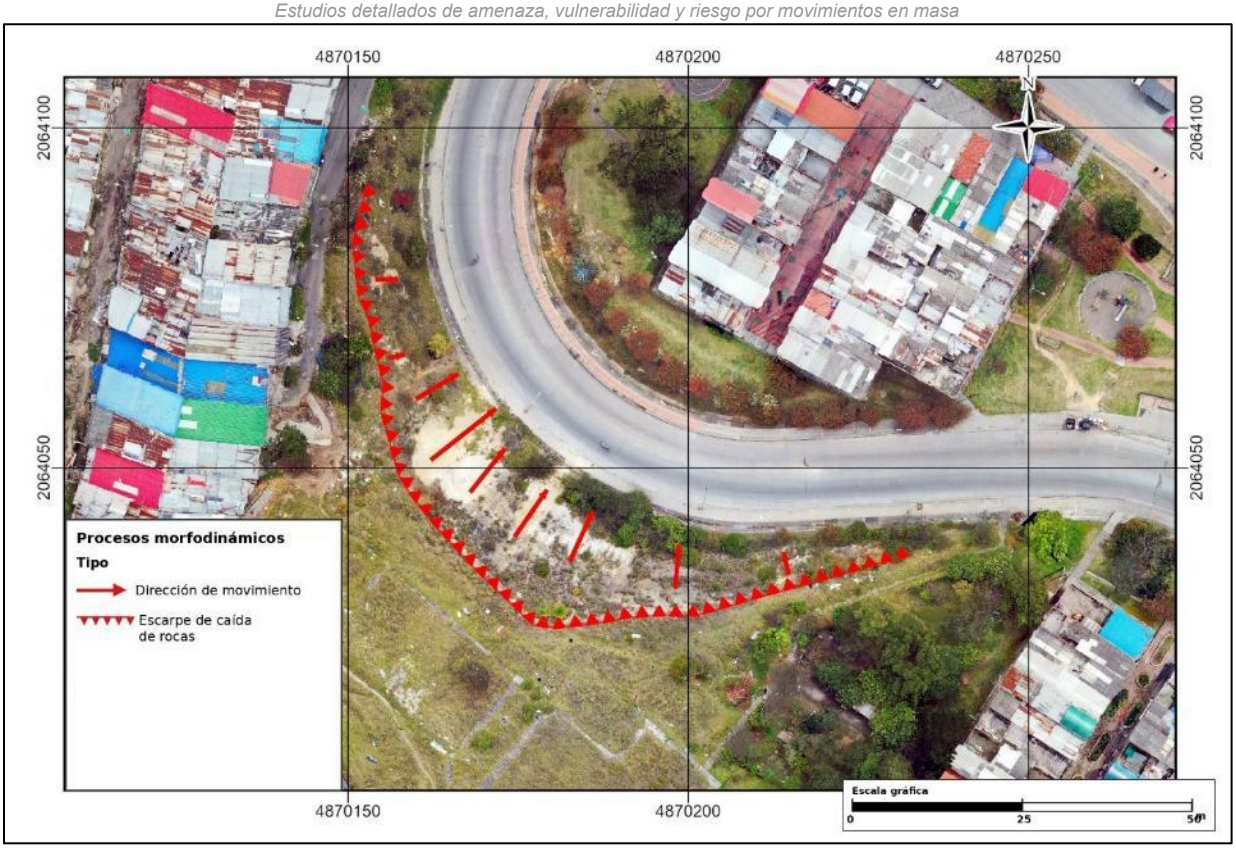


Figura 159. Escarpe de caída de rocas y dirección del movimiento sobre el talud de corte vial, en vista de ortomosaico (Sierra Morena – Corte vial)

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

Desde el punto de vista geológico, el sustrato del sector corresponde al Conjunto Inferior de la Formación Guaduas, caracterizado por una alternancia de arcillolitas, lodolitas y limolitas con intercalaciones de areniscas, sobre el cual reposan discordantemente depósitos coluviales de bloques y fragmentos de arenisca embebidos en una matriz areno-arcillosa, junto con rellenos antrópicos (escombros). Las excavaciones para la conformación de la vía han dejado el material topográficamente desconfinado y expuesto a la intemperie, propiciando una meteorización diferencial.

Geomorfológicamente, el sector se enmarca dentro del componente de Área Urbanizada (Aur), cuya expresión morfológica más destacada es un rasgo antrópico: el corte vial, incisión que ha modificado el ángulo de reposo natural de los materiales generando un escarpe subvertical expuesto. Esta alteración suprime el soporte lateral de la ladera, propiciando desprendimientos, erosión concentrada y el retroceso progresivo de la corona. Conforme al Decreto 523 de 2010, el sector se localiza en la Zona Geotécnica Cerros A.

El sector de Sierra Morena – Corte vial concentra el mayor número de diagnósticos técnicos asociados a un único sector de corte vial: dieciséis (16) pronunciamientos emitidos entre 2008 y 2025. La línea de tiempo evidencia tres grupos de actividad (2008–2011, 2015–2022 y 2025), con reconocimiento explícito de los taludes de corte como fuente del riesgo (DI-8841) y reactivaciones recientes.

7.5.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

La obra contempla un sistema integral de estabilización, protección superficial y manejo de aguas en el talud del corte vial de Sierra Morena, combinando soluciones estructurales, de drenaje y de bioingeniería según las zonas del escarpe.

En el frente del corte se construye una pantalla anclada con barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, dispuestas al tresbolillo en cuatro zonas: Zona I con elementos de 12 m en malla de 1,50 × 1,50 m, Zonas II y III con elementos de 10 m y 8 m en malla de 1,20 × 1,20 m y Zona IV con elementos de 1,50 m en malla de 2,50 × 2,50 m, para un total de 2 335 anclajes. En las Zonas I a III el revestimiento es flexible, con geotextil, malla de alambre de acero G65 de alta resistencia y biomanto; en la Zona IV, en el pie del corte, se aplica concreto lanzado f'c = 21 MPa de 0,10 m de espesor reforzado con malla electrosoldada Ø 6 mm c/0,15 m.

Complementariamente se instalan en la Zona IV 14 drenes subhorizontales de 15 m de longitud, con inclinación de 5° ascendente hacia el interior, en una fila a 1,40 m sobre el pie del corte y separación de 7,50 m, y lloraderos de PVC Ø 2" en el concreto lanzado, uno por cada 6,25 m² (250 unidades). Los drenes consisten en perforaciones equipadas con tubería PVC ranurada envuelta en geotextil, que permiten el abatimiento de las presiones de poros en el pie del talud.

En la franja superior, entre el borde de la Zona I y el sendero peatonal de la corona, se instala biomanto con revegetalización, anclado en la corona y fijado con ganchos, para proteger la superficie mientras se establece la cobertura vegetal.

Aguas arriba del sendero se construye una zanja de coronación que intercepta las aguas de escorrentía provenientes de la parte alta, las conduce hacia los costados y las entrega a escalones de disipación de energía, conforme al diseño hidráulico del sitio.

Sobre la franja superior se conforman 20 trinchos en guadua inmunizada, de 0,60 m de altura libre, sobre las curvas de nivel cada 1,00 m de desnivel, con una longitud total de 195,6 m. Los trinchos disminuyen la velocidad de la escorrentía, retienen sedimentos y crean condiciones favorables para la revegetalización. Ninguna de las obras interviene el sendero peatonal, el andén, las escaleras existentes ni el sendero de acceso a viviendas.

En conjunto, el sistema combina protección estructural profunda y superficial, drenaje interno y externo, y técnicas de bioingeniería, con el objetivo de estabilizar el talud del corte vial, controlar la erosión, manejar adecuadamente las aguas de escorrentía y promover la recuperación vegetal del sector de Sierra Morena.

7.5.3 PROCESO CONSTRUCTIVO Y ACTIVIDADES DE OBRA

El proceso constructivo deberá ejecutarse de manera secuencial y controlada, garantizando que en ninguna etapa se generen condiciones de estabilidad más desfavorables que las consideradas en los análisis geotécnicos desarrollados para el proyecto. La secuencia constructiva descrita en este capítulo constituye una condición fundamental del diseño geotécnico, cualquier modificación en el orden de ejecución de las actividades deberá ser previamente evaluada y aprobada por el especialista geotécnico responsable, demostrando que las condiciones de estabilidad durante construcción no resultan inferiores a las consideradas en los análisis presentados.

Las actividades deberán ejecutarse bajo las siguientes consideraciones generales:

- Todas las dimensiones se expresan en metros, salvo indicación contraria.
- Antes del inicio de las obras se verificarán las coordenadas, cotas y alineamientos definidos en los planos de diseño.
- Cualquier condición geológica, geotécnica o hidrogeológica diferente a la considerada en el estudio deberá ser evaluada por el especialista geotécnico antes de continuar la construcción.

- El material excavado deberá retirarse de manera inmediata y transportarse a sitios de disposición autorizados.

- Durante todo el proceso constructivo deberán mantenerse operativas las obras provisionales de manejo de aguas superficiales.

En caso de lluvias intensas, aparición de grietas, deformaciones, asentamientos diferenciales o incremento de caudales de filtración, se suspenderán temporalmente los trabajos y se efectuará una inspección geotécnica de la zona.

7.5.3.1 Etapa 0: Actividades preliminares

Esta etapa comprende las actividades destinadas a establecer el control topográfico, proteger los elementos expuestos y garantizar el manejo provisional de las aguas superficiales durante toda la construcción.

8. Localización topográfica y replanteo de los ejes de los anclajes, drenes y obras complementarias.
9. Instalación de cerramientos, señalización y medidas de seguridad para personal y usuarios de la vía.
10. Implementación de cunetas y canales provisionales para interceptar y evacuar las aguas de escorrentía.
11. Descapote y limpieza superficial de la zona de intervención.
12. Instalación de instrumentación de seguimiento, cuando esta sea requerida por la interventoría o por el especialista geotécnico.
13. Verificación de la existencia de redes de servicios públicos o estructuras enterradas que puedan interferir con las excavaciones.
14. Construcción de los trinchos en guadua, el biomanto y la revegetalización de la franja superior (plano SMV-E-05), de arriba hacia abajo y en forma manual, sin intervenir el sendero peatonal, el andén, las escaleras ni el sendero de acceso a viviendas.

7.5.3.2 Etapa 1: Ejecución del sostenimiento del sector superior (escenario durante la construcción)

El sostenimiento del sector superior se ejecutará en sentido descendente, mediante pasos de excavación de altura limitada drenado y protegido antes de avanzar al nivel siguiente. Cada zona de estabilización deberá quedar sostenido bajo las siguientes consideraciones:

- **Zona 1: Barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, de longitud 12 m, dispuestas en una malla de 1,50 m en sentido horizontal por 1,50 m en sentido vertical, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento y sin postensado. Esta configuración corresponde al diseño verificado en condición seca.**

- **Zona 2: Barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, de longitud 10 m, dispuestas en una malla de 1,20 m en sentido horizontal por 1,20 m en sentido vertical, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento y sin postensado. Esta configuración corresponde al diseño verificado en condición seca.**

- **Zona 3: Barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, de longitud 8 m, dispuestas en una malla de 1,20 m en sentido horizontal por 1,20 m en sentido vertical, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento y sin postensado. Esta configuración corresponde al diseño verificado en condición seca.**

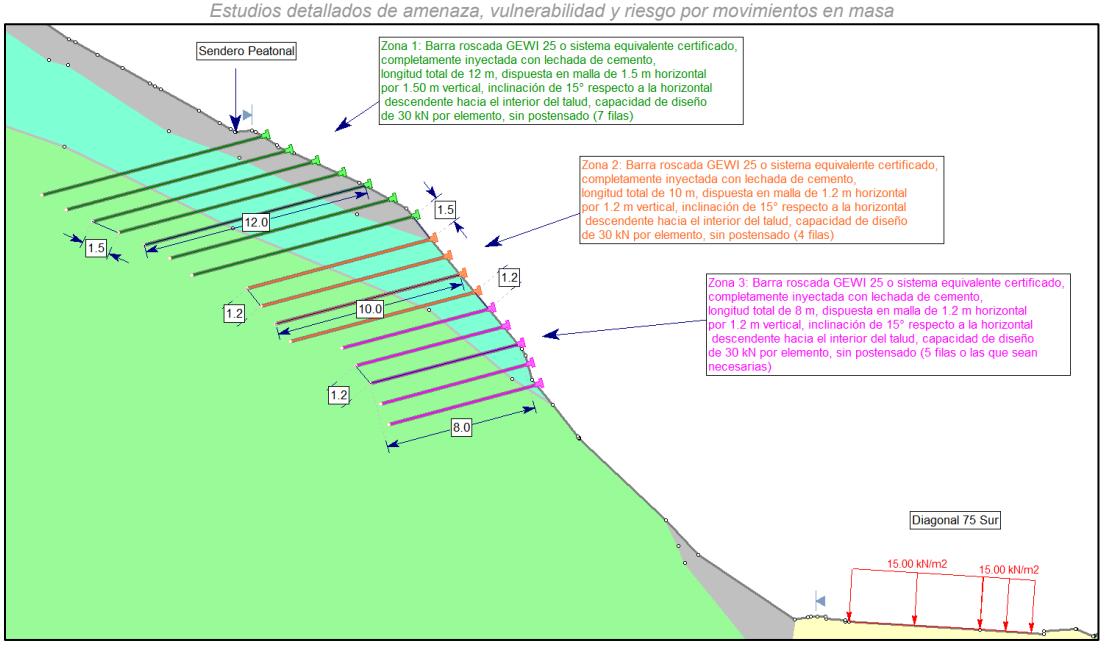


Figura 160. Sección típica de sostenimiento inicial- sección A-A'.

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Replanteo de la fila correspondiente y perforación de barrenos de diámetro mínimo de 75 mm, con la longitud e inclinación indicadas en los planos. El barreno deberá limpiarse antes de introducir la barra.

- Instalación de la barra roscada de 25 mm con centralizadores, seguida de la inyección de lechada de cemento desde el fondo de la perforación hasta obtener retorno continuo y homogéneo en la boca. Los anclajes se dispondrán en patrón al tresbolillo.

- Instalación del geotextil, de la malla de alambre de acero G65 de alta resistencia y del biomanto, con los traslapos y fijaciones indicados en los planos SMV-E-02 y SMV-E-03.

- Una vez alcanzada la resistencia especificada de la lechada, instalación de la platina de reparto de 150 × 150 × 9 mm y de la tuerca. El apriete se limitará a garantizar el contacto uniforme de la platina con la superficie de apoyo, sin aplicar postensado.

- Fijación de la malla G65 a las cabezas de los anclajes y verificación de su contacto con el terreno, conforme con los detalles de los planos del proyecto.

- Colocación del biomanto y ejecución de las medidas de revegetalización y protección superficial definidas para el sector superior.

La secuencia se repetirá hasta completar el sector de sostenimiento; no se autorizará el avance si la geometría real, el agua observada o el estado del terreno difieren de las condiciones analizadas.

7.5.3.3 Etapa 2: Ejecución del sostenimiento del sector inferior (escenario con obra)

El sostenimiento del sector inferior se ejecutará igualmente en sentido descendente y por pasos de excavación de altura limitada, instalando el sostenimiento de cada paso antes de continuar. El sistema previsto está constituido por barras roscadas de 25 mm en acero fy = 420 MPa, completamente inyectadas con lechada de cemento, de 1,5 m de longitud, dispuestas en una malla de 2,5 m en sentido horizontal por

2,5 m en sentido vertical, con inclinación de 15° descendente hacia el interior del talud, capacidad de diseño de 30 kN por elemento y sin postensado. Los parámetros de este sector deberán coincidir con los planos y con la memoria de estabilidad específica del tramo inferior.

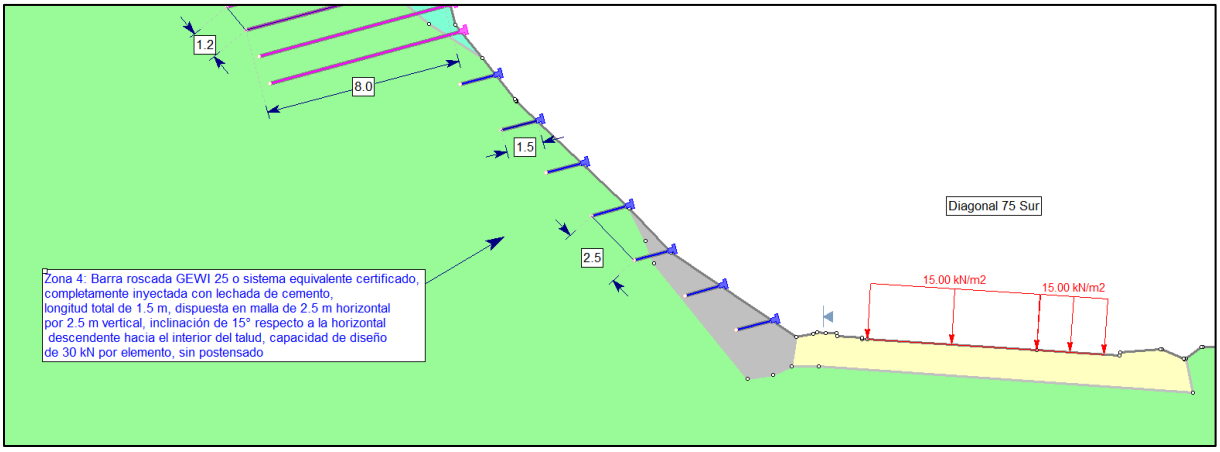


Figura 161. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A'
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Replanteo de la fila correspondiente y perforación de barrenos de diámetro mínimo de 75 mm, con la longitud e inclinación indicadas en los planos. El barreno deberá limpiarse antes de introducir la barra.

- Instalación de la barra roscada de 25 mm con centralizadores e inyección de lechada de cemento desde el fondo de la perforación hasta obtener retorno continuo y homogéneo en la boca. Los anclajes se dispondrán en patrón al tresbolillo.

- Instalación de los drenes subhorizontales de la Zona IV conforme a la Etapa 3 y al plano SMV-E-06, y de 250 lloraderos de PVC Ø 2" de 0,50 m con bolsa filtrante de gravilla de 0,15 × 0,15 × 0,15 m envuelta en geotextil no tejido, uno por cada 6,25 m² de concreto lanzado (1 556,80 m² según el plano SMV-E-03), ubicados entre anclajes.

- Una vez alcanzada la resistencia especificada de la lechada, instalación de la platina de reparto de 150 × 150 × 9 mm y de la tuerca, con apriete limitado a garantizar el contacto, sin postensado.

- Instalación de la malla electrosoldada Ø 6 mm c/0,15 m en ambos sentidos y aplicación de concreto lanzado f'c = 21 MPa con espesor de 0,10 m. Si durante la excavación se detectan afloramientos, filtraciones persistentes o acumulaciones de agua, se suspenderá el avance y el especialista geotécnico definirá las medidas de drenaje adicionales antes de continuar.

Repetición de la secuencia hasta completar el sector inferior, manteniendo en todo momento el frente excavado dentro de las dimensiones analizadas.

7.5.3.4 Etapa 3: Instalación de los drenes subhorizontales

Una vez instalados los anclajes de la Zona IV y antes de aplicar el concreto lanzado, se procederá con la instalación del sistema de drenaje subsuperficial previsto en el diseño geotécnico. El objetivo de esta intervención es reducir las presiones de poros en el pie del talud, interceptar flujos subterráneos y mantener la condición de diseño.

Los drenes subhorizontales se ejecutarán con tubería PVC ranurada Ø 2" envuelta en geotextil no tejido, en perforación de 3" a 4", con longitud de 15 m e inclinación de 5° ascendente hacia el interior del talud, y tramo ciego de 1,00 m sellado en la boca. Se disponen 14 drenes en una fila a 1,40 m sobre el pie del corte, con separación de 7,50 m, a media distancia entre la primera y la segunda fila de anclajes de la Zona IV, conforme al plano SMV-E-06. La construcción deberá realizarse de conformidad con el Artículo 674 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras INVÍAS 2022.

La secuencia constructiva recomendada será la siguiente:

- Replanteo topográfico de la ubicación de cada dren, verificando las cotas, alineamientos y espaciamientos definidos en los planos del proyecto.
- Perforación de los barrenos mediante equipos rotatorios o roto-percusivos adecuados para las condiciones geológicas encontradas, garantizando la longitud, diámetro e inclinación especificados en el diseño.
- Durante la perforación se deberá llevar un registro de las condiciones encontradas, incluyendo cambios litológicos, zonas fracturadas, presencia de humedad, afloramientos o flujos de agua interceptados.
- Limpieza de la perforación mediante aire comprimido o métodos equivalentes hasta asegurar la remoción de detritos y material suelto que pueda afectar la capacidad hidráulica del dren.
- Instalación de tubería drenante ranurada de PVC o material equivalente aprobado por la interventoría, garantizando la continuidad del sistema drenante a lo largo de la perforación.
- Cuando las condiciones del terreno lo requieran, se dispondrán filtros o elementos complementarios para evitar el arrastre de finos y Preservar la capacidad de drenaje del sistema.
- Verificación del funcionamiento hidráulico de cada dren, comprobando la libre evacuación del agua interceptada y la ausencia de obstrucciones.
- Protección de las salidas mediante cabezales, cunetas u obras complementarias que permitan conducir el agua drenada hacia un sistema de descarga seguro, evitando procesos de erosión en el pie del talud.
- Durante la ejecución de los drenes se deberá realizar un seguimiento permanente a la presencia de flujos de agua, zonas de infiltración, niveles de humedad elevados o caudales no previstos en los análisis de diseño. En caso de identificarse condiciones hidrogeológicas significativamente diferentes a las consideradas en el modelo geotécnico, los trabajos deberán ser evaluados por el especialista geotécnico y la interventoría antes de continuar con la siguiente etapa constructiva.

Adicionalmente, todos los drenes instalados deberán mantenerse libres de obstrucciones durante la construcción y permanecer operativos hasta la terminación de las obras, garantizando el adecuado funcionamiento del sistema de abatimiento de presiones de poros contemplado en el diseño.

7.5.3.5 Manejo de aguas durante la construcción

El control del agua constituye una condición crítica para el desempeño de las obras de estabilización. En consecuencia:

- Las cunetas provisionales deberán permanecer operativas durante toda la construcción.
- No se permitirá la descarga de aguas sobre la superficie del talud.
- Toda acumulación de agua deberá evacuarse inmediatamente mediante bombeo o drenaje controlado.
- Los drenes instalados deberán mantenerse libres de obstrucciones.
- Durante eventos de precipitación intensa se suspenderán las excavaciones y se protegerán las superficies expuestas.
- Cualquier incremento significativo de filtraciones deberá ser evaluado por el especialista geotécnico antes de reanudar los trabajos.

Conforme a los resultados de los análisis geotécnicos y al diseño de las medidas de mitigación propuestas, a continuación, se presenta un esquema general de la configuración final de las obras proyectadas para el área de estudio.

7.5.4 CRONOGRAMA DE OBRA

A continuación, se presenta el cronograma general de ejecución previsto para las actividades constructivas asociadas al proyecto. En la tabla se relacionan las principales fases de obra y sus fechas estimadas de inicio y finalización, de acuerdo con la programación establecida para el desarrollo de las actividades. Esta información permite identificar la secuencia constructiva y la duración de las diferentes etapas que conforman la intervención.

Tabla 121. Cronograma de obra.

Fase	Inicio	Fin
Inicio del contrato	4/01/2027	
Preliminares	4/01/2027	22/02/2027
Movimiento de tierra	23/02/2027	31/03/2027
Estructuras	31/03/2027	13/08/2027
Redes Hidrosanitarias	31/08/2027	1/09/2027
PGIR	4/01/2027	1/09/2027
Terminación del contrato	1/09/2027	

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

De acuerdo con el cronograma establecido, las actividades constructivas se desarrollarán entre enero y septiembre de 2027. La fase de preliminares se ejecutará al inicio del proyecto, seguida por las actividades de movimiento de tierra, las cuales presentan la mayor duración dentro de la programación. Las estructuras y las redes hidrosanitarias se desarrollarán de manera parcial y simultánea con otras actividades de obra, mientras que la implementación del PGIR acompañará gran parte del periodo constructivo.

En términos generales, la ejecución de las obras contempla una duración aproximada de 8 meses, comprendidos entre el inicio del contrato el 4 de enero de 2027 y su terminación el 1 de septiembre de 2027, periodo durante el cual se desarrollarán las diferentes actividades programadas para la intervención.

7.5.5 CANTIDADES DE MATERIALES

La Tabla 122 presenta las cantidades estimadas de materiales y actividades requeridas para la ejecución del proyecto, organizadas en los componentes de actividades preliminares, movimientos de tierra, estructuras y redes hidrosanitarias. Esta información permite identificar los principales insumos y volúmenes asociados a las actividades constructivas previstas.

Tabla 122. Cantidades de materiales

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
ACTIVIDADES PRELIMINARES		
REPLANTEO GENERAL	M2	6175,00
POLISOMBRA VERDE PARA CERRAMIENTO.	M2	4550,00
DESCAPOTE A MANO EN MATERIAL COMUN	M2	4200,00
MOVIMIENTOS DE TIERRA		
EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMÚN	M3	55.92
RELLENO DE MATERIAL SELECCIONADO PROVENIENTE DE LA EXCAVACIÓN	M3	11.93
ESTRUCTURAS		
ACERO DE REFUERZO FY=60000 PSI.	KG	3673,5
CONCRETO 2000 PSI GRAVA COMÚN 14 MPA	M3	6.85
CONCRETO LANZADO	M2	1428
REDES HIDROSANITARIAS		

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
DISIPADOR DE ENERGIA EN CONCRETO 3000 PSI	M3	24.49

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

La información presentada muestra que el proyecto contempla actividades preliminares asociadas al replanteo general, descapote y cerramiento del área de intervención, abarcando una superficie de 14.925 m². Estas actividades corresponden a la adecuación inicial del área donde se desarrollarán las obras proyectadas.

Las actividades de movimiento de tierras constituyen una de las fases más representativas del proyecto, con un volumen total de excavación de 55,92 m³. Asimismo, se contempla la utilización de 11,93 m^3 dentro de actividades de relleno

7.5.6 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La zonificación geotécnica del área de estudio se desarrolló en dos niveles complementarios. En el nivel regional, el polígono se enmarca dentro de la cartografía oficial de la Zonificación Geotécnica de Bogotá D.C., insumo de los Estudios Básicos de Amenaza por Movimientos en Masa (IDIGER – IDECA), derivada de la Microzonificación Sísmica adoptada mediante el Decreto 523 de 2010, lo cual permite establecer la unidad de comportamiento geotécnico regional a la que pertenece el sitio. En el nivel de detalle, la zonificación se elaboró a partir del modelo geológico-geotécnico del presente proyecto, de la exploración directa e indirecta, del inventario de procesos morfodinámicos y de los análisis de estabilidad. En este nivel, cada zona corresponde a un área de homogéneo comportamiento geotécnico, que guarda similitud de materiales y espesores, y que sirve de base para la determinación de las áreas de amenaza por movimientos en masa.

7.5.6.1 Zonificación geotécnica regional

Conforme a la cartografía oficial de la Zonificación Geotécnica de Bogotá D.C. (IDIGER – IDECA), derivada de la Microzonificación Sísmica adoptada mediante el Decreto 523 de 2010, el Polígono 4 – Sierra Morena III – Corte Vial se localiza en la Zona Geotécnica Cerros A (Figura 1). Esta unidad se caracteriza geológicamente por la presencia de secuencias litoestratigráficas dominadas por areniscas y, geomorfológicamente, por cerros y vertientes de alta pendiente constituidas predominantemente por macizos rocosos de arenisca de consistencia dura.

El marco regional es consistente con la litología identificada en la exploración de detalle: el basamento corresponde al Conjunto Inferior de la Formación Guaduas (K2E1gm), dominado por areniscas con intercalaciones de arcillolitas susceptibles al desleimiento, suprayacido por depósitos coluviales y rellenos. Si bien la unidad Cerros A se asocia a macizos competentes, la meteorización diferencial de las intercalaciones arcillosas y el desconfinamiento generado por el corte vial controlan el comportamiento geotécnico local del talud objeto de estudio.

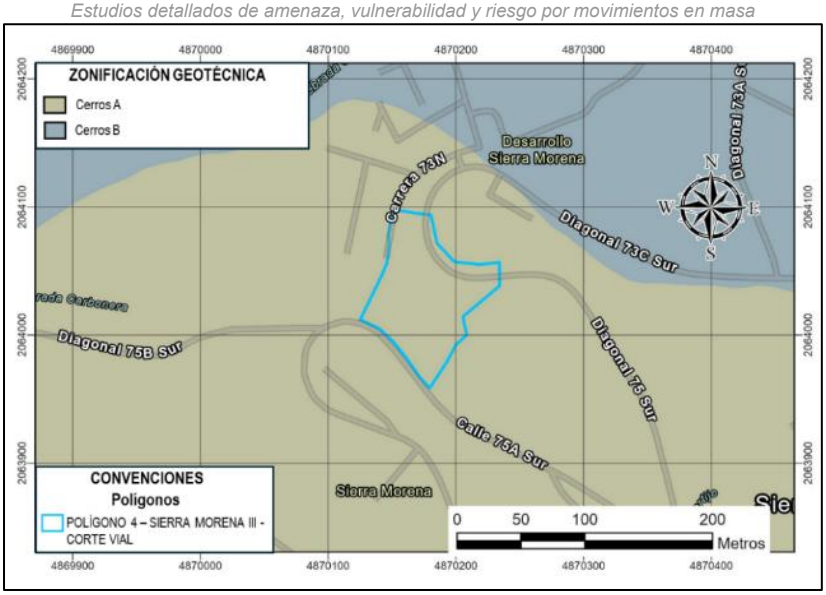


Figura 162. Ubicación del Polígono 4 – Sierra Morena III – Corte Vial en la Zona Geotécnica Cerros A (zonificación geotécnica regional).

Fuente: Zonificación Geotécnica – Insumo Estudios Básicos de Amenaza por Movimientos en Masa. Bogotá D.C. – IDIGER – IDECA (Decreto 523 de 2010). Modificado por el Consultor.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la siguiente figura y tabla se presenta la zonificación geotécnica detallada del área de estudio.



Figura 163. Zonificación geotécnica de detalle – condición actual, Sierra Morena III – Corte Vial

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

Tabla 123. Zonificación geotécnica de detalle – Sierra Morena III.

Zona	Materiales (unidades del modelo)	Espesores típicos	Comportamiento geotécnico
Zona I	Talud de corte vial: depósitos coluviales (Qc) y botadero (Qb) sobre el saprolito y el macizo del Conjunto Inferior de la Formación Guaduas (K2E1gm) desconfinado, con meteorización diferencial	Qc: 0–5,7 m; Qb: 0–0,45 m; saprolito (grado IV–V): 0–6,0 m	Parte alta: desprendimiento de bloques del saprolito y del coluvión, con deslizamiento asociado y retroceso progresivo de la corona. Partes media y baja: erosión generalizada en surcos sobre la Formación Guaduas. Factores de seguridad inferiores a los umbrales normativos
Zona II	Depósitos coluviales delgados (Qc), rellenos de adecuación y antrópicos (Qra, Qb) y suelo residual (Qsr), sobre la Formación Guaduas (K2E1gm)	Qc: 0–5,7 m; Qra: 0–2,0 m; Qb: 0–0,45 m; Qsr: 1,0–2,2 m	Ladera con cobertura de depósitos y rellenos delgados sobre macizo de mayor competencia, sin procesos de remoción en masa activos; erosión laminar y en surcos de baja a moderada intensidad

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

La Zona I corresponde al talud de corte vial y su franja de corona hasta la Diagonal 75 Sur, donde interactúan depósitos coluviales (Qc) y el Conjunto Inferior de la Formación Guaduas en condición desconfinada, afectada por meteorización diferencial asociada al desleimiento de intercalaciones de arcillolitas. La dinámica predominante está representada por caídas de roca, desprendimientos y deslizamientos asociados, que generan bloques de arenisca de hasta aproximadamente 1 m de diámetro sobre la vía. En la parte alta del talud predominan los desprendimientos de bloques, mientras que en las partes media y baja prevalece la erosión en surcos favorecida por la escorrentía y el desleimiento de las arcillolitas. Los análisis desarrollados en el numeral 3.4 determinaron anchos de amenaza alta entre 32 y 35 m en la sección A–A' y de 36 m en la sección B–B', complementados con el análisis de trayectorias de caída de bloques.

La Zona II comprende los sectores de ladera aledaños al corte, caracterizados por la presencia de rellenos de adecuación (Qra), rellenos antrópicos tipo botadero (Qb), suelo residual (Qsr) y el macizo de la Formación Guaduas en condición confinada. En esta zona predominan procesos de erosión laminar y en surcos de baja a moderada intensidad, sin evidencia de desprendimientos ni procesos activos de remoción en masa. Los factores de seguridad obtenidos superan los umbrales de amenaza alta, por lo que se clasifica como amenaza media, en concordancia con la cartografía oficial de amenaza por movimientos en masa urbana del Distrito.

7.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN

7.6.1 ÁREA DE INFLUENCIA E INTERVENCIÓN

Para efectos del presente documento, el área de intervención corresponde al polígono delimitado por la manzana objeto de análisis, incluyendo las áreas asociadas al frente predial hasta el límite físico del andén existente. Esta delimitación contempla el espacio ocupado por las edificaciones, zonas de ladera intervenidas y elementos de espacio público inmediato vinculados a la dinámica del sector, permitiendo una adecuada caracterización de las condiciones ambientales y físicas presentes en el entorno de intervención. (ver Figura 155)

7.6.1.1 Medio abiótico

- Geología

Los materiales geológicos conformantes del sitio de estudio se clasifican teniendo en cuenta sus características físico – mecánicas, desde el punto de vista ingenieril. En el área de ubicación del sitio de estudio (Sierra Morena-Corte vial) y sus alrededores, se identificaron materiales geológicos (rocas, R), agrupados en la Formación Guaduas, conjunto medio, K2E1gm), y materiales de suelos (S), correspondientes a depósitos coluviales (Qc, Qcr), y de naturaleza antrópica (relleno antrópico, Qra, y relleno ingenieril, Qri).



Figura 164. Mapa y perfiles geológicos.
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, el sitio de estudio y sus alrededores presenta como características morfológicas: i) subunidades de ambiente/origen estructural (ladera estructural), y ii) subunidades de ambiente denudacional, de origen antrópico.

  - Subunidades de origen Estructural (S)(Ladera estructural, Sle)

Se hace referencia a las geoformas originadas por la influencia de la actividad tectónica sobre los macizos rocosos, generando expresiones en general de pendiente alta a muy alta, así como por la disposición de sus estratos con respecto a la pendiente del terreno, en las cuales el buzamiento de los estratos rocosos muestran una dirección en el mismo sentido de la pendiente de las laderas/taludes del sector, las cuales son indicadas en los afloramientos rocosos presentes en el sitio(margen izquierda de la vía (sentido sur norte).

Esta subunidad conforma los terrenos de la parte occidental del sitio. Las rocas para el sitio muestran como datos estructurales (Rumbo/Buzamiento), N60°W/20°NE. Como procesos morfodinámicos se observa desarrollo de erosión, en general de tipo laminar y en surcos, y procesos de inestabilidad antiguos y subrecientes (deslizamiento/caída de detritos.

En las siguientes figuras se ilustran el mapa geomorfológico del sitio de estudio, fotografía del lugar, las subunidades y elementos geomorfológicos del sector.



Figura 165. Mapa geomorfológico del sitio de estudio.
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Amenazas
    - Amenaza por remoción en masa

El polígono de Sierra Morena se localiza sobre un terreno con condiciones críticas de vulnerabilidad geológica, quedando dividido en dos niveles de criticidad media y alta de su superficie se clasifica técnicamente bajo Amenaza Media pero en la zona principal de intervención se identifica una amenaza alta por Remoción en Masa.

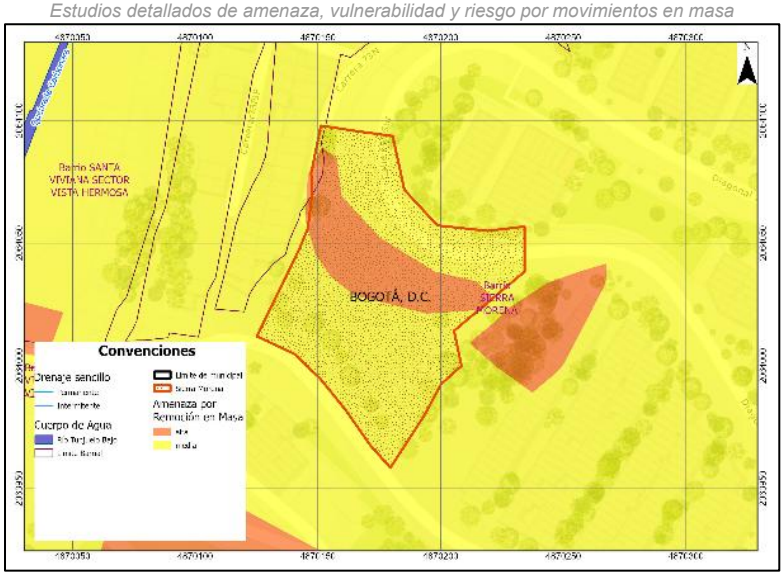


Figura 166. Amenaza por remoción en Masa

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Amenazas inundación

En la siguiente ilustración se presenta las zonas de amenaza por inundación para el sector, se determina de manera concluyente que el polígono de estudio no se localiza dentro de una zona de amenaza por inundación.

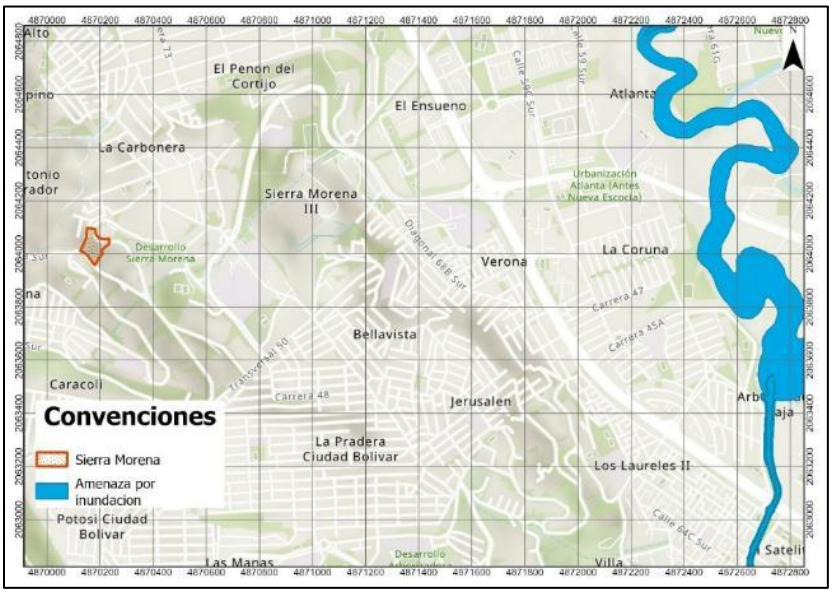


Figura 167. Amenaza por Inundación

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Amenaza de incendios

La zona de sierra morena (identificado dentro del círculo morado de referencia) se encuentra localizado en una zona de riesgo alto de Incendios Forestales teniendo en cuenta que se encuentra una zona cubierta de pastos limpios, lo cual coincide con lo visualizado dentro de la siguiente ilustración.

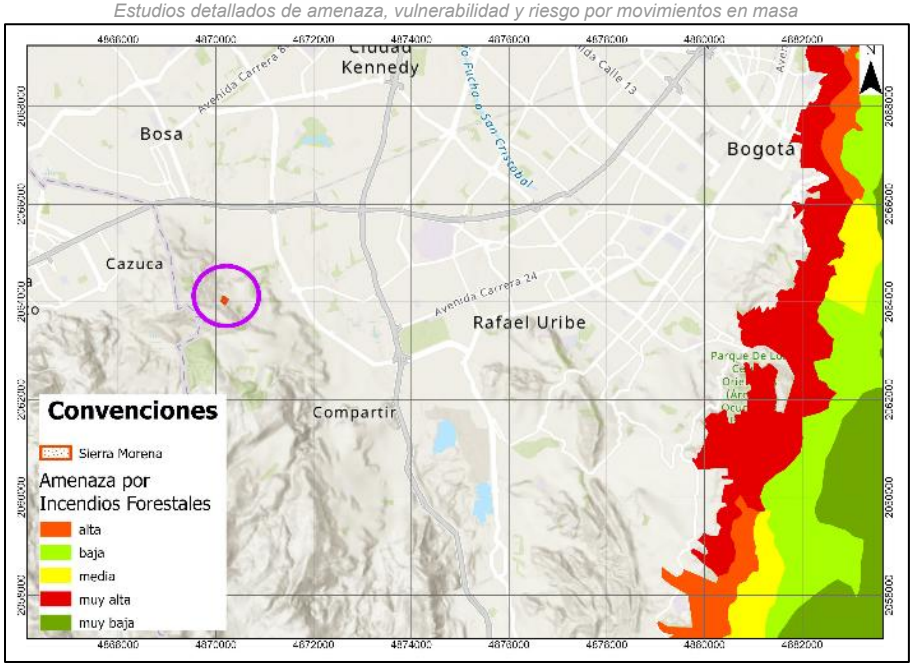


Figura 168. Amenaza por incendios

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Suelo

La zona de intervención del proyecto se encuentra clasificada dentro del suelo urbano, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Distrital 555 de 2021, por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.

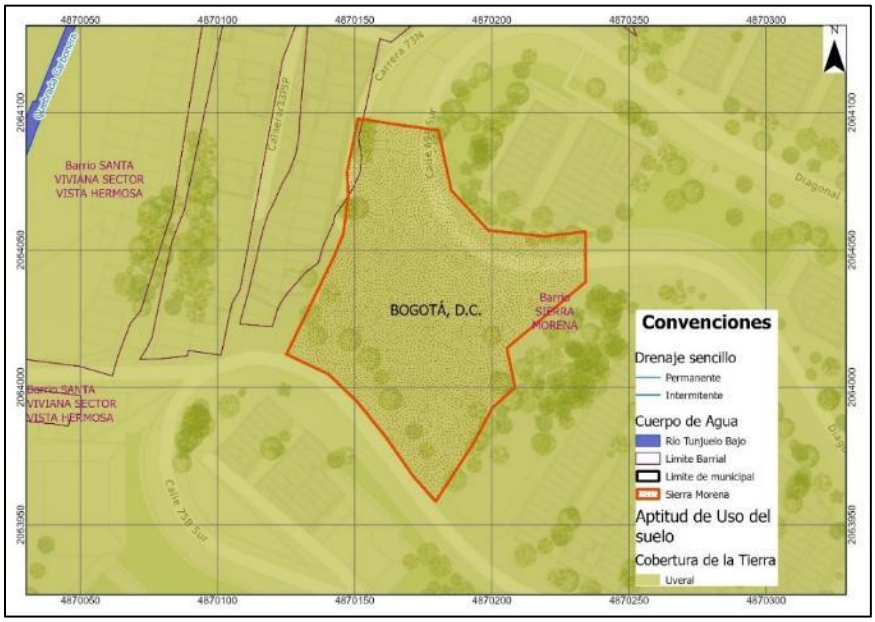


Figura 169. Clasificación del suelo

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Condiciones climatológicas

La Figura 170 presenta el climograma correspondiente al área de estudio en la localidad de Ciudad Bolívar, elaborado a partir de la información climática modelada disponible en Meteoblue (2026). La figura integra los valores promedio mensuales de precipitación y temperatura para los doce meses del año, permitiendo identificar las principales características del régimen climático de la zona.

- Precipitaciones

Según Meteoblue (2026), la distribución de las precipitaciones presenta un comportamiento bimodal, característico de gran parte de la región andina colombiana. Se observan dos periodos de mayores precipitaciones durante el año: el primero entre abril y mayo, con un máximo cercano a los 175 mm en abril, y el segundo entre octubre y noviembre, con valores superiores a los 125 mm mensuales.

Por otra parte, los meses de agosto y septiembre registran las menores precipitaciones, con valores cercanos a los 50 mm mensuales. Este patrón evidencia una alternancia entre temporadas de mayor humedad y periodos relativamente secos, aspecto que influye en la dinámica hidrológica, la disponibilidad de agua y las condiciones de los suelos presentes en el área de estudio.

- Temperatura

De acuerdo con la información presentada por Meteoblue (2026), la temperatura mantiene un comportamiento relativamente estable durante el año, con una baja amplitud térmica asociada a la ubicación altitudinal del área. La temperatura máxima media mensual oscila entre 15 °C y 17 °C, mientras que la temperatura mínima media mensual se mantiene entre 9 °C y 10 °C.

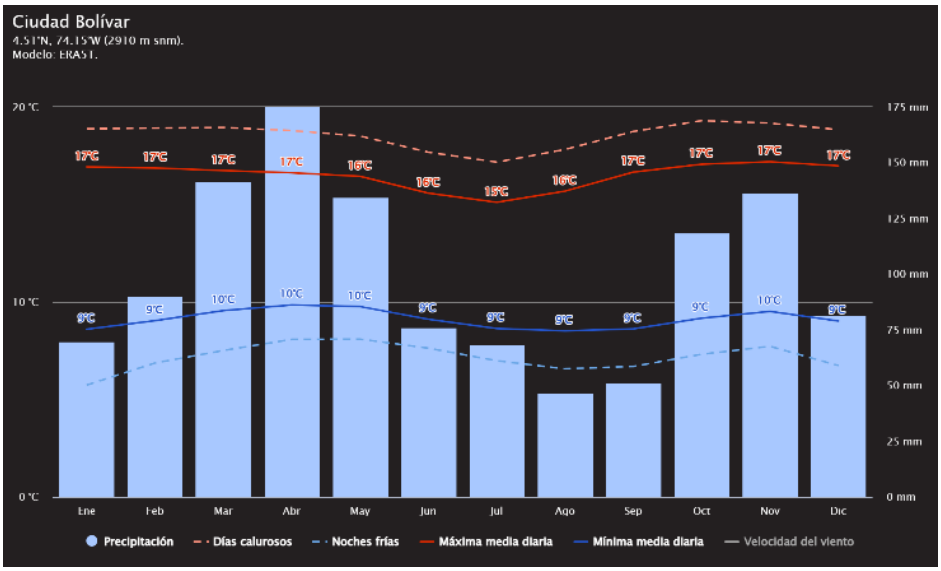


Figura 170. Condiciones climáticas promedio de Ciudad Bolívar

Fuente: Meteoblue (2026). Modelo climático de Ciudad Bolívar, Colombia. Disponible en: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/ciudad-bol%C3%ADvar_colombia_9862491.

En términos generales, el comportamiento observado en la precipitación y la temperatura permite caracterizar el área de estudio como una zona con clima frío de montaña, influenciada por un régimen bimodal de lluvias y temperaturas moderadas asociadas a la altitud.

- Calidad del aire

Para la caracterización de la calidad del aire en el área de estudio se tomó como fuente de información la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, administrada por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). La información corresponde al Informe Anual 2022 de la RMCAB, publicado en el año 2023, el cual recopila y analiza los registros obtenidos por las estaciones de monitoreo durante el período comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2022.

A partir de esta información se revisaron los principales parámetros de calidad del aire reportados para Bogotá D.C., incluyendo PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, SO_2 y CO, como referencia para establecer las condiciones generales de calidad del aire en el sector del área de influencia. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023)

- **PM10**

La distribución espacial de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) y la dinámica de los vientos evidencia que la localidad de Ciudad Bolívar se sitúa en un sector de concentraciones que oscila entre los 38 y 42 µg/m³.

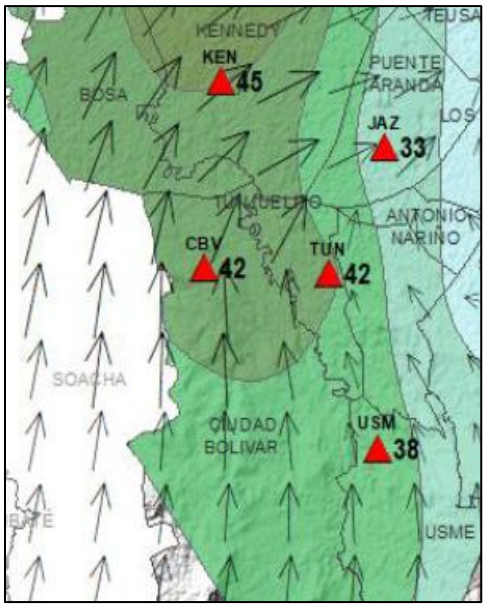


Figura 171. Concentración PM10

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2023). Informe anual 2022 de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Informe%20anual%202022.pdf

- **PM2.5**

La distribución espacial de material particulado menor a 2.5 micras (PM_{10}) y la dinámica de los vientos evidencia que la localidad de Ciudad Bolívar se sitúa en un sector de concentraciones que oscila entre los 17 y 20 µg/m³.

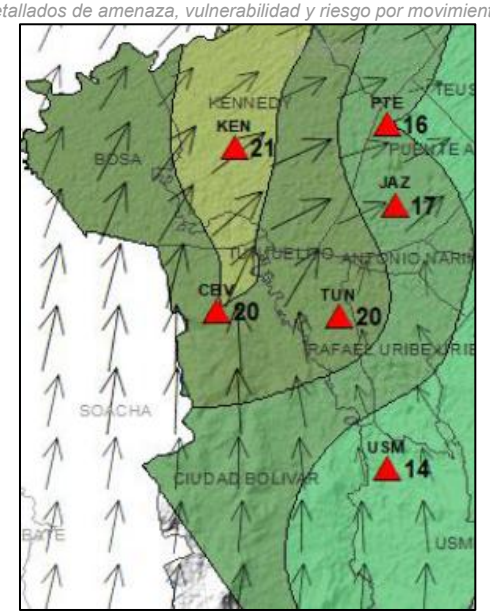


Figura 172. Concentración PM2.5

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2023). Informe anual 2022 de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Informe%20anual%202022.pdf

- **O3**

La distribución espacial de ozono y la dinámica de los vientos evidencia que la localidad de Ciudad Bolívar se sitúa en un sector de concentraciones que oscila entre los 22 y 28 µg/m³.

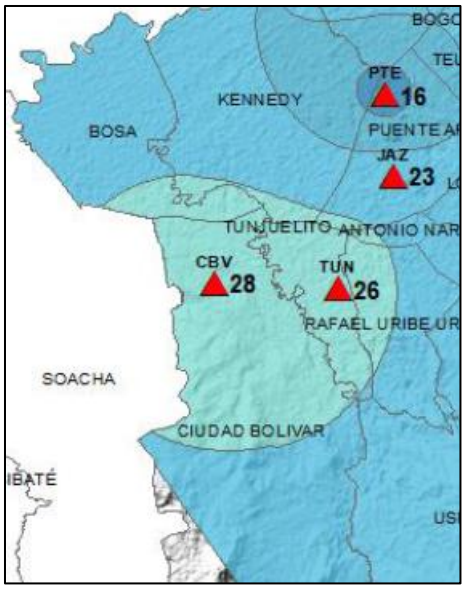


Figura 173. Concentración O3

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2023). Informe anual 2022 de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Informe%20anual%202022.pdf

- NO2

La distribución espacial de distribución de nitrógeno muestra que la localidad de Ciudad Bolívar se sitúa en un sector de concentraciones que oscila entre los 28 y 33 µg/m³.

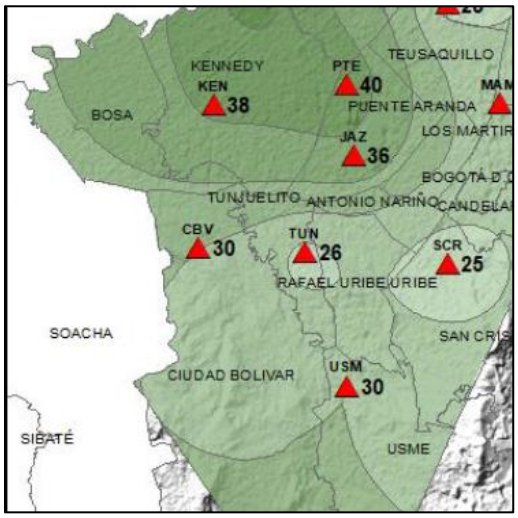


Figura 174. Concentración NO2

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2023). Informe anual 2022 de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Informe%20anual%202022.pdf

- **SO2**

De acuerdo con los mapas de distribución de contaminantes atmosféricos, la localidad de Ciudad Bolívar se localiza en una zona donde las concentraciones de dióxido de azufre (SO_2) varían entre 7.1 y 10 µg/m³.

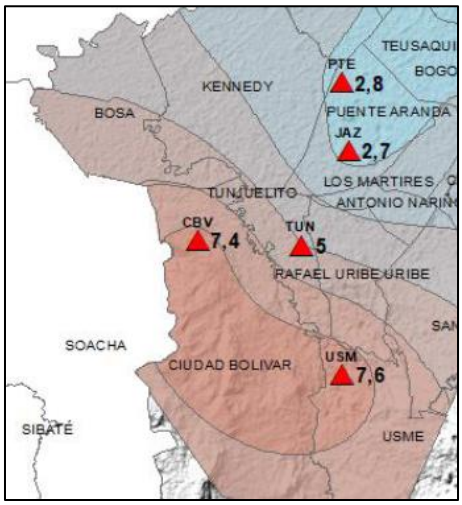


Figura 175. Concentración SO2

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2023). Informe anual 2022 de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Informe%20anual%202022.pdf

- **CO**

Para el caso del monóxido de carbono (CO), la cartografía de calidad del aire señala que la localidad de Ciudad Bolívar presenta concentraciones dentro del intervalo de 569 y 759 mg/m³.

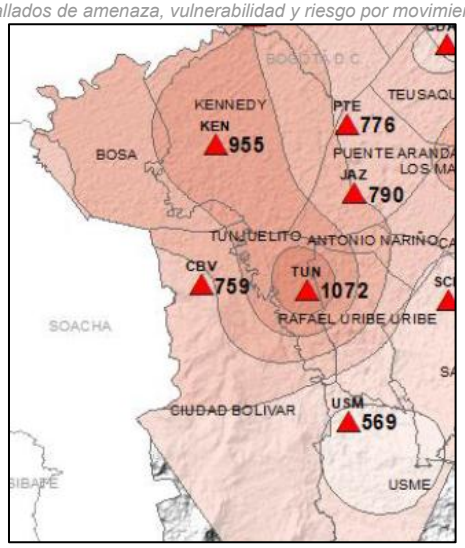


Figura 176. Concentración CO

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2023). Informe anual 2022 de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB). http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/Informe%20anual%202022.pdf

7.6.1.2 Cuenca hidrográfica

El polígono de Sierra Morena se encuentra ubicado geográficamente en la zona urbana de Bogotá, D.C., y desde el punto de vista hidrológico, se sitúa de manera integral dentro de la macrocuenca del Río Bogotá, específicamente en la cuenca y subcuenca del Río Tunjuelo, quedando delimitado bajo la jurisdicción ambiental de la microcuenca del Río Tunjuelo Bajo.

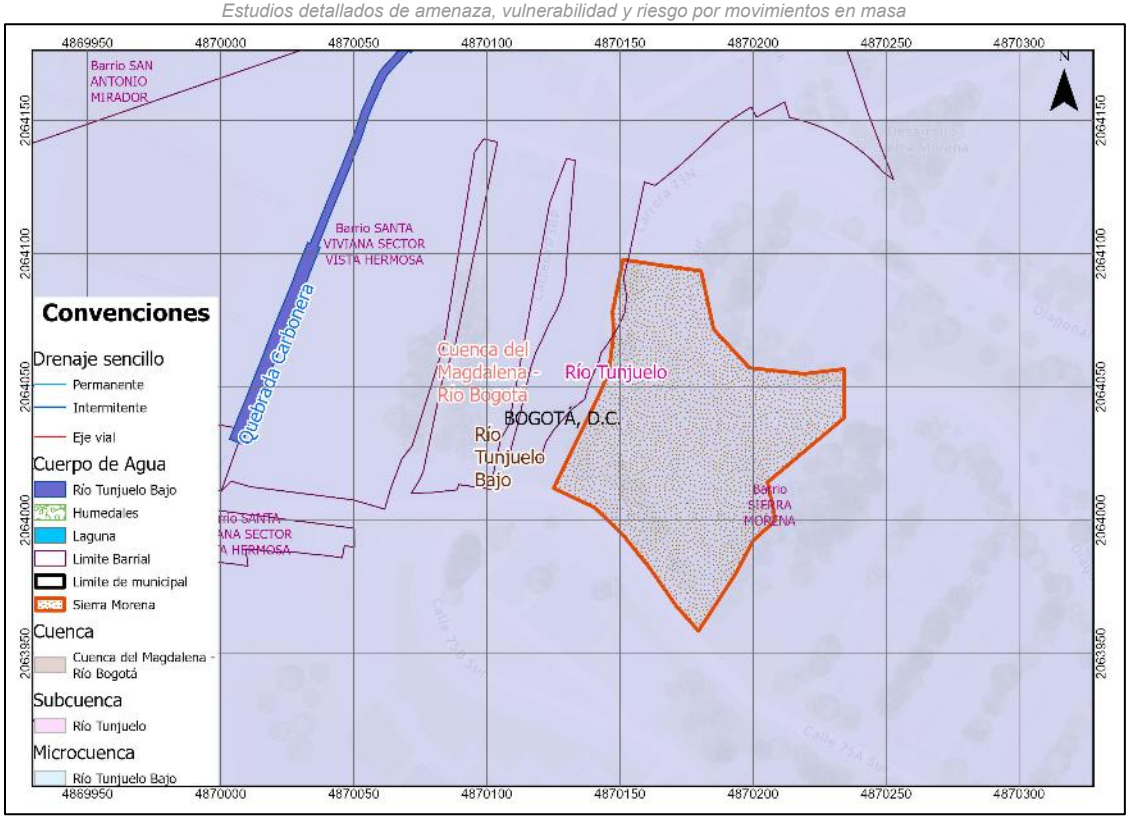


Figura 177. Cuenca Hidrográfica
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Hidrogeología

Para la evaluación de las condiciones hidrogeológicas de los sitios de estudio, se tuvo en cuenta fundamentalmente los parámetros geológicos y geomorfológicos que pueden tener influencia en la zona y sus alrededores.

- Desde el punto de vista geológico, se tiene que en el sitio de estudio (Sierra Morena-Corte Vial) y sus alrededores, se presentan, las rocas de Formación Guaduas, en su conjunto medio(K2E1gm), la cual aflora ampliamente y depósitos coluviales (Qc).

  - La Formación Guaduas, en su conjunto medio (K2E1gm), en el sitio de estudio, está constituida por una secuencia interestratificada de niveles de areniscas, color amarillo, grano fino a medio, con arcillolitas, color amarillo; las rocas presentan, una consistencia media a dura, en estratos delgados a medios, moderadamente meteorizadas y poco fracturadas. Las rocas presentan buzamientos en el mismo sentido de la pendiente de las laderas (ladera estructural).

  - Los Depósitos coluviales (Qc), afloran hacia la parte norte y noroeste del área, corresponden a depósitos antiguos, presentes en los sectores bajos de las laderas. Están constituidos por Bloques de areniscas, de tamaño y forma heterométrica, en matriz areno-limosa, de color amarillo; estos depósitos presentan buena consistencia, cuyo espesor puede alcanzar los 10.00m.

- Desde el punto de vista geomorfológico, los terrenos del área de ubicación del sitio de estudio, están conformados principalmente por, geoformas de laderas estructurales (Sle), cuyos estratos rocosos buzan en el mismo sentido de la pendiente de los terrenos, y por superficies de depósitos coluviales(Qc).

7.7 EVALUACIÓN AMBIENTAL

7.7.1 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Con el fin de determinar los posibles efectos ambientales asociados al desarrollo de las obras proyectadas, se realizará la identificación y evaluación de los impactos que podrían generarse sobre los componentes abiótico y biótico del área de intervención. Para ello, se llevará a cabo un análisis comparativo entre los escenarios con proyecto y sin proyecto, permitiendo establecer las alteraciones derivadas de la ejecución de las actividades constructivas frente a la evolución de las condiciones actuales del área en ausencia de la intervención.

El proceso se fundamentará en la información recopilada durante la elaboración de la línea base ambiental y empleará la metodología de Conesa (2010), la cual ha sido técnicamente adaptada por el Consultor para responder a las dinámicas del contexto urbano. Esta metodología permite identificar, caracterizar y valorar los impactos ambientales mediante la evaluación de diferentes atributos, facilitando la determinación de su importancia ambiental y el análisis de los efectos asociados a la ejecución del proyecto.

7.7.1.1 Identificación y análisis de los impactos Sin proyecto

En el escenario sin proyecto se mantendrían las condiciones actuales del área de intervención, correspondiente a un entorno urbano consolidado y altamente intervenido. Al no ejecutarse las obras de estabilización previstas, continuarían los procesos de inestabilidad asociados a desprendimientos de material y caída de bloques identificados en el talud objeto de estudio.

El principal impacto ambiental y social en este escenario corresponde a la permanencia de las condiciones de amenaza existentes, las cuales afectan la vía localizada en la base del talud. La continuidad de estos procesos puede generar obstrucciones parciales o totales de la calzada, comprometer la movilidad del sector y aumentar los riesgos para peatones y vehículos que transitan por este corredor vial.

Los principales impactos identificados para el escenario sin proyecto son:

- Continuidad de las condiciones de inestabilidad del talud y de los procesos de desprendimiento de material y caída de bloques.
- Persistencia de las afectaciones sobre la infraestructura vial ubicada en la base de la ladera.
- Mantenimiento de las condiciones de riesgo para peatones, ciclistas y vehículos que circulan por el sector.
- Posible incremento de las restricciones a la movilidad y de las condiciones de inseguridad asociadas a la ocurrencia de eventos de remoción en masa.

En este escenario no se presentarían los impactos temporales asociados directamente a las actividades constructivas, tales como generación de material particulado, ruido, emisiones atmosféricas o intervenciones sobre la cobertura vegetal. No obstante, permanecerían las condiciones actuales de inestabilidad del terreno y las afectaciones sobre la seguridad y la movilidad derivadas de los procesos de desprendimiento y caída de material identificados en la zona de estudio.

7.7.1.2 Identificación y análisis de los impactos Con proyecto

7.7.1.2.1 Identificación de las actividades del proyecto susceptibles de producir impactos ambientales

A continuación, se describen las actividades a desarrollar a lo largo de la ejecución del contrato de obra evaluadas en la matriz de identificación de los impactos socioambientales:

Tabla 124. Identificación de actividades constructivas.

ETAPA	ACTIVIDAD
Actividades previas al inicio de obra	Localización topográfica y replanteo de los ejes de anclajes, drenes y obras complementarias; instalación de cerramientos, señalización y medidas de seguridad; implementación de cunetas y canales provisionales para el manejo de escorrentías; descapote y limpieza superficial del área de intervención; instalación de instrumentación de seguimiento cuando sea requerida; y verificación de redes de servicios públicos o estructuras que puedan interferir con las excavaciones.
Ejecución de las obras de estabilización	Excavación por etapas de altura limitada; perforación de barrenos; instalación e inyección de anclajes tipo barra GEWI o sistema equivalente; instalación de drenes o lloraderas horizontales; colocación de platinas y elementos de fijación; instalación de malla anclada; aplicación de concreto lanzado en los sectores requeridos; instalación de biomantos; ejecución de actividades de revegetalización y protección superficial; y seguimiento permanente a las condiciones geotécnicas e hidrogeológicas del talud.
Instalación del sistema de drenaje profundo	Replanteo topográfico; perforación para drenes subhorizontales; registro de condiciones geológicas e hidrogeológicas encontradas; limpieza de perforaciones; instalación de tubería drenante; colocación de filtros y elementos complementarios cuando se requieran; verificación del funcionamiento hidráulico; construcción de obras de descarga y protección; y seguimiento al comportamiento del sistema de drenaje durante la ejecución de las obras.
Actividades de cierre	Retiro de instalaciones temporales, cerramientos, maquinaria y equipos; limpieza general de las áreas intervenidas; disposición final de residuos y materiales sobrantes; y verificación de las condiciones finales de estabilidad, drenaje y recuperación de las áreas intervenidas.

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

7.7.1.2.2 Identificación de la relación entre el proyecto y los elementos del medio

En la siguiente table se presenta la descripción de cada uno de los posibles impactos a producirse en el proyecto:

Tabla 125. Identificación de posibles impactos

IMPACTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN
Alteraciones en las propiedades del suelo	Modificación localizada de las condiciones físicas del suelo como consecuencia del descapote, limpieza superficial, excavaciones, perforaciones y conformación de las áreas requeridas para la ejecución de las obras de estabilización.
Contaminación del aire por ruido	Se refiere a la presencia de ruidos o vibraciones en el ambiente que causan molestias, riesgos o daños a las personas, sus actividades o bienes

IMPACTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN
Contaminación del aire por partículas y gases	Presencia de sustancias sólidas y gaseosas en el aire que pueden ser nocivas para la salud humana y el medio ambiente
Contaminación del suelo	Degradación o alteración de la calidad del suelo debido a la presencia de sustancias químicas o elementos tóxicos, principalmente causados por actividades humanas
Alteración de la calidad del agua	Se refiere a la introducción de sustancias o microorganismos no deseados en el agua, alterando su composición física, química o biológica y haciéndola inadecuada para su uso
Contaminación del aire por partículas y polvo	Presencia de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, que pueden ser de tamaño variable y origen diverso
Contaminación del suelo por derrame de combustibles	Pueden afectar la calidad del suelo, el crecimiento de la vegetación, la vida microbiana y la disponibilidad de agua, así como la salud humana al estar expuestos a los productos contaminantes
Desestabilización de taludes o hundimiento del terreno	Se refiere a la pérdida de estabilidad de una ladera o pendiente, que puede resultar en deslizamientos, desplomes o hundimientos.
Deterioro de la cobertura vegetal	El deterioro de la cobertura vegetal se refiere a la disminución o pérdida de la vegetación en un área,
Contaminación visual	Es un tipo de contaminación que afecta la estética de un entorno, alterando su paisaje y creando una sobrecarga de información visual que puede generar estrés, irritación y otros efectos negativos en la salud y bienestar de las personas
Afectación de las especies terrestres y acuáticas	Migración de animales, por ruido o contacto directo
Mejora en calidad de vida y oportunidades laboral	Se refieren a la elevación del bienestar general y a la posibilidad de obtener un empleo o ascender en la escala profesional
Alteración del mercado laboral	Cualquier cambio o perturbación que afecta el equilibrio entre la oferta y la demanda de empleo
Afectación al acceso de los predios, bienes y servicios.	Se refiere a cualquier restricción que limite o impida el acceso a propiedades, bienes o servicios, generalmente impuesta por una entidad pública o privada. Se plantea a nivel de contingencia
Falta de información y divulgación completa, clara y oportuna del proyecto y sus actividades.	Situación en la que no se comparte o difunde de manera efectiva información relevante para la comunidad, lo que puede generar malentendidos, desconfianza, y dificultad para tomar decisiones informadas

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

Una vez seleccionadas las actividades que podrían impactar al medio ambiente, se construye la Matriz de Identificación de Impactos Ambientales (Matriz causa-efecto o Matriz de Impactos), donde se cruzan las actividades con los factores ambientales identificados.

La identificación de impactos ambientales se realizará mediante una evaluación cualitativa empleando la Matriz de Leopold, que consiste en la construcción de una tabla de doble entrada, en donde las columnas corresponden a los factores ambientales presentes en el área de estudio y las filas corresponden a las actividades del proyecto.

Luego, mediante el cruce entre los factores ambientales y las actividades del proyecto, se indicará los impactos ambientales que se podrían generar indicando la naturaleza del impacto, Positivo de color verde y Negativo de color rojo.

7.7.1.2.3 Análisis de la identificación de impactos con proyecto

Con el aporte conjunto del grupo interdisciplinario se discutirá la incidencia de los impactos (positivos y negativos) sobre el componente ambiental en el área de influencia del proyecto.

Se realizará el análisis de los impactos con el objeto de evaluar las consecuencias cualitativas y cuantitativas del proyecto con el fin de priorizar las medidas de manejo de acuerdo con sus impactos en cada uno de los elementos ambientales que se identifiquen en el área de influencia.

En el Plan de Manejo Ambiental, se incluirán los diseños y las interferencias que se presten con los elementos de la estructura ecológica principal, de acuerdo con grado de sensibilidad ambiental relacionada con la incidencia en el ecosistema que tendría la realización o no del proyecto.

7.7.1.2.4 Calificación y evaluación de impactos con proyecto

Una vez identificados los principales impactos generados por el desarrollo de las etapas del proyecto de construcción, se procede a la calificación y evaluación de los impactos basados en la metodología ad-hoc de Conesa & Fernández, modificada por la Consultoría, para disponer de un panorama más adecuado que permita el desarrollo de los programas aplicables al proyecto para prevenir, controlar, mitigar y/o compensar los impactos según sea el caso.

De acuerdo con las características y condiciones de los impactos identificados para el desarrollo del presente proyecto vial se utilizará la siguiente metodología para su calificación y evaluación.

La calificación de los impactos ambientales se realizará para cada uno de los indicadores seleccionados mediante la utilización de una escala de valores que determinan el grado o intensidad de alteración que se generan con la implementación del proyecto vial.

En la se describen los criterios de calificación de los impactos teniendo en cuenta el grado de afectación de estos hacia el ecosistema en el área de influencia del proyecto.

Tabla 126. Identificación de posibles impactos

Categoría Ambiental	Calificación	Descripción
Naturaleza: (N)	Positivo (+) Negativo (-)	Identifica si el impacto es beneficioso o perjudicial para el medio ambiente.
Probabilidad de Ocurrencia: (PO)	Alta (3):	Cuando el impacto tiene que darse así se tomen todas las medidas de manejo
	Media (2):	Hay probabilidad de que ocurra, pero puede prevenirse
	Baja (1)	La probabilidad de que ocurra es solo en casos excepcionales
Reversibilidad: (R)	Irrecuperable 3):	El Impacto es permanente o permanece por mucho tiempo, aun cuando cese la actividad que lo produce
	Recuperable (2):	Cuando el impacto es recuperable con alguna medida ambiental aplicada
	Reversible (1):	Son aquellos impactos que vuelven a auto recuperase una vez finalice la actividad que lo genera

Categoría Ambiental	Calificación	Descripción
Efecto (E)	Directa (3)	Si la afectación es causada directamente por la actividad que se está ejecutando
	Indirecta (1)	Si la afectación no es causada directamente por la actividad
Área de Afectación (AA)	Muy Alta (5)	Si la afectación es sobre un ecosistema sensible o sobre ecosistemas declarados así por las Autoridades competentes
	Alta (3)	Cuando el área de afectación es mayor al área de influencia directa definida
	Media (2)	Cuando la afectación se da en el área de influencia directa
	Baja (1)	Cuando la afectación es solamente en el sitio donde se está llevando a cabo la actividad (puntual)
Duración (T)	Permanente (3)	Cuando el impacto permanece por mucho tiempo, aun después de terminada las actividades que lo producen
	Largo plazo (2)	Cuando el impacto permanece un tiempo más, después de terminada la actividad que lo genera
	Corto plazo (1)	Cuando el impacto existe solo durante el tiempo que se desarrolla la actividad que lo produce

Fuente: Metodología Conesa & Fernández modificada por Consorcio E&D CONSORCIO PRESERVAR

7.7.1.2.5 Calificación ambiental del impacto

La calificación de Importancia Ambiental del Impacto (IAI) se determina por la sumatoria de las calificaciones en los parámetros de Naturaleza (N), Probabilidad de Ocurrencia (PO), Reversibilidad (R), Efecto (E), Área de Afectación (AA), Tiempo de Duración (T); el resultado ubicado dentro de la Matriz de Importancia de los Impactos Ambientales establece la jerarquización del impacto.

El resultado de la Importancia Ambiental de Impacto (IAI) está dado por la siguiente ecuación:

$$IAI = \Sigma (+/-) + (PO+R+E+AA+T)$$

El impacto ambiental se califica de acuerdo con el valor obtenido, conforme a los siguientes rangos de valoración:

- **Impacto SIGNIFICATIVO:** cuando el valor del impacto es mayor o igual a 11. Estos impactos requieren especial atención dentro de los programas de manejo ambiental. En la matriz de resultados se encuentran resaltados en color rojo.

- **Impacto MODERADO:** cuando el valor del impacto se encuentra entre 8 y 10. Para estos impactos se contempla la aplicación de medidas preventivas y de manejo orientadas a evitar o mitigar sus efectos. En la matriz de resultados se encuentran resaltados en color anaranjado.

- **Impacto IRRELEVANTE:** cuando el valor del impacto es menor o igual a 7. Corresponde a impactos de menor importancia, cuya manifestación se presenta de manera temporal u ocasional. En la matriz de resultados se encuentran resaltados en color amarillo.

- **Impactos POSITIVOS:** corresponden a aquellos efectos favorables derivados de las actividades o resultados del proyecto. En la matriz de resultados se encuentran resaltados en color verde.

Tabla 127. Rangos

TIPO DE IMPACTO	RANGO
POSITIVO	COLOR VERDE
IRRELEVANTE	IMPACTO <=7
MODERADO	8>=IMPACTO<=10
SIGNIFICATIVO	IMPACTO>=11

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

7.7.1.2.6 Resultados y análisis de la evaluación ambiental con proyecto

A partir de la identificación y valoración de los impactos ambientales asociados a las actividades proyectadas, se presentan los resultados obtenidos para el escenario con proyecto, considerando las posibles afectaciones sobre los componentes abiótico y biótico del área de intervención.

La evaluación permite establecer la importancia de los impactos que podrían generarse durante la ejecución de las obras, de acuerdo con los criterios y rangos de valoración definidos mediante la metodología de Conesa (2010), adaptada por el Consultor para las condiciones del contexto urbano. Los resultados obtenidos se presentan en la matriz de evaluación ambiental (ver **Tabla 128**), en la cual se identifican y clasifican los impactos de acuerdo con su valoración.

Tabla 128. Matriz de impactos

ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	Naturaleza: (N)	Probabilidad de Ocurrencia: (PO)	Reversibilidad: (R)	Efecto (E)	Área de Afectación (AA)	Duración (T)	Importancia Ambiental del Impacto (IAI)
PRELIMINARES Y APORTES DE COBERTURA (Descapote/Limpieza)	Replanteo y adecuación inicial del área de intervención	Contaminación visual	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Instalación de cerramiento temporal en polisombra	Contaminación visual	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Descape y remoción de la cobertura superficial del terreno	Alteraciones en las propiedades del suelo	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Remoción de cobertura vegetal	Deterioro de la cobertura vegetal	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Generación de material particulado durante el descapote y las demoliciones	Contaminación del aire por partículas y polvo	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
EXCAVACIÓN	Excavación manual de material común	Alteraciones en las propiedades del suelo	NEGATIVO	1	1	1	1	1	5
	Generación de ruido por operación de maquinaria y equipos	Contaminación del aire por ruido	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Generación de material particulado durante las excavaciones y movimiento de materiales	Contaminación del aire por partículas y polvo	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Generación de material sobrante y escombros	Generación de residuos y escombros	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7

ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	Naturaleza: (N)	Probabilidad de Ocurrencia: (PO)	Reversibilidad: (R)	Efecto (E)	Área de Afectación (AA)	Duración (T)	Importancia Ambiental del Impacto (IAI)
CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS, OBRAS HIDROSANITARIAS Y DE DRENAJE	Construcción de estructuras en concreto	Contaminación del suelo	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Manejo y colocación de materiales de construcción	Generación de residuos y escombros	NEGATIVO	1	1	1	1	1	5
	Construcción del muro de contención y obras complementarias	Mejora de las condiciones de seguridad del sector	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Construcción de canaleta	Alteración de la calidad del agua	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
SEÑALIZACIÓN Y CERRAMIENTO PERIMETRAL DE SEGURIDAD	Instalación de elementos de señalización, vallas y polisombra	Contaminación visual	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
MANEJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y ESFLUYENTES EN POZOS	Arrastre de sedimentos por lluvias hacia el talud	Alteración de la calidad del agua	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Presencia de ruido y maquinaria cercana a hábitats locales	Afectación de las especies terrestres y acuáticas	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Afectación puntual de la fauna por intervención de nivel freático	Afectación de las especies terrestres y acuáticas	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
TRANSPORTE Y SUMINISTRO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Dispersión de finos y sedimentos hacia el alcantarillado	Alteración de la calidad del agua	NEGATIVO	1	1	3	2	1	8
	Arrastre de sedimentos en zona de cargue y descargue	Alteración de la calidad del agua	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7

ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	Naturaleza: (N)	Probabilidad de Ocurrencia: (PO)	Reversibilidad: (R)	Efecto (E)	Área de Afectación (AA)	Duración (T)	Importancia Ambiental del Impacto (IAI)
	Emisión de ruido por tránsito de volquetes y mixers	Contaminación del aire por ruido	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Emisión de gases de combustión por volquetes	Contaminación del aire por partículas y polvo	NEGATIVO	1	1	3	2	1	8
	Preparación inadecuada de mezclas o lavado de canaletas en suelo	Contaminación del suelo por derrame de combustibles	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
OPERACIÓN DE EQUIPOS DE MEZCLADO Y COMPRESIÓN EN SITIO	Emisión de ruido por funcionamiento de motores	Contaminación del aire por ruido	NEGATIVO	1	1	3	2	1	8
	Generación de residuos peligrosos (filtros, aceites usados)	Contaminación del suelo	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Potencial derrame accidental de lubricantes o hidrocarburos	Contaminación del suelo por derrame de combustibles	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Emisión de gases de combustión por equipos estacionarios	Contaminación del aire por partículas y gases	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS	Generación de estopas, filtros y envases contaminados (RESPEL)	Contaminación del suelo	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Vertimiento / derrame accidental de lubricantes o fluidos	Contaminación del suelo por derrame de combustibles	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
GESTIÓN Y DISPOSICIÓN	Acopio, cargue y transporte de	Contaminación del suelo	NEGATIVO	1	1	3	2	1	8

ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	Naturaleza: (N)	Probabilidad de Ocurrencia: (PO)	Reversibilidad: (R)	Efecto (E)	Área de Afectación (AA)	Duración (T)	Importancia Ambiental del Impacto (IAI)
INTEGRAL DE RCD (PGIR)	escombros de excavaciones								
CONTRATACIÓN DE MANO DE OBRA LOCAL (Gestión Social)	Generación de empleo directo e indirecto	Mejora en calidad de vida y oportunidades laboral	POSITIVO	1	1	3	2	1	8
	Vinculación de personal y contratación en la zona	Alteración del mercado laboral	POSITIVO	1	1	3	2	1	8
INTERVENCIÓN EN INFRAESTRUCTURA DE PREDIOS Y VÍAS	Tránsito de maquinaria pesada sobre vías de acceso	Afectación al acceso de los predios, bienes y servicios.	NEGATIVO	1	1	3	1	2	8
	Acopio de materiales o actividades en frentes de obra	Afectación al acceso de los predios, bienes y servicios.	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
	Trabajos cercanos a redes aéreas o subterráneas	Afectación al acceso de los predios, bienes y servicios.	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
GESTIÓN SOCIAL, INFORMACIÓN Y ATENCIÓN A LA COMUNIDAD	Divulgación de actividades, horarios y cierres temporales	Falta de información y divulgación completa, clara y oportuna del proyecto y sus actividades.	NEGATIVO	1	1	3	1	1	7
PROMEDIO									7,09

Fuente: Consorcio Preservar, 2026

De los 35 impactos identificados, 30 se clasifican como irrelevantes, de los cuales 2 corresponden a impactos positivos. Los 7 impactos restantes se clasifican como moderados, de acuerdo con los rangos de valoración establecidos en la Tabla 11. En términos generales, la evaluación presenta un promedio de calificación de 7,09, lo que refleja una predominancia de impactos de baja importancia dentro del escenario con proyecto.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE

7.8 DEMANDA DE RECURSOS NATURALES

7.8.1 RECURSO AGUA

7.8.1.1 Aguas superficiales

En caso de que alguna actividad constructiva requiera el uso de agua para fines industriales, esta deberá ser gestionada y adquirida directamente con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).

7.8.1.2 Vertimiento

Las actividades constructivas asociadas al proyecto no generan vertimientos de origen industrial ni doméstico. Para el manejo adecuado de las aguas residuales generadas por el personal vinculado al proyecto, se dispondrá de una oficina que cuenta con conexión al sistema de alcantarillado de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). Y para los frentes de obra se contará con baños portátiles a un porveedor autorizado.

7.8.1.3 Ocupación de cauce

Para la construcción de la obra proyectadas no se requiere intervención directa de cuerpos de agua, por lo tanto, no se requiere de este permiso.

7.8.2 RECURSO SUELO

7.8.2.1 Fuentes Materiales

Con base en la información disponible en el portal web del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), se tomó como referencia el listado de fuentes de materiales con fecha de corte del 28 de febrero de 2026. Dicho listado incluye las fuentes de materiales autorizadas ubicadas en Bogotá D.C. y municipios aledaños, las cuales pueden ser consideradas para el suministro de insumos requeridos durante la ejecución del proyecto. La compilación y consolidación de esta información se presenta en el **Anexo 1. Directorio de Proveedores**.

7.8.2.2 Sitios de disposición de materiales sobrantes

La relación de los sitios de disposición final de materiales sobrantes y Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se presenta en el **Anexo 2. Sitios de Disposición Final de RCD**. Este listado fue consolidado a partir de la información oficial publicada por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). La selección de estos sitios tiene como propósito garantizar que los materiales sobrantes generados durante la ejecución del proyecto sean transportados y dispuestos en instalaciones que cuenten con las autorizaciones ambientales vigentes emitidas por la autoridad competente.

7.8.2.2.1 Plan de gestión RCD

El manejo de los materiales sobrantes de excavación y demolición (almacenamiento, transporte y disposición) se realizará según la normativa ambiental vigente. La clasificación de los residuos, las cantidades calculadas y los sitios autorizados para su disposición se encuentran detallados en el Anexo 4: Plan de Gestión de RCD.

7.8.2.3 Recurso aire

No se requiere permiso de emisiones atmosféricas, debido a que los materiales serán obtenidos de proveedores autorizados.

7.9 PROGRAMAS DE MANEJO AMBIENTAL

Los programas se estructuran a partir de los resultados obtenidos en la caracterización del área de intervención y de la identificación y valoración de los impactos ambientales asociados a las actividades previstas para la ejecución del proyecto. Su contenido se organiza mediante fichas de manejo ambiental, en las cuales se establecen las medidas correspondientes a los principales aspectos e impactos identificados para las diferentes etapas de la obra.

Las fichas presentan de manera organizada las medidas de manejo asociadas a las actividades constructivas, considerando las condiciones ambientales existentes en el área de intervención y las características de las obras proyectadas.

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST								**Código: CA**
Tipo de medida	**Corrección**		**Prevención**	**X**	**Mitigación**	**X**	**Compensación**	
OBJETIVO								
Garantizar el cumplimiento de las obligaciones ambientales y de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) por parte del contratista de obra, mediante la implementación y ejecución de las acciones, medidas y controles establecidos para el desarrollo del proyecto, de conformidad con la normativa ambiental y de SST aplicable. Lo anterior, con el fin de prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos generados por las actividades constructivas, promoviendo la protección del medio ambiente, así como el bienestar, la seguridad y la salud del personal vinculado a la obra y de la comunidad ubicada en el área de influencia del proyecto.								
ACCIONES A DESARROLLAR								
Conformación de equipo ambiental y sst Con el fin de garantizar el adecuado cumplimiento de las obligaciones ambientales y de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) durante la ejecución de las actividades constructivas asociadas al proyecto, se presenta a continuación la conformación del equipo mínimo ambiental y SST. • Residente de obra • Especialista/residente ambiental • Especialista/ residente SST • Biólogo • Forestal Una vez se defina el personal definitivo que participará en la etapa constructiva del proyecto, el contratista de obra presentará la relación del equipo ambiental y de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), incluyendo como mínimo el nombre, cargo y correo electrónico del director de obra, ingeniero residente, especialista ambiental, especialista forestal, especialista SST, biólogo e inspectores SST y ambiental, con el fin de garantizar la adecuada articulación técnica, ambiental y operativa durante la ejecución de las actividades constructivas.								

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	**Código: CA**

De igual forma, el contratista deberá conformar e implementar una Brigada de Orden, Aseo y Limpieza (BOAL) con el personal de obra (este equipo deberá estar conformado por máximo 3 personas?, orientada a promover y mantener condiciones adecuadas de limpieza, organización y manejo de residuos dentro de las áreas de trabajo.

Obligaciones de equipo ambiental y sst

Obligaciones generales

- Inducciones ambientales y SST
- Capacitaciones
- Entrenamientos simulacros atención de derrames accidentales de combustible
- Asistencia y participación a los comités ambientales convocados por interventoría e IDU.
- Cumplimiento a las obligaciones derivadas de los permisos ambientales otorgados.
- Seguimiento a los indicadores propuestos.
- Elaboración y remisión a la interventoría de los informes mensuales, semanales e informe final.
- Elaboración del documento plan de manejo de obra.

Obligaciones especificas

Especialista /residente Ambiental:

- Cumplir con las obligaciones ambientales establecidas en el pliego de condiciones, el contrato, el Plan de Manejo Ambiental y demás normativa ambiental vigente.
- Orientar y coordinar la implementación de las fichas, programas, procedimientos y medidas de manejo ambiental durante la ejecución del proyecto.
- Realizar el control, seguimiento e inspección ambiental de las actividades desarrolladas en obra, verificando el cumplimiento de las medidas y procedimientos establecidos.
- Gestionar y hacer seguimiento al presupuesto destinado a las actividades ambientales, de acuerdo con las necesidades y avance del proyecto.
- Mantener actualizada la programación de las actividades ambientales, de acuerdo con el avance de la obra y los requerimientos identificados.
- Diligenciar y mantener actualizada la bitácora ambiental, formatos, registros y demás soportes requeridos durante la ejecución del proyecto.
- Identificar y tomar medidas preventivas frente a posibles incidentes o situaciones que puedan generar impactos ambientales, informando oportunamente sobre su ocurrencia y las acciones implementadas.
- Coordinar y supervisar las actividades de la Brigada de Orden, Aseo y Limpieza (BOAL), incluyendo las relacionadas con limpieza, organización y manejo de residuos en las áreas de trabajo.
- Verificar que el personal vinculado a la obra reciba las inducciones, capacitaciones y socializaciones ambientales requeridas antes y durante la ejecución de las actividades.
- Mantener comunicación permanente con el equipo técnico y operativo de obra para coordinar las actividades de gestión ambiental y el cumplimiento de las obligaciones establecidas.

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	Código: CA

- Participar en reuniones, comités y visitas de seguimiento convocadas por la interventoría, supervisión o autoridades competentes.
- Elaborar y presentar los informes ambientales y soportes de seguimiento requeridos por la interventoría, supervisión y demás entidades competentes.
- Atender y dar respuesta a los requerimientos, observaciones y solicitudes realizadas por la interventoría, supervisión y autoridades ambientales relacionadas con la ejecución del proyecto.
- Hacer seguimiento a las acciones correctivas y preventivas derivadas de hallazgos ambientales identificados durante las inspecciones y actividades de seguimiento.

Especialista SST:

- Programa, ejecutar y controlar el cumplimiento del programa de seguridad y salud en el trabajo.
- Coordinar y supervisar las actividades desarrolladas por los inspectores SST y demás personal encargado de la gestión de seguridad y salud en el trabajo en obra.
- Mantener comunicación permanente con la dirección y residencia de obra sobre el estado, cumplimiento y necesidades asociadas a la gestión SST del proyecto.
- Diseñar, implementar y mantener actualizado el plan de emergencias y contingencias de la obra, garantizando una atención oportuna ante cualquier situación de riesgo o emergencia.
- Formular e implementar estrategias orientadas a la prevención y control de incidentes, accidentes de trabajo y afectaciones a terceros derivadas de las actividades constructivas.
-
- Elaborar y ejecutar programas de capacitación, inducción y sensibilización en Seguridad y Salud en el Trabajo dirigidos al personal vinculado al proyecto.
- Elaborar todos aquellos procedimientos aplicables a la obra de acuerdo al análisis de riesgos.
- Realizar inspecciones a los frentes de obra para evidenciar condiciones o actos inseguros, orden, aseo, señalización etc.
- Cumplir con la programación del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo.
- Organizar los recursos necesarios para la implementación del programa de gestión de seguridad y salud en el trabajo.
- Verificar que se realice la inducción en seguridad y salud en el trabajo a todos los trabajadores.
- Asesorar y conformar el comité paritario de salud en el trabajo.
- Llevar el control y seguimiento de los indicadores de accidentalidad, incidentes y ausentismo laboral, realizando los respectivos análisis y acciones de mejora
- Participar activamente en reuniones, comités SST, inspecciones y demás espacios de seguimiento relacionados con la seguridad y salud en el trabajo del proyecto.

Residente de Obra

- Apoyar y garantizar el cumplimiento de las medidas, programas y controles ambientales y de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) establecidos para el desarrollo del proyecto.
- Informar oportunamente al personal ambiental y SST sobre cualquier condición, acto inseguro, hallazgo o no conformidad identificada en los frentes de trabajo que pueda generar afectaciones ambientales, riesgos laborales o incumplimientos normativos.

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	Código: CA

- Participar y apoyar la ejecución de los programas asociados a la gestión ambiental y SST del proyecto, incluyendo el manejo de RCD, manejo de residuos peligrosos (RESPEL), orden y aseo, capacitaciones, señalización y demás actividades requeridas durante la etapa constructiva.
- Verificar que las actividades constructivas se desarrollen conforme a los lineamientos técnicos, ambientales y de seguridad definidos para la obra.
- Promover el cumplimiento de las condiciones de orden, aseo, señalización y seguridad dentro de las áreas de intervención del proyecto.

Especialista Forestal:

- Liderar y realizar seguimiento a la implementación de las medidas, programas y actividades relacionadas con el manejo de vegetación, cobertura vegetal y paisajismo requeridas para el desarrollo del proyecto.
- Brindar soporte técnico en la gestión y trámite de permisos, autorizaciones y requerimientos relacionados con el componente forestal ante la autoridad ambiental competente.
- Verificar que las autorizaciones, resoluciones y demás actos administrativos emitidos por la autoridad ambiental se ajusten a las necesidades y alcance del proyecto
- Cumplir todas las obligaciones ambientales y paisajísticas contempladas en los pliegos de condiciones.
- Realizar seguimiento a las actividades de manejo silvicultural y demás intervenciones sobre la cobertura vegetal que sean requeridas para el proyecto.
- Coordinar la implementación de medidas de protección y conservación de individuos arbóreos y áreas verdes que no sean objeto de intervención
- Mantener actualizados los registros, soportes e informes relacionados con el componente forestal y paisajístico del proyecto.
- Participar en reuniones, comités ambientales, visitas técnicas y demás espacios de seguimiento convocados por la interventoría, supervisión o autoridad ambiental competente.

Biólogo:

- Implementar las acciones de manejo, prevención, control y monitoreo de avifauna requeridas durante la etapa constructiva, conforme a los lineamientos ambientales aplicables al proyecto.
- Realizar acompañamiento técnico a las actividades constructivas que puedan generar afectación sobre la fauna presente en el área de influencia del proyecto.
- Atender y dar cumplimiento a los requerimientos, medidas y obligaciones establecidas por la autoridad ambiental competente respecto al componente fauna y avifauna.
- Coordinar y ejecutar las actividades de rescate, ahuyentamiento, monitoreo y manejo de fauna que sean requeridas durante la ejecución de la obra.
- Verificar la correcta implementación de las medidas de protección de fauna definidas para el proyecto y reportar oportunamente cualquier afectación o hallazgo identificado en campo.
- Participar en reuniones, visitas técnicas y comités ambientales relacionados con el seguimiento del componente fauna durante la ejecución del proyecto.
- Garantizar el cumplimiento de las obligaciones ambientales asociadas al componente fauna establecidas para la ejecución de la obra.

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	Código: CA

Brigada de Aseo y Limpieza

La Brigada de Orden, Aseo y Limpieza (BOAL) estará conformada por personal de obra debidamente identificado, con el fin de apoyar las actividades relacionadas con el mantenimiento de condiciones adecuadas de limpieza, organización, señalización y seguridad dentro de las áreas de obra.

- Mantener los frentes de obra en adecuadas condiciones de orden, limpieza y aseo durante la ejecución de las actividades constructivas.
- Garantizar que la señalización instalada en obra permanezca visible, limpia y en buenas condiciones de funcionamiento.
- Revisar, ajustar y reemplazar la demarcación, aislamiento y señalización de las áreas de trabajo cuando presenten deterioro o pérdida de visibilidad.
- Apoyar la demarcación, señalización y aislamiento de las zonas destinadas al cargue, descargue y acopio temporal de materiales, residuos y escombros generados en obra.
- Participar en las actividades de clasificación, organización y manejo adecuado de residuos sólidos y materiales reciclables generados durante la ejecución de la obra.
- Verificar permanentemente el estado y estabilidad de cerramientos, aislamientos y elementos de protección instalados en la obra.
- Promover el adecuado uso de los elementos de protección personal por parte del personal que desarrolla actividades en obra.
- Utilizar y mantener en adecuado estado las herramientas menores y elementos requeridos para el cumplimiento de sus funciones, tales como palas, barras, cepillos, bolsas, elementos de aseo y demás equipos necesarios para las actividades de orden y limpieza.

Capacitaciones

En la fase constructiva se realizarán capacitaciones periódicas tanto por el residente ambiental.

Control Documental

Durante la ejecución del proyecto, el contratista de obra deberá garantizar el adecuado control, almacenamiento y actualización de toda la documentación generada en obra, con el fin de asegurar la trazabilidad de la información, el seguimiento de las actividades ejecutadas y el cumplimiento de los requerimientos contractuales y normativos aplicables.

La documentación deberá permanecer disponible en el campamento u oficina de obra, organizada en carpetas físicas y digitales, incluyendo como mínimo la siguiente información:

- **Carpeta de Materiales de Construcción**

Contendrá los registros y soportes relacionados con el control de materiales utilizados en la obra, incluyendo formatos de seguimiento, certificados de adquisición, remisiones, facturas y demás documentos que acrediten el origen y uso de los materiales empleados durante la ejecución del proyecto.

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	Código: CA

- **Carpeta de Manejo de Residuos de Construcción y Demolición – RCD**

Contendrá los formatos y soportes asociados al manejo, control, aprovechamiento y disposición final de residuos de construcción y demolición generados en obra. Así mismo, incluirá certificaciones de disposición final, planillas de transporte, registros de aprovechamiento y demás soportes relacionados con la gestión integral de RCD.

- **Carpeta de Maquinaria, Equipos y Vehículos**

Contendrá la información y soportes correspondientes a la maquinaria, equipos y vehículos vinculados al proyecto, incluyendo listados, registros de movilización, formatos de abastecimiento de combustible, certificados de emisiones, licencias, tarjetas de propiedad y demás documentación requerida para su operación.

- **Carpeta de Seguridad Social y Gestión Laboral**

Contendrá los registros y soportes relacionados con afiliaciones al sistema de seguridad social, exámenes médicos ocupacionales, pagos de aportes, nómina, parafiscales y demás documentos asociados al personal vinculado al proyecto. Esta información deberá mantenerse organizada y disponible para consulta y seguimiento.

- **Carpeta de Seguimiento SST**

Contendrá los registros y soportes derivados de las actividades del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), incluyendo investigaciones de incidentes y accidentes, registros de inducción y capacitación, entrega de elementos de protección personal, inspecciones, formatos de seguimiento y demás evidencias relacionadas con la gestión SST del proyecto.

- **Carpeta de Registro Fotográfico**

Se deberá mantener un registro fotográfico periódico de los diferentes frentes de obra, evidenciando la implementación de las medidas ambientales y SST del proyecto. Como mínimo, deberá incluir registros relacionados con:

  - Señalización, cerramientos y manejo peatonal.
  - Manejo de excavaciones y zonas de riesgo.
  - Acopio de materiales y manejo de RCD.
  - Operación de maquinaria y vehículos.
  - Manejo de vegetación y componente forestal.
  - Implementación de medidas de SST.
  - Actividades de capacitación e inducción.
  - Actividades de aprovechamiento y disposición de residuos.

- **Carpeta Otros Documentos**

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	**Código: CA**

Contendrá copia de los documentos contractuales, actas de comité, requerimientos de interventoría, formatos adicionales exigidos y demás documentación técnica, ambiental y SST relacionada con la ejecución del proyecto.

Toda la documentación anteriormente mencionada deberá permanecer debidamente organizada y almacenada en un archivador o espacio destinado para tal fin, con acceso restringido al personal considerando que se contará con documentación original.

Adicionalmente, el contratista deberá mantener respaldo digital actualizado de toda la información, garantizando el escaneo, almacenamiento y conservación de los soportes generados durante la ejecución de la obra, con el fin de asegurar su disponibilidad, trazabilidad y adecuada conservación.

RECURSOS	**PERSONAL RESPONSABLE**
Papelería (carpetas, legajadores, separadores, impresiones) para el adecuado archivo de la documentación ambiental y SST.	Residente de obra Residente ambiental Biólogo Forestal BOAL-Brigada de Orden y Aseo
COSTOS ASOCIADOS	**REGISTROS ASOCIADOS**
	Registros fotográficos Informes mensuales Actas de comité

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Nombre	Descripción	Meta	Formula	Periodicidad
Conformación equipo de gestión ambiental y SST	Se realizará seguimiento al equipo mínimo que haga parte de la gestión ambiental y SST	100 %	$\frac{\text{N°de persona del equipo de gestion ambiental y SST activo en el mes}}{\text{N° de personas requeridas para el equipo de gestion ambiental y SST}} * 100\%$	Mensual
Actualización de la normativa aplicable	Actualizar el marco normativo conforme a las normas emitidas en el mes y que apliquen en el proyecto	100 %	$\frac{\text{N° de normas actualizadas para el proyecto}}{\text{N° de normas nuevas actualizadas emitidas por entidades}} * 100\%$	Mensual

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST				**Código: CA**
Elaboración de informes ambientales	Elaboración y radicación oportuna de los informes mensuales ambientales y SST	100 %	$\frac{\text{N° de informes ambientales y sst presentados}}{\text{N° total de informes contractuales}} * 100\%$	Mensual
Cumplimiento del plan de capacitaciones	Revisión en el cumplimiento de las capacitaciones programadas	>90 %	$\frac{\text{N° de capacitaciones realizadas}}{\text{N° de capacitaciones programadas}} * 100\%$	Mensual
Cobertura del personal capacitado	Evidenciar la asistencia y participación del personal vinculado al contrato	>90 %	$\frac{\text{N° de personas capacitadas}}{\text{N° de personas vinculadas}} * 100\%$	Mensual

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	ene-27	feb-27	mar-27	abr-27	may-27	jun-27	jul-27	ago-27
Conformación equipo de gestión ambiental ySST	X	X	X	X	X	X	X	X
Actualización de la normativa aplicable	X	X	X	X	X	X	X	X
Elaboración de informes ambientales	X	X	X	X	X	X	X	X
Cumplimiento del plan de capacitaciones		X	X	X	X	X	X	X
Cobertura del personal capacitado		X	X	X	X	X	X	X

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO								**Código: CB1**
Tipo de medida	**Corrección**		**Prevención**	**X**	**Mitigación**	**X**	**Compensación**	
OBJETIVO:								

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO	**Código: CB1**

Establecer las medidas de manejo ambiental tendientes a la corrección, prevención, mitigación y compensación de dichos impactos que son ocasionados por la instalación de infraestructura temporal durante el desarrollo del Contrato

ACCIONES A DESARROLLAR

El proyecto deberá de contar con un campamento fijo en un lugar cercano al punto de intervención del presente proyecto. Igualmente, para la ejecución del contrato, se instalarán campamentos temporales, carpas móviles, áreas de acopio de materiales según las necesidades de obra, dotados de los implementos que permitan la ejecución de las diferentes actividades contractuales y cumplimiento de la normativa ambiental.

Oficina / Campamento

La infraestructura destinada para oficina o campamento contará, como mínimo, con dos (2) unidades sanitarias fijas, considerando la disponibilidad de un (1) baño por cada quince (15) trabajadores, debidamente separados para hombres y mujeres. Adicionalmente, dispondrá de zona de cafetería, sala de juntas y espacios acondicionados para oficinas administrativas.

Las instalaciones estarán dotadas con escritorios, equipos de cómputo, sillas, archivadores, extintores, camilla de emergencias, botiquín de primeros auxilios, señalización preventiva e informativa, dos (2) puntos ecológicos para la adecuada segregación de residuos, papeleras individuales y carteleras informativas correspondientes a Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

Asimismo, se garantizará la disponibilidad de los servicios públicos de agua potable, energía eléctrica e internet. El campamento contará con un área de recepción dotada con sillas de espera, cartelera informativa del proyecto, buzón de sugerencias y personal encargado de la atención y gestión de las Peticiones, Quejas y Reclamos (PQR) presentadas por la comunidad.

Elementos autorizados para almacenamiento

En las instalaciones de la oficina o campamento únicamente se permitirá el almacenamiento de la señalización requerida para la ejecución de la obra, así como de insumos y elementos de papelería necesarios para el desarrollo de las actividades administrativas.

Restricciones de almacenamiento

No se permitirá el almacenamiento de combustibles, sustancias peligrosas, materiales de construcción, residuos ni cualquier otro elemento asociado directamente a las actividades constructivas de la obra.

Carpas móviles

Se dispondrá de carpas móviles destinadas al acopio temporal de materiales requeridos para la ejecución de la obra, así como áreas para el parqueo de maquinaria, equipos y vehículos. En estas zonas se implementarán las medidas ambientales y de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) necesarias para garantizar el cumplimiento de la normatividad vigente.

Estos espacios estarán destinados al servicio de los trabajadores, quienes contarán con las condiciones básicas requeridas para el desarrollo de sus actividades, incluyendo áreas de vestier, puntos de hidratación y espacios adecuados para el consumo de agua.

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO	Código: CB1

De igual manera, las carpas móviles estarán dotadas con los elementos e implementos necesarios para el bienestar y desempeño seguro de los trabajadores, los cuales se relacionan a continuación:

- Señalización.
- Camilla.
- Botiquín de primeros auxilios.
- Punto ecológico
- Silla
- Kit control de derrames
- Cartelera informativa

En caso de que los campamentos temporales sean instalados en espacio público, se realizará un registro fotográfico previo y posterior a su instalación, con el fin de evidenciar las condiciones iniciales y finales del área intervenida. Una vez finalizadas las actividades, las zonas utilizadas deberán ser restituidas en condiciones iguales o superiores a las encontradas inicialmente.

Cuando se requiera la conexión a servicios públicos domiciliarios, esta deberá gestionarse de manera legal y formal ante las respectivas empresas prestadoras de los servicios, garantizando el cumplimiento de la normatividad vigente.

Los campamentos temporales y, cuando aplique, el campamento fijo, deberán contar con las condiciones necesarias de seguridad, salud en el trabajo y señalización, con el propósito de prevenir riesgos, controlar el acceso a las áreas de trabajo y garantizar condiciones seguras para trabajadores, visitantes y comunidad en general.

Los sitios destinados al acopio temporal de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y de materiales de obra ubicados en las proximidades de los campamentos móviles deberán permanecer debidamente señalizados y delimitados mediante cerramiento con malla, barreras físicas o cinta de seguridad, según corresponda. Adicionalmente, estos acopios deberán mantenerse cubiertos para evitar la dispersión de partículas por acción del viento y minimizar posibles afectaciones al entorno.

La ubicación de las áreas de almacenamiento y acopio se definirá en sitios estratégicos que no interfieran con la movilidad ni con las actividades de la comunidad, manteniendo una distancia prudente respecto a drenajes, sumideros y demás elementos del sistema hídrico, con el fin de prevenir riesgos de contaminación ambiental.

Puntos de acopio para los Residuos de Construcción y Demolición

Los sitios destinados al acopio temporal de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) serán ubicados en áreas previamente definidas y autorizadas, garantizando condiciones adecuadas de seguridad, orden y manejo ambiental.

Estos sitios deberán permanecer debidamente delimitados, señalizados y, cuando sea necesario, cubiertos para evitar la dispersión de materiales por acción del viento o la lluvia. Asimismo, se implementarán medidas de control para prevenir el arrastre de sedimentos hacia sumideros, redes de drenaje o cuerpos de agua cercanos.

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO	**Código: CB1**

Los RCD deberán clasificarse y almacenarse de manera organizada, favoreciendo su aprovechamiento, reutilización o disposición final. No se permitirá la mezcla de residuos aprovechables con residuos ordinarios o peligrosos.

Los acopios temporales deberán mantenerse en condiciones adecuadas de limpieza y orden, evitando la acumulación excesiva de materiales. El tiempo de permanencia de los residuos en el frente de obra será el mínimo necesario para su evacuación y transporte hacia los sitios de aprovechamiento, tratamiento o disposición final autorizados.

El transporte de los RCD deberá realizarse en vehículos autorizados, garantizando que la carga se encuentre cubierta y asegurada para evitar pérdidas de material durante el recorrido. Los gestores encargados de su aprovechamiento o disposición final deberán contar con las autorizaciones y permisos exigidos por la autoridad competente.

RECURSOS	**PERSONAL RESPONSABLE**
• Cinta de seguridad para delimitar áreas de trabajo y acopios de materiales para obra y RCDs. • Polisombra para el cerramiento. • Lonas de protección para sitios de almacenamiento y acopios de materiales de construcción.	• Ingeniero Residente de Obra • Residente Ambiental • BOAL- Brigada de Orden y Aseo
COSTOS ASOCIADOS	**REGISTROS ASOCIADOS**
	Registro fotográfico

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Nombre	**Descripción**	**Meta**	**Formula**	**Periodicidad**
Campamento / Oficina	Identificar la cantidad de campamentos o oficinas conforme a las necesidades del proyecto	100 %	$\frac{\text{N° de campamentos instalados en el mes}}{\text{N° de campamentos requeridos en el mes}} * 1$	Mensual
Unidades sanitarias	Identificar la cantidad de unidades sanitarias	100 %	$\frac{\text{N° unidades sanitarias activas en el mes}}{\text{N° unidades sanitarias tequeridas en el mes}}$	Mensual
Puntos ecológicos	Identificar la cantidad de puntos ecológicos	100 %	$\frac{\text{N° de puntos ecologicos activos en el mes}}{\text{N° de puntos ecologicos requeridos en el me}}$	Mensual

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO				**Código: CB1**
	instalados conforme a las necesidades del proyecto			
Desmantelamiento de campamentos y áreas de acopio temporal	Implementar las medidas establecidas durante la etapa de desmantelamiento de campamentos o oficinas y áreas de acopio temporal	100 %	$\frac{\text{N° de campamentos o oficinas fijas y tempor desmantelados}}{\text{N° de campamentos o oficinas fijas y tempor desmantelados}}$	Una vez se realice desmantelamiento de campamentos o oficinas y puntos de acopio

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	ene-27	feb-27	mar-27	abr-27	may-27	jun-27	jul-27	ago-27
Campamento / Oficina	X	X	X	X	X	X	X	X
Unidades sanitarias	X	X	X	X	X	X	X	X
Puntos ecológicos	X	X	X	X	X	X	X	X
Desmantelamiento de campamentos y áreas de acopio temporal	X							X

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN								**Código: CB2**
Tipo de medida	**Corrección**		**Prevención**	**X**	**Mitigación**	**X**	**Compensación**	

OBJETIVO:

Describir las medidas ambientales, para el manejo adecuado de los materiales utilizados para las actividades constructivas (arenas, agregados, concretos, asfaltos, prefabricados, ladrillos, materiales pétreos, hierro, etc.) y los residuos de construcción y demolición generados, evitando que impacten negativamente al medio ambiente y afecten los recursos agua, aire y suelo.}

ACCIONES A DESARROLLAR

A continuación, se presentan las medidas de manejo ambiental que deberán implementarse durante las actividades de almacenamiento, transporte, cargue, descargue y utilización de materiales de obra. El control, seguimiento y verificación de las acciones descritas deberán realizarse de manera permanente durante la ejecución de los trabajos, con el fin de garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable y prevenir posibles afectaciones al entorno.

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Código: CB2

Proveedores

La selección de proveedores para el suministro de materiales de obra se realizará con base en el listado de proveedores autorizados del IDU, garantizando que las fuentes de abastecimiento cumplan con los requisitos legales, técnicos y ambientales exigidos por la entidad.

Nombre	Tipo de material	N° Registro IDU
Ingenieros GF SAS	Agregados pétreos	12
Doble a Ingenieria SAS	Agregados pétreos	25
Tequia Gonzalez Fanny Isabel	Agregados pétreos	68
MINER GROUP SAS	Agregados pétreos	87
DROMOS PAVIMENTOS SAS	Agregados pétreos	295
Gravillera Albania SA	Agregados pétreos	429
INCOMINERIA SAS	Agregados pétreos	455
INDUSTRIAS ASFALTICAS SAS	Agregados pétreos	475
TRITURADOS TGS A	Agregados pétreos	484
GRAVAS Y CONCRETOS	Agregados pétreos	492
Mario Alberto Huertas Cotes	Agregados pétreos	572
GRAVAS Y CONTRETOS SA	Agregados pétreos	583
GARZON ROMERO G SAS	Agregados pétreos	617
INDUSTRIAS ASFALTICAS SAS	Agregados pétreos	627
JULIANA ALICIA GOMEZ DE FRANCO	Agregados pétreos	688
INGENIERIA Y TRANSPORTES LAMD SAS	Agregados pétreos	708
LADRILLERA SAN JOAQUIN SAS	Ladrillo y Productos de Arcilla	138
ARCILLAS DE COLOMBIA SA	Ladrillo y Productos de Arcilla	139

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	**Código: CB2**

LADRILLERA OVNDOLI SA	Ladrillo y Productos de Arcilla	336
LADRILLERA SANTA FE SA	Ladrillo y Productos de Arcilla	451
GRUPO INDUSTRIAL EL TREBOL SAS	Ladrillo y Productos de Arcilla	563
CEMEX COLOMBIA SA	Concreto Hidráulico	14
HOLCIM (COLOMBIA) SA	Concreto Hidráulico	22
CONCRETOS ARGOS SAS	Concreto Hidráulico	27
CEMEX COLOMBIA SA	Concreto Hidráulico	31
CONCRETOS ARGOS SAS	Concreto Hidráulico	362
CEMEX COLOMBIA SA	Concreto Hidráulico	474
CONCRETOS ARGOS SAS	Concreto Hidráulico	496
CONCRETOS ARGOS SAS	Concreto Hidráulico	497
CONCRETOS ARGOS SAS	Concreto Hidráulico	498
CEMEX COLOMBIA SA	Concreto Hidráulico	501
CEMEX COLOMBIA SA	Concreto Hidráulico	502
CEMEX COLOMBIA SA	Concreto Hidráulico	503
Mario Alberto Huertas Cotes	Concreto Hidráulico	573
CONCREMACK SAS	Concreto Hidráulico	609
CONCRETOS Y PREFABRICADOS DEL SUR SAS	Concreto Hidráulico	610
HORMIGON URBANO SAS	Concreto Hidráulico	632
INVERSIONES Y CONSTRUCCIONES TRANSCONCRETO SAS	Concreto Hidráulico	636
CONCREMOVIL SAS	Concreto Hidráulico	641

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	**Código: CB2**

HOLCIM (COLOMBIA) SA	Concreto Hidráulico	662
CONCREMOVIL SAS	Concreto Hidráulico	727
PISOS INDUSTRIALES JCR SAS	Concreto Hidráulico	746
CONCRETOS ARGOS SAS	Concreto Hidraulico	747

Los proveedores deberán cumplir con la normatividad vigente aplicable a su actividad y asegurar que los materiales suministrados cuenten con las especificaciones técnicas requeridas para la ejecución del proyecto. Asimismo, deberán garantizar que las actividades de cargue, transporte y descargue se desarrollen bajo condiciones que prevengan la generación de impactos ambientales, tales como la emisión de material particulado, derrames, pérdidas de carga, contaminación de cuerpos de agua o afectaciones a la comunidad y al espacio público.

Como parte del seguimiento ambiental del proyecto, se mantendrá actualizado el registro de proveedores utilizados durante la ejecución de la obra, junto con los soportes que evidencien su inclusión dentro del listado autorizado por el IDU, cuando aplique.

Medidas de manejo para agregados pétreos (arenas, gravas, triturados, bases granulares y recebos)

Los materiales pétreos utilizados durante la ejecución de la obra deberán provenir de fuentes legalmente autorizadas y ser manejados de manera que se prevenga la generación de impactos ambientales asociados a la dispersión de material particulado, arrastre de sedimentos y afectación de los sistemas de drenaje.

Para tal fin, se implementarán las siguientes medidas de manejo:

- Los sitios destinados al acopio temporal de agregados pétreos estarán debidamente delimitados, señalizados y cubiertos con materiales impermeables que eviten la dispersión de partículas por acción del viento o la lluvia.
- Los materiales almacenados se ubicarán sobre superficies protegidas mediante plástico, geotextil u otro elemento que evite el contacto directo con el suelo y prevenga su contaminación o deterioro.
- Los acopios temporales no podrán permanecer en los frentes de obra por un período superior a dos (2) días. Por lo tanto, el suministro de materiales se programará de acuerdo con las necesidades operativas del proyecto, manteniendo únicamente la cantidad requerida para un máximo de dos jornadas de trabajo.
- Las áreas de acopio temporal serán delimitadas mediante sacos de fibra rellenos, barreras de contención u otros elementos equivalentes, con el fin de controlar la escorrentía superficial durante eventos de lluvia y reducir el transporte de sedimentos hacia las vías, sumideros o cuerpos de agua cercanos.
- En los sumideros y estructuras de drenaje localizados en las proximidades de los sitios de almacenamiento temporal se instalarán barreras de protección o sistemas de retención de sedimentos, con el propósito de evitar la obstrucción de las redes de drenaje y minimizar la contaminación.

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Código: CB2

- Se realizará inspección diaria de los sitios de acopio para verificar el estado de las coberturas, la delimitación del área, las condiciones de limpieza y la efectividad de las medidas implementadas para el control de sedimentos y material particulado.
- En caso de presentarse derrames o dispersión de material fuera de las áreas autorizadas, se efectuará de manera inmediata la recolección y limpieza correspondiente, garantizando la restitución de las condiciones iniciales del área afectada.

Transporte de materiales de construcción

Con el fin de prevenir impactos ambientales asociados a la emisión de material particulado, generación de ruido, contaminación del suelo, afectación de la movilidad y deterioro del espacio público, el transporte de materiales de construcción deberá cumplir con las siguientes medidas de manejo:

- Los vehículos de transporte de materiales no podrán ser cargados por encima de la capacidad autorizada por el fabricante. La interventoría realizará verificaciones periódicas para garantizar el cumplimiento de esta disposición.
- Toda carga deberá transportarse debidamente cubierta con elementos de protección que eviten la dispersión de materiales durante el recorrido. Asimismo, los vehículos deberán transitar únicamente por las rutas autorizadas y cumplir con las restricciones de movilidad establecidas por las autoridades competentes.
- No se permitirá la utilización de extensiones o modificaciones en los contenedores, platones o carrocerías que incrementen artificialmente la capacidad de carga de los vehículos.
- Los vehículos deberán cumplir con la normatividad ambiental vigente en materia de emisiones atmosféricas, niveles de ruido y control de fugas de fluidos, garantizando adecuadas condiciones técnico-mecánicas que eviten derrames de aceite hidráulico, aceite de motor, combustible, refrigerante u otras sustancias contaminantes.
- Será obligatorio el uso de alarmas de reversa en todos los vehículos y equipos que así lo requieran. Dicho sistema deberá operar de manera automática y permanente durante las maniobras de retroceso.
- Antes de abandonar el frente de obra, los vehículos deberán verificar que el contenedor, platón o carrocería se encuentre completamente limpio en su parte externa, evitando la caída de materiales sobre las vías públicas y áreas aledañas.
- No se permitirá el lavado de vehículos, maquinaria ni equipos auxiliares dentro de las áreas del proyecto, en espacio público o sobre la vía pública. Estas actividades deberán realizarse únicamente en sitios autorizados que cuenten con las condiciones adecuadas para el manejo de aguas residuales y residuos asociados.
- Se implementará un sistema de limpieza manual de llantas para las volquetas y demás vehículos que ingresen o salgan de los frentes de obra, con el fin de remover lodo, sedimentos y otros materiales adheridos que puedan ser transportados hacia las vías públicas y generar material particulado una vez se sequen.
- En caso de presentarse derrames, pérdida de carga o dispersión de materiales durante el transporte, el responsable deberá realizar de manera inmediata las labores de recolección y limpieza correspondientes, garantizando la restitución de las condiciones originales del área afectada.

Inspecciones

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	**Código: CB2**

Con el fin de garantizar el cumplimiento de las medidas ambientales, de seguridad y de mantenimiento establecidas para el proyecto, se realizarán inspecciones periódicas a las áreas operativas y a los elementos de control implementados en obra.

Como mínimo, se efectuará una inspección mensual a los campamentos temporales, áreas de acopio de materiales, kits de control de derrames e instalaciones eléctricas provisionales, verificando su estado, funcionamiento, condiciones de seguridad, limpieza, señalización y cumplimiento de los requisitos establecidos en la normatividad vigente.

Los hallazgos identificados durante las inspecciones deberán registrarse y gestionarse mediante las acciones correctivas y preventivas correspondientes, garantizando su seguimiento y cierre oportuno.

Prohibiciones

Con el propósito de prevenir riesgos ambientales y de seguridad, durante la ejecución de la obra se deberán cumplir las siguientes prohibiciones:

- Se prohíbe el lavado de vehículos, volquetas, mezcladoras de concreto, maquinaria, equipos y herramientas en los frentes de obra, espacio público o zonas aledañas, con el fin de evitar vertimientos que puedan generar contaminación del suelo, redes de drenaje o cuerpos de agua. Estas actividades únicamente podrán realizarse en sitios autorizados y acondicionados para tal fin.
- No se permitirá la preparación o mezcla de concreto, mortero u otros materiales directamente sobre el suelo natural ni sobre superficies duras existentes. Para estas actividades se deberán utilizar recipientes, bateas, formaletas, lonas impermeables u otros sistemas que impidan el contacto directo con el terreno y faciliten la recolección de residuos.
- Se prohíbe dejar expuestas puntas de varillas, elementos metálicos o cualquier material que represente riesgo de accidente para trabajadores, peatones o comunidad en general. En caso de no ser posible su retiro inmediato, estas deberán protegerse, señalizarse y delimitarse adecuadamente hasta su eliminación definitiva.
- Se prohíbe la disposición temporal o permanente de materiales, residuos o equipos en zonas no autorizadas, andenes, áreas verdes, sumideros o espacios que afecten la movilidad peatonal y vehicular.
- Se prohíbe la quema de residuos, materiales sobrantes o cualquier otro elemento generado durante la ejecución de la obra.

RECURSOS	**PERSONAL RESPONSABLE**
• Kit control de derrames • Cinta de seguridad • Señalización • Lonas para el cubrimiento de acopios de materiales de construcción. • Equipo para el lavado de llantas de volquetas	• Ingeniero Residente de Obra • Residente Ambiental
COSTOS ASOCIADOS	**REGISTROS ASOCIADOS**
	Informe de seguimiento de materiales de obra y RCD
INDICADORES DE SEGUIMIENTO	

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Código: CB2

Nombre	Descripción	Meta	Formula	Periodicidad
Volumen de material utilizado en obra	Verificar el volumen certificado vs el volumen utilizado del material utilizado en el mes	100 %	$\frac{\text{Volumen de material certificado en el mes}}{\text{Volumen de material utilizado en el mes}} * 100\%$	Mensual
Proveedores de materiales vigentes	Verificar que los proveedores que suministraron materiales en el mes cuenten con los permisos minero-ambientales vigentes	100 %	$\frac{\text{Proveedores de materiales con permisos vigentes en el mes}}{\text{Proveedores que suministraron materiales en el mes}} * 100\%$	Mensual
Verificación de condiciones óptimas de los puntos de acopio	Verificar que los sitios seleccionados para acopio de material y RCD cuenten con las medidas ambientales establecidas	100 %	$\frac{\text{N° de acopios de RCD en óptimas condiciones en el mes}}{\text{N° de acopios activos en el mes}} * 100\%$	Mensual
Manejo ambiental en los sitios de almacenamiento de materiales	Sitios de almacenamiento de materiales de construcción con medidas ambientales adecuadas.	100 %	$\frac{\text{N° de sitios de almacenamiento de materiales con medidas de manejo ambiental implementadas}}{\text{N° de sitios de almacenamiento de materiales totales}} * 100\%$	Mensual

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	ene-27	feb-27	mar-27	abr-27	may-27	jun-27	jul-27	ago-27
Volumen de material utilizado en obra	X	X	X	X	X	X	X	X
Proveedores de materiales vigentes	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificación de condiciones	X	X	X	X	X	X	X	X
óptimas de los puntos de acopio	X	X	X	X	X	X	X	X

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS								Código: CB3
Tipo de medida	**Corrección**		**Prevención**	**X**	**Mitigación**	**X**	**Compensación**	

OBJETIVO:

Implementar las medidas ambientales propuestas en la presente ficha para el manejo adecuado, clasificación, acopio y disposición final de los residuos sólidos, aprovechables y no aprovechables, residuos peligrosos y los RCD generados durante el desarrollo de la obra, de tal forma que no ocasionen afectación a los recursos naturales.

ACCIONES A DESARROLLAR

Medidas de manejo de residuos sólidos

Con el fin de promover una adecuada gestión integral de los residuos sólidos generados durante la ejecución del proyecto, se implementarán acciones orientadas a la prevención, reducción, separación en la fuente, aprovechamiento y disposición final adecuada de los residuos, en cumplimiento de la normatividad ambiental vigente.

Previo al inicio de actividades, todo el personal vinculado al proyecto recibirá una inducción ambiental en la que se abordarán los lineamientos para el manejo adecuado de residuos sólidos. Esta capacitación incluirá estrategias para la minimización de residuos, el uso eficiente de los recursos, el ahorro de papel y la adopción de buenas prácticas ambientales, tales como el uso de botellas reutilizables para agua, pocillos personales para bebidas calientes y la reducción de elementos desechables de un solo uso. Estos lineamientos serán reforzados periódicamente mediante capacitaciones, campañas de sensibilización y actividades de educación ambiental.

Tanto en la oficina, carpas móviles y frentes de obra se dispondrán puntos ecológicos debidamente señalizados para facilitar la separación en la fuente y la correcta clasificación de los residuos generados. Los puntos ecológicos estarán conformados por recipientes identificados de acuerdo con el código de colores establecido en la normatividad vigente:

- **Caneca blanca:** destinada a residuos aprovechables como plástico, vidrio, metales, papel y cartón limpios y secos.
- **Caneca negra:** destinada a residuos no aprovechables, tales como papel higiénico, servilletas usadas, residuos contaminados, empaques sucios y demás residuos ordinarios no reciclables.
- **Caneca verde:** destinada a residuos orgánicos aprovechables, tales como cáscaras de frutas, verduras, restos de alimentos crudos y otros residuos biodegradables.

El personal encargado del proyecto será responsable de la recolección, inspección y traslado de los residuos desde los puntos ecológicos hacia las áreas de almacenamiento temporal.

Los residuos no aprovechables y orgánicos serán almacenados temporalmente en recipientes adecuados y entregados al prestador del servicio público de aseo, de acuerdo con los horarios y frecuencias establecidas para su recolección.

Los residuos aprovechables serán trasladados a un área de acopio temporal de mayor capacidad, la cual deberá contar con condiciones adecuadas de orden, limpieza, señalización, delimitación, ventilación y protección contra la lluvia, el viento y el ingreso de animales. Esta zona será ubicada estratégicamente para no interferir con la circulación de personal, equipos o el desarrollo de las actividades constructivas.

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS	Código: CB3

Los residuos metálicos y demás materiales susceptibles de aprovechamiento, tales como sobrantes de acero, puntillas, alambres, mallas metálicas, señalización metálica, elementos de soldadura y chatarra en general, serán almacenados de manera independiente en el área de acopio definida para tal fin y posteriormente entregados a gestores autorizados o destinados a procesos de aprovechamiento, dejando el respectivo registro documental de control y trazabilidad.

Se realizarán inspecciones periódicas a los puntos ecológicos y áreas de almacenamiento temporal con el fin de verificar la correcta separación de residuos, el estado de los recipientes, las condiciones de limpieza y el cumplimiento de las medidas establecidas en el presente programa.

Manejo de residuos peligrosos

Los residuos peligrosos (RESPEL) generados durante la ejecución del proyecto serán gestionados de acuerdo con la normatividad ambiental vigente, con el fin de prevenir riesgos para la salud humana y evitar afectaciones al suelo, al recurso hídrico y a los demás componentes ambientales.

Los residuos peligrosos deberán ser segregados desde su generación y depositados en recipientes adecuados, resistentes, debidamente identificados y rotulados de acuerdo con sus características de peligrosidad. Estos recipientes permanecerán cerrados y en buenas condiciones, evitando fugas, derrames o contaminación cruzada con otros tipos de residuos.

Los residuos tales como envases contaminados, trapos impregnados con aceites o combustibles, filtros, absorbentes utilizados en la atención de derrames, aerosoles, luminarias, baterías, residuos electrónicos y demás residuos clasificados como peligrosos, serán almacenados temporalmente en recipientes identificados con la leyenda “Residuos Peligrosos – RESPEL (Tipo de residuo**)”** y trasladados al área de acopio temporal destinada para tal fin.

El área de almacenamiento temporal de RESPEL contará como mínimo con señalización visible, acceso restringido, cubierta para protección contra la lluvia, piso impermeable, sistema de contención para posibles derrames, ventilación adecuada y elementos para la atención de emergencias ambientales.

Los residuos peligrosos almacenados temporalmente como aceites serán entregados periódicamente a gestores autorizados para su transporte, aprovechamiento, tratamiento o disposición final, conservando los certificados y soportes que evidencien la trazabilidad de la gestión realizada.

Los sitios de acopio temporal de RESPEL no podrán ubicarse sobre zonas blandas, zonas verdes, áreas de protección ambiental, rondas hídricas ni superficies que puedan favorecer la infiltración de sustancias contaminantes, con el fin de prevenir impactos al suelo, aguas superficiales y aguas subterráneas.

Adicionalmente, en las áreas donde se manipulen o almacenen sustancias peligrosas se dispondrá de kits para el control y atención de derrames, los cuales deberán mantenerse operativos y disponibles para su uso inmediato en caso de emergencia

Acopios materiales y RCD

Los sitios destinados al acopio RCD serán ubicados en áreas previamente definidas y autorizadas, garantizando condiciones adecuadas de seguridad, orden, limpieza y manejo ambiental de igual forma

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS	Código: CB3

deberán permanecer debidamente delimitadas, señalizadas y protegidas mediante cerramientos, que impidan el acceso no autorizado y minimicen la dispersión de materiales hacia las áreas circundantes y los materiales y RCD deberán mantenerse cubiertos para evitar la generación de material particulado y el arrastre de sedimentos por acción del viento o la lluvia.

Los RCD susceptibles de aprovechamiento se deberán separar desde su generación y almacenados de forma independiente para facilitar su reutilización, reciclaje o entrega a gestores autorizados. Los residuos que no puedan ser aprovechados serán transportados y dispuestos en sitios autorizados, conservando los respectivos soportes de transporte y disposición final.

No se permitirá el almacenamiento de materiales ni de RCD sobre zonas verdes, andenes, vías públicas o áreas que afecten la movilidad peatonal y vehicular. Asimismo, los acopios deberán ubicarse a una distancia prudente de sumideros y estructuras de drenaje para prevenir afectaciones a la calidad del agua y al sistema de alcantarillado.

Se realizarán inspecciones periódicas a las áreas de acopio para verificar las condiciones de orden, limpieza, señalización, estabilidad de los materiales almacenados y cumplimiento de las medidas ambientales implementadas.

Una vez finalizadas las actividades, las áreas utilizadas para el almacenamiento temporal de materiales y RCD deberán quedar completamente limpias y en condiciones iguales o mejores a las encontradas inicialmente.

RECURSOS	PERSONAL RESPONSABLE
• Puntos ecológicos • Puntos de acopio para RESPEL y sustancias peligrosas. • Puntos de acopio de residuos reciclables. • Señalización • Cinta de seguridad • Lonas para el cubrimiento de acopios de RCD • Equipo para el lavado de llantas.	• Residente de Obra • Especialista/ Residente Ambiental • BOAL- Brigada de Orden y Aseo
COSTOS ASOCIADOS	**REGISTROS DE CUMPLIMIENTO**
	• Registros fotográficos • Seguimiento al aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición de las obras de infraestructura. • Control de materiales. • Control de residuos de construcción y demolición – RCD.

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS	**Código: CB3**
	• Planilla control disposición de residuos de construcción y demolición. • Certificados de RCDs otorgados por los gestores • Formatos Reciclaje • Certificados entrega de Reciclaje • Certificados entrega de Residuos peligrosos

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Nombre	Descripción	Meta	Formula	Periodicidad
Puntos ecológicos	Identificar la cantidad de puntos ecológicos instalados conforme a las necesidades del proyecto.	100%	$\frac{\text{N° de puntos ecologicos activos en el mes}}{\text{N° de puntos ecologicos requeridos en el mes}} * 100\%$	Mensual
Manejo de RCDs	Verificar el volumen de RCDs generados Vs cantidad reportada en las certificaciones	100%	$\frac{\text{Volumen de RCDs certificados en el mes}}{\text{Volumen de RCDs generados en el mes}} * 100\%$	Mensual
Manejo de RESPEL	Verificar el volumen de RESPEL generado en el trimestre Vs volumen de RESPEL certificado	100%	$\frac{\text{Volumen de RESPEL certificado en el trimestre}}{\text{Volumen de RESPEL generados en el trimestre}} * 100\%$	Trimestral
Manejo de residuos reciclables	Verificar el volumen de reciclaje generados en el trimestre Vs volumen de reciclaje reportado en las certificaciones	100%	$\frac{\text{Volumen de residuos reciclables certificados}}{\text{Volumen de residuos reciclables generados}} * 100\%$	Trimestral
Quejas y reclamos de	Presentar 0 quejas por manejo	>90%	Quejas y reclamos de la comunidad Por manejo inadecuado de residuos sólidos $= 0$	Mensual

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS				**Código: CB3**
la comunidad	inadecuado de residuos solidos			

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN								
Actividad	**ene-27**	**feb-27**	**mar-27**	**abr-27**	**may-27**	**jun-27**	**jul-27**	**ago-27**
Puntos ecológicos	X	X	X	X	X	X	X	X
Manejo de RCDs	X	X	X	X	X	X	X	X
Manejo de RESPEL			X			X		
Manejo de residuos reciclables			X			X		
Quejas y reclamos de la comunidad	X	X	X	X	X	X	X	X

COMPONENTE B4 – CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS								**Código: CB4**
Tipo de medida	**Corrección**		**Prevención**		**Mitigación**		**Compensación**	

OBJETIVO:

Identificar las principales fuentes de emisión de contaminación atmosférica causadas por el desarrollo de las obras del Contrato, de tal modo se implementen las medidas ambientales propuestas para evitar dispersión del material particulado y emisión de gases contaminantes que causen efectos adversos a la calidad de aire de Bogotá y efectos perjudiciales a la salud de los trabajadores y de la comunidad aledaña al proyecto. Adicionalmente se pretende realizar seguimiento a la generación de ruido el cual se encuentre dentro de los niveles máximos permitidos por la normativa ambiental emitida por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial.

ACCIONES A DESARROLLAR

El proyecto no requerirá la instalación de planta de asfalto u otro tipo de planta que requiera el trámite del permiso de emisiones atmosféricas. En este sentido, los insumos de material para la obra que requieran este trámite serán obtenidos a través de proveedores que cumplan con la normatividad ambiental vigente.

A continuación, se presentan las medidas a implementar para el control del material particulado y ruido ambiental que pueda generarse durante el desarrollo de las obras.

Cerramiento frente de obra y dispersión de material particulado

Como medida para controlar el material particulado que se disperse de las actividades constructivas, se contempla el uso de polisombra en los frentes de obra. Esta medida ayuda a que este material particulado no se disperse y evite afectación a la comunidad aledaña y personal de obra

Vías de acceso limpias

COMPONENTE B4 – CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	**Código: CB4**

Considerando el tránsito de volquetas y vehículos para la provisión de materiales constructivos y la recolección de RCDs, se dispondrá de un sistema que realice el lavado a las llantas de las volquetas para que no dispersen el material generado por excavaciones y material granular utilizado para las obras, que al transitar puede quedar depositado en las diferentes vías y ocasionar dispersión generando molestias y afectación a la comunidad del área de influencia, peatones y demás personal que transite por el área. El procedimiento para mantener las vías limpias se realizará a través de un barrido especial con cepillos de alta densidad para el retiro del material de gran tamaño, posterior a ello mediante limpieza manual de llantas realizada por el BOAL el cual retirará el material particulado de menor tamaño.

RECURSOS	**PERSONAL RESPONSABLE**
• Poli sombra y parales • Plástico y/o geotextil • Compresor mecánico. • Equipo para el lavado de llantas.	• Ingeniero Residente de Obra • Profesional Forestal • Residente SST • Residente Ambiental • Biólogo • BOAL- Brigada de Orden y Aseo
COSTOS ASOCIADOS	**REGISTROS ASOCIADOS**
	• Registro fotográfico • Formato Control uso del agua en obra

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Nombre	Descripción	Meta	Formula	Periodicidad
Quejas y reclamos por parte de la comunidad	Mantener a 0 quejas y reclamos de la comunidad producto de emisiones de material particulado	>90 %	Quejas y reclamos de la comunidad por afectaciones por materiale particulado $= 0$	Mensual
Quejas y reclamos por parte de la comunidad	Mantener a 0 quejas y reclamos de la comunidad producto del ruido ambiental	>90 %	Quejas y reclamos de la comunidad Producto de ruido ambiental = 0	Mensual
Seguimiento de la humectación	Realizar las humectaciones requeridas a materiales y RCD en obra	>90 %	$\frac{\text{N° de humectaciones realizadas en el mes}}{\text{N° de humectaciones requeridas en el mes}} *100$	Mensual
Verificación volquetas carpadas	Verificar que las volquetas que transportan materiales RCD	100 %	$\frac{\text{N° vehiculos carpados}}{\text{N° de vehiculos utilizados}} *100\%$	Mensual

COMPONENTE B4 – CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS				Código: CB4
	estén debidamente carpadas			
Seguimiento de la humectación	Realizar las humectaciones requeridas a materiales y RCD en obra	>90 %	$\frac{\text{N° de humectaciones realizadas en el mes}}{\text{N° de humectaciones requeridas en el mes}}*100$	Mensual
Verificación volquetas carpadas	Verificar que las volquetas que transportan materiales RCD estén debidamente carpadas	100 %	$\frac{\text{N° vehiculos carpados}}{\text{N° de vehiculos utilizados}}*100\%$	Mensual

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	ene-27	feb-27	mar-27	abr-27	may-27	jun-27	jul-27	ago-27
Quejas y reclamos por parte de la comunidad	X	X	X	X	X	X	X	X
Quejas y reclamos por parte de la comunidad	X	X	X	X	X	X	X	X
Seguimiento de la humectación	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificación volquetas carpadas	X	X	X	X	X	X	X	X

COMPONENTE B5 – MANEJO INTEGRAL DE CUERPOS DE AGUA Y SUMIDEROS								Código: CB5
Tipo de medida	**Corrección**		**Prevención**		**Mitigación**		**Compensación**	

OBJETIVO:

Proteger las obras hidráulicas existentes como sumideros, redes de alcantarillado en el área de intervención

ACCIONES A DESARROLLAR

A continuación, se presentan las medidas de manejo ambiental, tendientes a la protección los cuerpos de agua y obras hidráulicas presentes o cercanas al área del proyecto:

Protección de sumideros y alcantarillas

Durante la presente fase se realizó la identificación de los sumideros y alcantarillas existentes en el área de intervención, con el fin de establecer su ubicación espacial y condiciones generales. En la cartografía del punto de intervención, el símbolo identifica la ubicación de los sumideros, contando un total de dos sumideros identificados.

COMPONENTE B5 – MANEJO INTEGRAL DE CUERPOS DE AGUA Y SUMIDEROS	Código: CB5

No obstante, previo al inicio de las labores constructivas, se deberá realizar nuevamente el inventario de sumideros y alcantarillas, verificando y actualizando su ubicación, cantidad y condiciones físicas, con el propósito de establecer el estado previo al inicio de la obra y contar con información actualizada para el seguimiento durante la ejecución del proyecto

Cabe precisar, que los materiales utilizados para construcción como arenas, cemento, etc. y los acopios de RCDs, estarán cubiertos y protegidos de agentes climáticos como lluvias y fuertes vientos, evitando la dispersión del material particulado y sumideros del área de intervención, sin embargo, como mayor medida de construcción, estos serán protegidos con malla sintética y las cajas de inspección se protegerán mediante tablones para evitar ingreso y colmatación de cualquier tipo de residuo o material constructivo o de RCD.

Igualmente, las áreas de acopio temporal de material granular serán acordonadas con sacos de fibra rellenos con el fin de dar manejo adecuado de las aguas de escorrentía durante los eventos de lluvia e impida o reduzca el arrastre de sedimentos a los sumideros u otras obras de manejo de aguas.

Igualmente se dispondrán de barreras en los sumideros cercanos a los sitios de almacenamiento y acopios temporales de materiales con el fin de retener los sedimentos que puedan ser arrastrados por la lluvia.

Una vez finalicen las actividades constructivas en el área, se retirará la malla y/o tablón y se tomará registro fotográfico del estado final.

Los sumideros serán limpiados mensualmente en época seca y semanalmente en época de lluvias. Es decir, los meses más lluviosos que corresponden a: abril, mayo, junio, agosto, septiembre, octubre y noviembre se realizarán limpiezas semanales y durante los meses secos diciembre, enero, febrero, marzo y julio se realizará limpieza mensual.

RECURSOS	PERSONAL RESPONSABLE
• Poli sombra • Plástico y/o geotextil	• Director de Obra • Residente Ambiental
COSTOS ASOCIADOS	**REGISTROS ASOCIADOS**
	• Formato de Inventario Inicial y Final de Sumideros y Obras Hidráulicas (con registro fotográfico). • Lista de Chequeo de Verificación y Protección de Sumideros. • Planilla de Registro de Limpieza y Mantenimiento Periódico de Sumideros. • Formato de Reporte y Atención de Derrames Accidentales

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Nombre	Descripción	Meta	Formula	Periodicidad
Limpieza de sumideros	Realizar seguimiento a los sumideros que requieren ser limpiados en el mes	100%	$\frac{\text{N° de sumideros limpios en el mes}}{\text{N° de sumideros que requieren limpieza en el mes}} * 100\%$	Mensual

COMPONENTE B5 – MANEJO INTEGRAL DE CUERPOS DE AGUA Y SUMIDEROS				Código: CB5
Protección de sumideros	Realizar verificación y protección a sumideros intervenidos en el mes	100%	$\frac{\text{N° de sumideros protegidos en el mes}}{\text{N° de simideros que requieren proteccion en el mes}} * 100\%$	Mensual
Derrames accidentales	Atención a los derrames presentados en el mes	100%	$\frac{\text{N° de derrames atendidos en le mes}}{\text{N° de derrames presentados en el mes}} * 100\%$	Mensual

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	ene-27	feb-27	mar-27	abr-27	may-27	jun-27	jul-27	ago-27
Limpieza de sumideros	X	X	X	X	X	X	X	X
Protección de sumideros	X	X	X	X	X	X	X	X
Derrames accidentales	X	X	X	X	X	X	X	X

COMPONENTE C1 – MANEJO DE LA VEGETACIÓN								
Tipo de medida	**Corrección**		**Prevención**	**X**	**Mitigación**	**X**	**Compensación**	X

OBJETIVO:

Establecer e implementar las medidas de manejo ambiental necesarias para la vegetación objeto de remoción y para las zonas verdes y especies arbóreas que permanecerán dentro o en cercanía al área de influencia del proyecto, con el fin de prevenir, mitigar y compensar los impactos generados sobre los componentes de flora y paisaje. Lo anterior mediante la protección de la cobertura vegetal existente, la ejecución de buenas prácticas de manejo durante las actividades constructivas y la compensación del aprovechamiento forestal a través de procesos de arborización y restauración bajo criterios ecológicos.

ACCIONES A DESARROLLAR

Actividades previas al inicio de las actividades constructivas:

- Realizar la identificación, localización y señalización de los individuos arbóreos, arbustivos y demás coberturas vegetales presentes dentro del área de intervención y en las zonas aledañas que requieran protección.
- Delimitar y demarcar las áreas autorizadas para intervención, así como las zonas de protección de la vegetación que permanecerá en el proyecto.
- Verificar el estado fitosanitario de los individuos vegetales objeto de conservación y de aquellos autorizados para aprovechamiento forestal.

COMPONENTE C1 – MANEJO DE LA VEGETACIÓN	Código: CC1

- Gestionar y obtener los permisos, autorizaciones o actos administrativos requeridos por la autoridad ambiental competente para el aprovechamiento forestal, traslado, poda o cualquier otra intervención sobre la vegetación.
- Socializar con el personal de obra las medidas de manejo ambiental, los procedimientos de protección de la vegetación existente.
- Realizar el inventario y registro fotográfico de la vegetación existente antes del inicio de las actividades constructivas, como soporte para el seguimiento y control ambiental del proyecto.
- Verificar que las actividades de intervención vegetal se desarrollen conforme a las especificaciones técnicas, ambientales y normativas aplicables.

Actividades durante la ejecución de las obras

- Ejecutar las actividades de tala, poda, traslado o manejo silvicultural únicamente sobre los individuos autorizados.
- Mantener en buen estado las medidas de protección instaladas para la vegetación a conservar.
- Evitar el almacenamiento de materiales, disposición de residuos, vertimiento de sustancias o tránsito de maquinaria sobre las zonas verdes protegidas.
- Realizar el manejo adecuado del material vegetal generado, priorizando su aprovechamiento cuando sea técnicamente viable.
- Efectuar inspecciones periódicas para verificar el estado de la vegetación protegida y la efectividad de las medidas implementadas.

Actividades posteriores a la construcción

- Retirar los elementos temporales de protección una vez finalicen las actividades que representen riesgo para la vegetación.
- Ejecutar las medidas de compensación forestal y arborización establecidas para el proyecto.
- Realizar mantenimiento y seguimiento a los individuos plantados durante el periodo definido por la autoridad ambiental o por el proyecto.
- Evaluar la efectividad de las medidas implementadas y documentar los resultados obtenidos.
- Consolidar los registros y soportes de cumplimiento para la elaboración de los informes ambientales correspondientes.

RECURSOS	PERSONAL RESPONSABLE

COMPONENTE C1 – MANEJO DE LA VEGETACIÓN	**Código: CC1**
• Elementos para actividades de tala. • Pintura de color rojo. • Malla azul de cerramiento, parales en madera. • Elementos de señalización SST.	• Profesional Forestal • Residente Ambiental
COSTOS ASOCIADOS	**REGISTROS ASOCIADOS**
	• Formato de actividades de tala. • Formato de inspección de actividades de manejo de vegetación. • Formato de actividades de arborización y mantenimiento.

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Nombre	**Descripción**	**Meta**	**Formula**	**Periodicidad**
Tala de arboles	Realizar el control de los árboles talados, que cuenten con el permiso respectivo	Realizar la tala de solo árboles autorizados.	(N° de árboles talados con autorización previa / N° total de árboles talados en obra) × 100	Cuando se requiera
Bloqueo y Traslado de árboles	Realizar de manera adecuada el bloqueo y traslado.	Realizar el 100% de los bloqueos requeridos por el proyecto	(N° de árboles bloqueados y trasladados según protocolo / N° total de árboles autorizados para traslado) × 100	Cuando se requiera
Conservación de árboles a permanecer.	Verificar y garantizar la protección física, aislamiento y buen estado de conservación de los árboles a mantener.100% de árboles a conservar protegidos y sin afectaciones por la obra	Verificar y garantizar la protección física, aislamiento y buen estado de conservación de los árboles a mantener.100% de árboles a conservar protegidos y sin afectaciones por la obra	(N° de árboles a conservar protegidos e intactos / N° total de árboles a conservar en el área de obra) × 100	Cuando se requiera

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Solo se realizarán las actividades cuando se requiera en el contrato de obra

COMPONENTE B6 – MANEJO DE VEHÍCULOS, MAQUINARIA Y EQUIPOS								**Código: CB6**
Tipo de medida	**Corrección**		**Prevención**	**X**	**Mitigación**	**X**	**Compensación**	X

OBJETIVO:

Prevenir, controlar y mitigar los impactos ambientales negativos derivados de la operación, tránsito y mantenimiento de vehículos y maquinaria (emisiones atmosféricas, generación de ruido, riesgo de fugas/derrames de hidrocarburos y afectación a la movilidad).

ACCIONES A DESARROLLAR

Inspección y Control Técnico-Mecánico:

• Todo vehículo o maquinaria que ingrese a la obra debe contar con la certificación vigente de Revisión Técnico-Mecánica y de Gases expedida por un Centro de Diagnóstico Automotriz autorizado.

• Realizar inspecciones preoperacionales diarias mediante lista de chequeo antes del inicio de actividades para verificar frenos, luces, fugas de fluidos, orugas/llantas y sistemas hidráulicos.

Mantenimiento y Abastecimiento:

• Queda estrictamente prohibido realizar labores de mantenimiento preventivo/correctivo o lavado de maquinaria dentro del frente de obra. Estas actividades se realizarán exclusivamente en talleres y lavaderos externos autorizados.

• En caso de reparaciones de emergencia en sitio, se usará obligatoriamente una bandeja recolectora impermeabilizada y un kit antiderrames siguiendo el siguiente protocolo.

COMPONENTE B6 – MANEJO DE VEHÍCULOS, MAQUINARIA Y EQUIPOS	Código: CB6



Fuente: Consorcio Preservar,2026.

Operación y Tránsito:

• La velocidad máxima de circulación dentro de la vía de acceso será de 20 km/h.

• Apagado obligatorio de motores cuando los vehículos o maquinaria permanezcan estacionados o en tiempos de espera superiores a 5 minutos.

• Transitar con volquetas y transportadores de material con la carga cubierta en su totalidad por carpa o lona impermeable y ajustada, manteniendo un borde libre mínimo de 30 cm.

RECURSOS	PERSONAL RESPONSABLE
• Señalizaciones • Kit antiderrame • Poli sombra y parales	• Director de Obra • Residente Ambiental • Inspector SST • Operadores y Conductores
COSTOS ASOCIADOS	**REGISTROS ASOCIADOS**
	• Preoperacional diario de maquinaria y vehículos. • Certificados de Revisión Técnico-Mecánica y Gases.

COMPONENTE B6 – MANEJO DE VEHÍCULOS, MAQUINARIA Y EQUIPOS	**Código: CB6**
	• Planilla de control de ingreso de maquinaria. • Inspección ambiental de frentes de trabajo.

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Nombre	Descripción	Meta	Formula	Periodicidad
Inspección Preoperacional de Maquinaria	Realizar el control de los árboles talados, que cuenten con el permiso respectivo	100%	(N° de preoperacionales realizados en el mes / N° de preoperacionales programados) × 100	Mensual
Cumplimiento Certificaciones de Gases	Realizar de manera adecuada el bloqueo y traslado.	100%	(N° de vehículos con certificado vigente / N° total de vehículos operando en obra) × 100	Mensual
Atención de Derrames Accidentales	Control y atención inmediata de derrames causados por falla o fuga de fluidos de maquinaria.	100%	(N° de derrames atendidos conforme a protocolo / N° total de derrames presentados) × 100	Mensual

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	ene-27	feb-27	mar-27	abr-27	may-27	jun-27	jul-27	ago-27
Inspección Preoperacional de Maquinaria	X	X	X	X	X	X	X	X
Cumplimiento Certificaciones de Gases	X	X	X	X	X	X	X	X
Atención de Derrames Accidentales	X	X	X	X	X	X	X	X

COMPONENTE B7 – MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS EN OBRA									**Código: CB7**
Tipo de medida	**Corrección**		**Prevención**	**X**	**Mitigación**	**X**	**Compensación**	X	

OBJETIVO:

Prevenir la contaminación del suelo, cuerpos de agua y redes de alcantarillado público mediante la adecuada recolección, tratamiento preliminar, manejo y disposición final de las aguas residuales domésticas, no domésticas y residuos líquidos peligrosos (oleosos) generados en la obra.

COMPONENTE B7 – MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS EN OBRA	**Código: CB7**

ACCIONES A DESARROLLAR

Manejo de Aguas Residuales Domésticas:

- Instalación de baterías sanitarias portátiles en cantidad suficiente (mínimo 1 unidad por cada 15 trabajadores), ubicadas en sitios accesibles, sobre colectores impermeables y alejadas de cuerpos de agua o sumideros.
- Contratación del servicio de limpieza, succión y disposición final de lodos sanitarios con una empresa ambientalmente autorizada, la cual entregará el certificado respectivo.
- Se prohíbe la disposición de aguas residuales domésticas en el suelo, en redes de drenaje de aguas lluvias, sumideros, cunetas, cuerpos de agua superficiales, zonas verdes o cualquier otro punto no autorizado.
- Las baterías sanitarias deberán recibir mantenimiento y limpieza periódica, garantizando condiciones higiénicas adecuadas y evitando reboses, malos olores o fugas.
- Se realizará inspección frecuente del estado de funcionamiento de los sanitarios portátiles, verificando su estabilidad, limpieza, nivel de llenado y ausencia de derrames.
- Se implementará señalización visible en el área de ubicación de los sanitarios, indicando su uso exclusivo para el personal autorizado y las prohibiciones ambientales aplicables.
- El personal de obra recibirá capacitación sobre el uso adecuado de los sanitarios portátiles, el manejo higiénico de residuos y la prohibición de vertimientos no autorizados.
- En caso de presentarse fugas, reboses o derrames, se activará de inmediato el procedimiento de atención de incidentes ambientales, incluyendo contención, limpieza y reporte al responsable ambiental de obra.
- Se llevará registro de las actividades de mantenimiento, succión, transporte y disposición final de los residuos generados, como soporte del seguimiento ambiental del proyecto.
- Cuando la obra cuente con conexión temporal o definitiva a red sanitaria autorizada, se verificará que las descargas se realicen únicamente al sistema aprobado y conforme a la normativa vigente.

Manejo de Residuos Líquidos Peligrosos (RESPEL):

- Disposición de aceites usados, agua con hidrocarburos o lubricantes en tambores o canecas herméticas, rotuladas e instaladas dentro del acopio temporal de RESPEL con dique de contención.

- Entrega de residuos líquidos peligrosos exclusivamente a un gestor ambiental con licencia para transporte y tratamiento/disposición final, exigiendo el manifiesto de carga y certificado final.

- Se prohíbe la disposición de cualquier tipo de líquido en redes de drenaje de aguas lluvias, sumideros, cunetas, cuerpos de agua superficiales, zonas verdes o cualquier otro punto no autorizado.

RECURSOS	**PERSONAL RESPONSABLE**
• Señalizaciones • Kit antiderrame • Poli sombra y cinta amarilla de cerramiento.	• Director de Obra • Residente Ambiental • Residente SST

COMPONENTE B7 – MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS EN OBRA	**Código: CB7**

COSTOS ASOCIADOS	**REGISTROS ASOCIADOS**
	• Certificados manejo aguas baños portátiles. • Manifiestos de transporte y certificados de disposición final de RESPEL líquidos. • Registro de inspección técnica de trampas de grasa y desarenadores. • Registro de atención de contingencias por derrames líquidos.

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Nombre	**Descripción**	**Meta**	**Formula**	**Periodicidad**
Mantenimiento de Baños Portátiles	Verificar la frecuencia y ejecución de limpiezas/succiones programadas para baños portátiles.	100%	(N° de mantenimientos ejecutados a baños / N° de mantenimientos programados) × 100	Mensual
Certificación de Residuos Líquidos Peligroso	Garantizar que el 100% de los residuos líquidos oleosos o peligrosos retirados cuenten con certificado de disposición final.	100%	(N° de certificados de disposición recibidos / N° de entregas realizadas a gestor) × 100	Mensual

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	**ene-27**	**feb-27**	**mar-27**	**abr-27**	**may-27**	**jun-27**	**jul-27**	**ago-27**
Mantenimiento de Baños Portátiles	X	X	X	X	X	X	X	X
Certificación de Residuos Líquidos Peligroso	X	X	X	X	X	X	X	X

7.10 CONCLUSIONES

- En términos generales, la evaluación ambiental del escenario con proyecto evidencia una predominancia de impactos irrelevantes, con 30 de los 35 impactos identificados en esta categoría, incluyendo 2 impactos de carácter positivo. Los 7 impactos restantes corresponden a impactos moderados. Por lo anterior se refleja que los impactos asociados a la ejecución de las obras presentan, en su mayoría, un impacto ambiental irrelevante dentro del área de intervención.

- Las principales afectaciones ambientales identificadas durante la ejecución de las obras están relacionadas con la generación de material particulado, ruido y emisiones atmosféricas por el uso de maquinaria. Estas afectaciones se presentan en un área urbana altamente intervenida y corresponden principalmente a efectos asociados a las actividades constructivas.

- Frente al escenario sin proyecto, se mantiene la condición actual de inestabilidad del terreno y el movimiento en masa que afecta la via ubicada en la parte inferior del sector. En este sentido, la ejecución de las obras, además de generar impactos puntuales durante la etapa constructiva, contempla un efecto favorable asociado a la mejora de la estabilidad del terreno y la disminución de las condiciones de riesgo sobre las via y la comunidad del área de intervención.

- La zona de intervención del proyecto se encuentra localizada en suelo urbano, de acuerdo con la clasificación establecida en el Decreto Distrital 555 de 2021. Esto corresponde con las condiciones actuales del sector, caracterizado por un entorno urbano intervenido y con presencia de viviendas en el área de influencia de la obra.

- De acuerdo con las cantidades estimadas, los principales materiales requeridos corresponden al acero de refuerzo y concreto, mientras que los movimientos de tierra contemplan principalmente excavación en material común, excavación en roca y demolición controlada del muro existente. Estas actividades representan los principales componentes constructivos considerados dentro de la intervención.

- La revisión del área de intervención permite establecer que no se presenta traslape con áreas de interés ambiental ni con áreas destinadas a la protección ambiental. En este sentido, la intervención se desarrolla en un sector clasificado como suelo urbano y no se superpone con áreas que cuenten con figuras de protección ambiental identificadas para el área de estudio.

8 ANEXOS

A_CARTOGRAFIA

- A.1.01_Contrato
- A.1.02_Informe
- A.1.03_Rinex
- A.1.04_Calculos
- A.1.05_Equipos_ET
- A.1.06_Cert_Equipos
- A.1.07_Crudos_Lev
- A.1.08_Calculos_Lev
- A.1.09_Nivelación
- A.1.10_Verti_IGAC
- A.1.11_Profesional
- A.1.12_Reg_Foto
- A.1.13_Planos
- A.1.14_Otros
- A.1.15_Metadatos
- A.1.16_Aprobación_Otros

B_GEOLOGIA

- B.1 Fotogeologia

C_AMBIENTAL_FORESTAL

- 2. FUN
- 2.1 Ficha 1
- 2.2 Ficha 2
- 2.3. Registro Fotográfico
- 2.4 Carteras
- 3. Cartografía
- 4. Memoria técnica
- 5. Fauna
- 7. Compensación
- 9. Fotocopia TP

E_GEOTECNIA

- E.1 Plan Exploración
- E.2 Registros de la exploración
- E.3 Resultados de Laboratorio
- E.4 Geofísica
- E.6 Modelos
- E.7 Amenaza
- E.8 Diseño geotécnico

K_GESTION PREDIAL

- 1. Documento técnico
- Anexo 1- Resumen predial
- Anexo 2- Plano predial
- Anexo 3 – GDB
- Anexo 4 - Información catastral
- Anexo 5 - Anexos jurídicos -vur
- Anexo 6 - Planos urbanísticos
- Anexo 7 - Análisis de costos
- Anexo 8 - Fichas prediales
- Ortofoto

L_PRESUPUESTO_PES

- L.1_Presupuesto
- L.2_Especificaciones Técnicas
- L.3_Cronograma
- L.4_Proceso Constructivo

9 PLANOS

A-1. Plano Topog Sierra Morena
A-2. Perfiles Topog Sierra Morena
B-1. Mapa Geológico Sierra Morena
B-2. Perfiles Geológicos Sierra Morena
B-3. Mapa Geomorfológico Sierra Morena
C-1. Cobertura Sierra Morena
C-2. Uso del Suelo Sierra Morena
D-1. Mapa de Clima_Sierra Morena
E-1. Loc Explor Geot Sierra Morena
E-2. Mapa Zonif Geotec Detalle Sierra Morena
F-1. Mapa Zonif.Amenaza Actual Sierra Morena
F-2. Mapa Zonif.AmenazaFuturoSierra Morena
J-1. Implantacion obras (zonas_anclajes) Sierra Morena - Planta Final
J-2. Diseños Hidraulicos_SMV
J-4. Loc Instrumentación Geotécnica Sierra Morena
K-1. Mapa Zonif.Amenaza con Obra Sierra Morena
L-1. Forestal Tratamientos Sierra Morena
J-1. SMV-E-01
J-1. SMV-E-02
J-1. SMV-E-03