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

ARBORIZADORA ALTA

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:	398

ÍNDICE DE ENVÍOS Y MODIFICACIONES

REVISIÓN No.	FECHA	SECCIÓN MODIFICADA	OBSERVACIONES
RV0	07/10/2026	N/A	Entrega Final

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 24

1.1 OBJETIVO 25

1.2 ALCANCE Y LIMITACIONES 26

1.3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO 27

1.4 LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA DE LOS POLÍGONOS (SEGÚN PRIORIZACIÓN) 28

1.4.1 POLÍGONO 1 – PORVENIR DE LA ESTANCIA II 28

1.4.2 POLÍGONO 5 – ARBORIZADORA ALTA – CANDELARIA LA NUEVA 29

1.4.3 POLÍGONO 4 – SIERRA MORENA III – CORTE VIAL 30

1.5 NORMATIVIDAD APLICABLE 31

1.6 METODOLOGÍA GENERAL 33

2 INSUMOS BÁSICOS 34

2.1 CARTOGRAFÍA BASE Y TOPOGRAFÍA 34

2.1.1 INFORMACIÓN TÉCNICA Y METODOLOGÍA 34

2.1.2 LEVANTAMIENTO DE DATOS Y CARTOGRAFÍA 56

2.1.3 DATOS OBTENIDOS POR CADA PRODUCTO Y SUBPRODUCTO 57

2.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 57

2.2.1 METODOLOGÍA 57

2.2.2 ANTECEDENTES 61

2.2.3 GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL 63

2.2.4 CONDICIONES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DE DETALLE DEL SITIO DE ESTUDIO 73

2.3 COMPONENTE DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO. 96

2.4 EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL 97

2.4.1 METODOLOGÍA 97

2.4.2 DEFINICIÓN AREAS DE APORTE O SUBCUENCAS 97
2.4.3 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS REGISTROS HIDROCLIMATOLÓGICOS 98
2.4.4 LLUVIAS CRITICAS O DE DISEÑO 99
2.4.5 CALCULO CAUDALES DE ESCORRENTÍA 100
2.4.6 PERÍODOS DE RETORNO DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PROYECTADAS 100
2.4.7 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 101
2.4.8 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA 103
2.4.9 PROCEDIMIENTO CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO 103
2.4.10 MODELACIÓN HIDRÁULICA 104
2.5 EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA 108
2.5.1 GENERALIDADES 108
2.5.2 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS 108
3 ESTUDIOS DETALLADOS 110
3.1 INVENTARIO DETALLADO 110
3.1.1 INVENTARIO DEL PROCESO MORFODINÁMICO 110
3.1.2 CARGAS ACTUANTES 113
3.1.3 AFECTACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA Y DE LAS REDES DE SERVICIOS 113
3.1.4 ESTRUCTURAS AFECTADAS 114
3.1.5 ESTRUCTURAS EXISTENTES Y GEOMETRÍA DEL TALUD 114
3.1.6 CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO Y ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD 115
3.2 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA 116
3.2.1 PLAN DE EXPLORACIÓN. 116
3.2.2 EXPLORACIÓN DIRECTA 122
3.2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO 128
3.2.4 EXPLORACIÓN INDIRECTA 129

3.3 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO 132

3.3.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 132

3.3.2 DEFINICIÓN DE SECCIONES DE ANÁLISIS 166

3.3.3 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA PARA LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 168

3.3.4 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 171

3.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 175

3.4.1 SOFTWARE Y MÉTODOS UTILIZADOS 176

3.4.2 CONDICIONES DE AMENAZA PRECEDENTE 176

3.4.3 CONDICIONES DE AMENAZA 177

3.4.4 AMENAZA CONDICIONES NORMALES CON OBRA 183

3.4.5 CATEGORIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA CON OBRA 187

3.5 ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA POR MOVIMIENTOS EN MASA. 188

3.5.1 GENERALIDADES DE LOS SECTORES OBJETO DE ESTUDIO - CONTEXTO SOCIAL Y FÍSICO - BARRIO LOS LAURELES II – ARBORIZADORA ALTA 189

3.5.2 IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS 191

3.5.3 CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS 194

3.5.4 EVALUACIÓN DE LA FRAGILIDAD 199

3.5.5 INTENSIDAD DEL EVENTO 202

3.5.6 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA 205

3.5.7 CATEGORIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD 207

3.6 ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA. 208

3.6.1 DEFINICIÓN DEL RIESGO 208

3.6.2 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR EL RIESGO 209

3.6.3 EVALUACIÓN DE RIESGO 210

3.7 ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO ENFOCADAS A MEDIDAS DE MITIGACIÓN 212

3.7.1 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS 212

3.7.2 ANÁLISIS COMPARATIVO POR CRITERIOS 214

3.7.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS 215

3.7.4 CONCLUSIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN 215

4 DISEÑO DE MEDIDAS PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO 216

4.1 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CON OBRAS 216

4.1.1 ESCENARIOS Y MODELOS DE ANÁLISIS 216

4.1.2 ETAPA DE CONDICIÓN ACTUAL 217

4.1.3 ETAPA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN 219

4.1.4 ETAPA CON OBRAS 220

4.2 OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO 222

4.2.1 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 222

4.2.2 MODELO MATEMÁTICO 223

4.2.3 AVALÚO DE CARGAS 225

4.2.4 COMBINACIONES DE CARGA 229

4.2.5 COEFICIENTES DE SEGURIDAD PARA LA RESISTENCIA 229

4.2.6 SOLICITACIONES 229

4.2.7 DEFLEXIONES 232

4.2.8 DISEÑO ELEMENTOS ESTRUCTURALES 232

4.2.9 CONCLUSIONES 235

4.3 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES 236

4.3.1 PLAN DE MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE ARBORIZADORA ALTA 236

4.3.2 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN 247

5 ANÁLISIS PREDIAL Y URBANO 254

5.1 ALCANCE 254

5.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 255

5.2.1 LOCALIZACIÓN 255

5.2.2 IDENTIFICACIÓN DE PREDIOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO 255

5.2.3 INFORMACIÓN JURÍDICA 261

5.2.4 INFORMACIÓN URBANÍSTICA 267

5.2.5 INFORMACIÓN NORMATIVA 270

5.2.6 ANÁLISIS DE COSTOS 271

6 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO 281

6.1.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO 281

6.1.2 ESTRUCTURA DE COSTOS DEL PROYECTO (INVERSIÓN) 281

6.1.3 ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS (PÉRDIDAS ECONÓMICAS EVITADAS) 282

6.1.4 ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO (RELACIÓN B/C) 282

6.1.5 BENEFICIOS ADICIONALES NO CUANTIFICADOS 283

6.1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 283

7 PRESUPUESTOS, PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y PROGRAMACIÓN DE OBRA 284

7.1 MEMORIAS DE CÁLCULO ESTRUCTURAL 284

7.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN 284

7.3 PRESUPUESTO Y CANTIDADES DE OBRA 284

7.4 PROGRAMACIÓN DE OBRA 285

8 INSUMOS PARA TRAMITES PERMISOS 285

8.1 INVENTARIO FORESTAL 285

8.2 ESTUDIO AMBIENTAL 287

8.2.1 ALCANCE 287
8.2.2 NORMATIVIDAD APLICABLE 288
8.2.3 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 297
8.3 ÁREA DE ESTUDIO 298
8.3.1 ÁREA DE INTERVENCIÓN 299
8.4 DETERMINANTES AMBIENTALES 302
8.4.1 SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE - SDA 302
8.4.2 SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL ARBOLADO URBANO (SIGAU) 303
8.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 303
8.5.1 DESCRIPCIÓN SITUACIÓN ACTUAL 303
8.5.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA 306
8.5.3 PROCESO CONSTRUCTIVO Y ACTIVIDADES DE OBRA 306
8.5.4 CRONOGRAMA DE OBRA 312
8.5.5 CANTIDADES DE MATERIALES 313
8.5.6 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 315
8.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN 317
8.6.1 ÁREA DE INFLUENCIA E INTERVENCIÓN 317
8.7 EVALUACIÓN AMBIENTAL 330
8.7.1 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES 330
8.8 DEMANDA DE RECURSOS NATURALES 343
8.8.1 RECURSO AGUA 343
8.8.2 RECURSO SUELO 343
8.9 PROGRAMAS DE MANEJO AMBIENTAL 344
8.10 CONCLUSIONES 394

9 ANEXOS 395

10 PLANOS 396

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general de los sectores de estudio en la Localidad de Ciudad Bolívar. 28

Figura 2. Polígono Porvenir de La Estancia II. 29

Figura 3. Polígono Arborizadora Alta – Candelaria la Nueva. 30

Figura 4. Polígono Sierra Morena III – Corte vial. 31

Figura 5. Base puntos GNSS, GPS-1 y GPS-2. 35

Figura 6. Posicionamiento puntos GPS-1 y GPS-2. 36

Figura 7. Captura Inclusión se Antenas Hi Target página NOA. 36

Figura 8. Captura Página Sirgas Coordenadas Semanales Antenas AEDO y BOGA. 38

Figura 9. Esquema vectorial de posicionamiento. 39

Figura 10. Cambio de época GPS-1. 40

Figura 11. Posicionamiento GPS Bases. 41

Figura 12. Posicionamiento Deltas. 42

Figura 13. Especificaciones Antenas GPS Hi Target V-200. 43

Figura 14. Punto de amarre vertical. 44

Figura 15. Circuitos de Nivelación. 45

Figura 16. Nivelación de LZ16-003 a D-4 (Vista 1). 46

Figura 17. Nivelación de LZ16-003 a D-4 (Vista 2). 46

Figura 18. Contranivelación D-4 a LZ16-003. 46

Figura 19. Nivelación de Pozos. 47

Figura 20. Cotas geométricas Deltas Levantamiento. 47

Figura 21. Nivelación L16-003-Z4 a D-4. 48

Figura 22. Nivelación Deltas Poligonal. 49

Figura 23. Imágenes proceso de nivelación y contranivelación. 50

Figura 24. Especificaciones Nivel Electrónico Leica DNA10. 51

Figura 25. Nube de puntos Levantamiento. 53

Figura 26. Plano Topográfico. 54

Figura 27. Imágenes Labores de Topografía. 55

Figura 28. Mapa geológico Regional, con ubicación de los sitios de estudio y sus alrededores. 65

Figura 29. Mapa geomorfológico Regional, con ubicación de los sitios de estudio y sus alrededores. 67

Figura 30. Fotointerpretación de las aerofotografías Nos.164-165-166; Vuelo C- 2717; escala 1: 20.300; año 1987. 71

Figura 31. Aerofotografías Nos.164 y 166 (imágenes pares para la fotointerpretación); Vuelo C- 2717; escala 1: 20.300; año 1987. 72

Figura 32. Localización de la exploración geotécnica. 76

Figura 33. Línea LSA-1 — Tomografía de refracción sísmica (Vp). 82

Figura 34. Línea LSA-1 — Espectro ReMi, ajuste de dispersión y perfil Vs. 83

Figura 35. Ilustración en imagen de la diferenciación de las unidades geológicas del sitio de Arborizadora Alta. 86

Figura 36. Ilustración en fotografías, del macizo rocoso de afloramientos de rocas de tipo arcillolitas con intercalaciones de areniscas, presentes en el sector norte del sitio. 87

Figura 37. Ilustración en fotografías, de los depósitos antrópicos y demás elementos de la parte superior e inferior del sitio inestabilizado. 88

Figura 38. Mapa y perfiles geológicos del sitio de Arborizadora Alta. 89

Figura 39. Mapa geomorfológico del sitio de estudio. 90

Figura 40. Ilustración en fotografías de las subunidades/elementos geomorfológicos de la parte superior e inferior del sitio de estudio. 91

Figura 41. Ilustración en fotografía de las condiciones morfodinámicas del sitio Arborizadora Alta. (Qra), material de relleno antrópico; (K2E1gm), rocas de la Formación Guaduas, Conjunto medio. 92

Figura 42. Ilustración de procesos morfodinámicos involucrados en el movimiento principal. 93

Figura 43. Ilustración del proceso de generación y/o vertimiento de aguas por infiltración sobre el depósito del relleno. 94

Figura 44. Ilustración de los procesos de agrietamientos en el andén de la vía peatonal. 95

Figura 45. Ilustración de las afectaciones en algunas viviendas aledañas. 95

Figura 46. Coberturas de la tierra 2017 y 2026 Arborizadora Alta. 96

Figura 47. *Planta de los canales de aguas lluvias proyectados, con las respectivas áreas aportante de escorrentía superficial.* 98

Figura 48. Estación pluviométrica del IDIGER 99

Figura 49. Planta del canal proyectado de aguas lluvias Norte en la modelación hidráulica unidimensional, con el abscisado en el programa Hec Ras. 105

Figura 50. Planta del canal proyectado de aguas lluvias Sur en la modelación hidráulica unidimensional, con el abscisado en el programa Hec Ras. 106

Figura 51. Perfil longitudinal del canal proyectado de aguas lluvias Norte en la modelación hidráulica unidimensional, con el nivel de agua para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno. 106

Figura 52. Perfil longitudinal del canal proyectado de aguas lluvias Sur en la modelación hidráulica unidimensional, con el nivel de agua para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno. 107

Figura 53. Ilustración del proceso morfodinámico y de las condiciones del muro de contención existente (Carrera 44 / Calle 68B Sur) en Arborizadora Alta: corona, cuerpo del movimiento potencial, agrietamientos y dirección general del movimiento. 111

Figura 54. Grietas de tracción y dirección del movimiento en adyacencia al muro de contención existente, en vista de ortomosaico (Arborizadora Alta). 112

Figura 55. Patologías del muro de contención existente: (a) grieta de tracción en el terreno al frente del muro y (b) asentamiento diferencial en la cimentación del muro, con más de 30 cm de diferencia. 115

Figura 56. Esquema de Apique en terreno natural. 117

Figura 57. Esquema de Apique Barreno en pavimento existente. 118

Figura 58. Esquema de Barreno en terreno natural. 118

Figura 59. Esquema de Sondeo en terreno natural. 119

Figura 60. Localización de la exploración geotécnica. 121

Figura 61. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Apique 1). 122

Figura 62. Muestras extraídas en el Apique 1. 123

Figura 63. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Apique 2). 124

Figura 64. Muestras extraídas en el Apique 2. 124

Figura 65. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Barreno 1). 125

Figura 66. Muestras extraídas en el Barreno 1. 126

Figura 67. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Barreno 2). 126

Figura 68. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Sondeo 1). 127

Figura 69. Muestras extraídas en el sondeo 1. 128

Figura 70. Esquema de líneas sísmicas. 130

Figura 71. Localización de la línea sísmica ejecutada. 131

Figura 72. 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). 134

Figura 73. 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. 137

Figura 74. Carta de plasticidad de Casagrande; los puntos se agrupan por material. 138

Figura 75. Revisión del potencial de expansión en función del límite líquido: a) Chen; b) Norma IS 1498. 139

Figura 76. Revisión del potencial de expansión en función del índice de plasticidad: a) Chen; b) Norma IS 1498. 140

Figura 77. N_{60} corregido en función de la profundidad, por sondeo (escala común 0–6 m; abscisas hasta 50 golpes); puntos agrupados por material. 145

Figura 78. 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. 147

Figura 79. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri). 150

Figura 80. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra). 150

Figura 81. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Suelo Residual (Qsr). 150

Figura 82. Configuración de las variables aleatorias del Suelo Residual (Qsr) en el módulo Material Statistics de Slide. 153

Figura 83. Superficie de falla asumida en la sección B-B′ y resultados del análisis probabilístico en la condición actual. 153

Figura 84. Parejas (c′, φ′) con factor de seguridad entre 0,99 y 1,01 por el método de Spencer. Se señala la pareja adoptada (c′ = 9,57 kPa; φ′ = 20,09°), seleccionada por la componente arcillosa del material. 154

Figura 85. Índices de carga puntual Is50 medidos en el sondeo SA-1 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. 160

Figura 86. Envolvente de resistencia τ – σ' del macizo (Hoek-Brown) 162

Figura 87. Localización de las secciones de análisis geotécnico sobre ortomosaico. Arborizadora Alta. 167

Figura 88. Espectro elástico de diseño de la zona Cerros (Decreto 523 de 2010, 5% de amortiguamiento). 171

Figura 89. Ubicación del Polígono 5 – Arborizadora Alta en la Zona Geotécnica Cerros B (zonificación geotécnica regional). 172

Figura 90. Zonificación geotécnica de detalle – condición actual, Arborizadora Alta. 174

Figura 91. Amenaza por movimientos en masa urbano (cartografía oficial POT, IDIGER) sobre el área de estudio – Arborizadora Alta. 177

Figura 92. Análisis en condición estática – Sección B-B'. 179

Figura 93. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición estática - Sección B-B'. 180

Figura 94. Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza por movimientos en masa- condición normal actual. 181

Figura 95. Análisis en condición pseudoestática – Sección B-B' 182

Figura 96. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición pseudoestática- Sección B-B'. 182

Figura 97. Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza por movimientos en masa- condición extrema sin obra. 183

Figura 98. Análisis en condición normal (construcción) Sección B-B' 184

Figura 99. Análisis en condición normal (obra definitiva) Sección B-B' 184

Figura 100. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición estática (Obra) - Sección B-B' 185

Figura 101. Análisis en condición extrema (construcción) Sección B-B'. 186

Figura 102. Análisis en condición extrema (Obra) - Sección B-B' 186

Figura 103. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición extrema (Obra)- Sección B-B'. 187

Figura 104. Categorización y zonificación de la amenaza con obra 188

Figura 105. Predios objeto de análisis de Vulnerabilidad 192

Figura 106. Infraestructural vial peatonal 193

Figura 107. Sector inspeccionado. 194

Figura 108. Tipologías de las construcciones D y C. 197

Figura 109. Número de Niveles. 198

Figura 110. Estado de Conservación de las edificaciones 198

Figura 111. Alternativa 1. Pantalla o cortina de caissons de concreto reforzado con viga cabezal, cimentada en roca. 213

Figura 112. Alternativa 2. Anclajes activos nuevos de 30 m sobre el muro de contención existente, con drenes horizontales. 214

Figura 113. Alternativa 3. Contrafuertes de concreto sobre muro existente, con zapata posterior/interior y pilotines anclados a roca. 214

Figura 114. Análisis de estabilidad - Estático seco 217

Figura 115. Análisis de estabilidad - Estático saturado 218

Figura 116. Análisis de estabilidad - Pseudoestático seco 218

Figura 117. Análisis de estabilidad - Pseudoestático saturado 219

Figura 118. Análisis de estabilidad – etapa durante la construcción (Estático seco (Ru = 0)) 220

Figura 119. Análisis de estabilidad – etapa durante la construcción (Pseudoestático seco (Ru = 0)) 220

Figura 120. Análisis de estabilidad – obra (Estático seco (Ru = 0)) 221

Figura 121. Análisis de estabilidad – obra (Pseudoestático seco (Ru = 0)) 222

Figura 122. Espectro de diseño para la zona de cerros D523 MZSB. 223

Figura 123. Modelo matemático del muro pantalla para el sector 1. 224

Figura 124. Empuje de tierras (EH) 9.39 Tn/m2 abajo. Ko=0.59. 226

Figura 125. Sobrecarga vehicular (LS). 1.06 Tn/m. 227

Figura 126. Empuje hidrostático por nivel freático (WA). 3.5 Ton/m2 abajo. 227

Figura 127. Cargas por sismo EQx, EQy. 228

Figura 128. Distribución de carga viva sobre viga cabezal (L)= 0.28 Tn/ml. 228

Figura 129. Momento pilote M2-2. (Tn*m) ENVOLULT. 230

Figura 130. Diagrama de cortante V3-3 pilote (Tonf)-ENVOLULT. 230

Figura 131. Diagrama M33 y P en “caisson”. ENVOLULT. Tonf*m. 231

Figura 132. Diagrama M3-3 y V en viga cabezal. ENVOLULT. Tonf. 231

Figura 133. Diagrama de momentos y cortante viga cabezal. 231

Figura 134. Deflexión en la punta del sistema. 13.4 mm (L/1160). 232

Figura 135. Esquema de partes del inclinómetro y de la medición del desplazamiento acumulado. 238

Figura 136. Esquema de un piezómetro de tubo abierto. 239

Figura 137. Modelo geológico-geotécnico con la disposición del inclinómetro, del piezómetro y de los puntos de control respecto de la obra proyectada. Arborizadora Alta. 240

Figura 138. Localización de la instrumentación geotécnica propuesta sobre ortomosaico. Arborizadora Alta. 242

Figura 139. Sección típica de la etapa inicial- sección B-B'. 249

Figura 140. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A'. 251

Figura 141. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A' (Obra). 253

Figura 142. Localización área de estudio. 255

Figura 143. Identificación de predios. 258

Figura 144. Información Zonas de Cesión - SIGDEP. 269

Figura 145. Área de Estudio en Plano Urbanístico CB30/4-20. 269

Figura 146. Área de Estudio en Plano Urbanístico B169/4-1 - SINUPOT. 270

Figura 147. Valor de referencia de terreno/m2 2026- UAECD. 274

Figura 148. Tipos de construcción en área de estudio. 275

Figura 149. Localización general de los sectores de estudio en la Localidad de Ciudad Bolívar 298

Figura 150. Polígono Arborizadora Alta. 299

Figura 151 Estructura Ecológica Principal (Dec 555 de 2021). 302

Figura 152 Verificación de individuos arbóreos presentes en el área de intervención. 303

Figura 153. Ilustración del proceso morfodinámico y de las condiciones del muro de contención existente (Carrera 44 / Calle 68B Sur) en Arborizadora Alta: corona, cuerpo del movimiento potencial, agrietamientos y dirección general del movimiento. 304

Figura 154. Grietas de tracción y dirección del movimiento en adyacencia al muro de contención existente, en vista de ortomosaico (Arborizadora Alta). 305

Figura 155. Sección típica de la etapa inicial- sección B-B' 308

Figura 156. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A' 310

Figura 157. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A' (Obra) 312

Figura 158. Ubicación del Polígono 5 – Arborizadora Alta en la Zona Geotécnica Cerros B (zonificación geotécnica regional). 316

Figura 159. Zonificación geotécnica de detalle – condición actual, Arborizadora Alta 316

Figura 160. unidades geológicas del sito. 318

Figura 161. subunidades/elementos geomorfológicos de la parte superior e inferior del sitio de estudio. 320

Figura 162. Amenaza por remoción en Masa 321

Figura 163. Amenaza por Inundación 321

Figura 164. Amenaza por incendios 322

Figura 165. Clasificación del suelo 323

Figura 166. Uso del suelo 323

Figura 167. Condiciones climáticas promedio de Ciudad Bolívar 324

Figura 168. Concentración PM10 325

Figura 169. Concentración PM2.5 326

Figura 170. Concentración O3 327

Figura 171. Concentración NO2 327

Figura 172. Concentración SO2 328

Figura 173. Concentración CO 328

Figura 174. Cuenca Hidrográfica 329

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas del polígono Porvenir de la Estancia II. 28

Tabla 2. Coordenadas geográficas del polígono Arborizadora Alta – Candelaria la Nueva. 29

Tabla 3. Coordenadas geográficas del polígono Sierra Morena III – Corte vial. 30

Tabla 4. Tiempos de Rastreo Estáticos 37

Tabla 5. *Coordenadas Geocéntricas (Cartesianas) SIRGAS-CON* 38

Tabla 6. Coordenadas Planas Cartesianas y Geográficas 17-04-2026 39

Tabla 7. Coordenadas Planas Cartesianas y Geográficas 01-01-2018. 40

Tabla 8. Personal Profesional Topografía 52

Tabla 9. Coordenadas Finales Poligonal Principal 52

Tabla 10. Especificaciones Estación Total. 56

Tabla 11. Fuentes de información secundaria. 58

Tabla 12. Vuelos y número de aerofotografías seleccionadas para el proyecto. 69

Tabla 13. Resumen e ilustración de la información temática obtenida en el sitio de Arborizadora Alta 74

Tabla 14. Resumen e ilustración de la información de las perforaciones ejecutadas. 77

Tabla 15. Resumen de las características del material encontrado en las investigaciones. 77

Tabla 16. Coordenadas de los extremos de las líneas sísmicas (MAGNA-SIRGAS Ciudad Bogotá). 81

Tabla 17. Línea LSA-1 — Perfil de velocidad de onda de corte. 82

Tabla 18. Síntesis de resultados por línea. 83

Tabla 19. Escala de grados de meteorización de un macizo rocoso (perfil general). 85

Tabla 20. Coberturas de la tierra año 2017 96

Tabla 21. Coberturas de la tierra año 2026. 97

Tabla 22. Ecuación de las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia IDF en el sitio del proyecto Arborizadora Alta – Candelaria La Nueva, según la EAAB. 100

Tabla 23. Coeficientes de Escorrentía propuestos 103

Tabla 24. Cálculo de los caudales máximos de escorrentía superficial esperados en los canales proyectados Norte y Sur, para el período de retorno de diseño de 10 años 104

Tabla 25. Resumen de los resultados de la modelación hidráulica unidimensional del canal de aguas lluvias Norte, con los parámetros hidráulicos y geométricos más relevantes, para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno. 105

Tabla 26. Resumen de los resultados de la modelación hidráulica unidimensional del canal de aguas lluvias Sur, con los parámetros hidráulicos y geométricos más relevantes, para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno. 105

Tabla 27. Inventario de antecedentes técnicos del sector de Arborizadora Alta – Candelaria La Nueva. 113

Tabla 28. Cargas y sobrecargas actuantes adoptadas para el inventario y los análisis de estabilidad… 113

Tabla 29. Elementos del área de influencia y redes de servicios inventariados. 113

Tabla 30. Estructuras afectadas documentadas en los diagnósticos técnicos. 114

Tabla 31. Estructuras existentes y geometría del talud inventariadas. 115

Tabla 32. Clasificación del movimiento en masa según SGC (2017) / PMA: GCA (2007). 115

Tabla 33. Escala de velocidad de los movimientos en masa. 116

Tabla 34. Exploración ejecutada. 121

Tabla 35. Relación de la cantidad de ensayos de laboratorio ordenados del sector Arborizadora Alta. . 128

Tabla 36. Coordenadas de la línea sísmica. 131

Tabla 37. Tipos de materiales (estratos) identificados. 133

Tabla 38. Clasificación de los materiales según su origen (SGC, 2017). 135

Tabla 39. Grado de meteorización (Geological Society 1970 / Dearman 1974) por material, asignado a partir de la clase del estrato y de la descripción de campo. 135

Tabla 40. Clasificación SUCS, propiedades índice (rangos mínimo–máximo) y potencial expansivo por material de suelo. 136

Tabla 41. Potencial de expansión en función del límite líquido (LL, %). 138

Tabla 42. Potencial de expansión en función del índice de plasticidad (IP, %). 139

Tabla 43. 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 SA-1 (6,00 m) y ponderado por el espesor de cada unidad. 142

Tabla 44. Coeficiente de presión de poros Ru adoptado en cada escenario de análisis. 143

Tabla 45. Peso unitario total (γ) y saturado (γsat) y coeficiente de presión de poros Ru por material. ... 143

Tabla 46. Parámetros de resistencia por material de suelo. 145

Tabla 47. Constantes elásticas por material de suelo (Tabla C10.4.6.3-1, CCP-14). 146

Tabla 48. Valores de entrada para la clasificación manual de suelos en GEO5®. 148

Tabla 49. Rangos de parámetros estimados por GEO5® para los materiales de suelo del sitio. 149

Tabla 50. Contraste de la envolvente de resistencia al corte: valor adoptado frente al rango estimado por GEO5®. 151

Tabla 51. Variables aleatorias declaradas en el análisis probabilístico de sensibilidad del Suelo Residual (Qsr). 152

Tabla 52. Contraste de los parámetros del Suelo Residual (Qsr) obtenidos por tres procedimientos independientes. 155

Tabla 53. Recobro y RQD registrados en el sondeo SA-1, Formación Guaduas. 156

Tabla 54. Clasificación de resistencia de la roca intacta a partir de la resistencia a la compresión inconfinada (Bieniawski, 1974). 156

Tabla 55. Resistencia de la roca intacta por unidad: índice de carga puntual Is50, qu estimado y clasificación. 156

Tabla 56. Descripción de la calidad del macizo rocoso en función del índice de calidad de la roca RQD (Deere, 1964). 157

Tabla 57. RQD medido por unidad y calidad del macizo rocoso. Valores del registro de perforación del sondeo SA-1. 157

Tabla 58. Correlación de la exploración geofísica (línea LSA-1, sector Arborizadora Alta) con el modelo geológico-geotécnico. 158

Tabla 59. Nomenclatura de variables 159

Tabla 60. Valoraciones RMR adoptadas (CCP-14, Tabla 10.4.6.4-1) 160

Tabla 61. Resistencia al corte del macizo por esfuerzo normal (Hoek-Brown) 162

Tabla 62. Resumen de la clasificación y propiedades índice por material de suelo 163

Tabla 63. Resumen de parámetros de resistencia y deformación de diseño por material de suelo 164

Tabla 64. Resumen del macizo rocoso (resistencia de la roca intacta desde la Tabla resumen) 164

Tabla 65. Resumen de parámetros por material para el ingreso a los modelos de estabilidad (Slide). .. 165

Tabla 66. Coordenadas de los extremos de las secciones de análisis. Arborizadora Alta. 167

Tabla 67. Exploración geotécnica directa de soporte. Arborizadora Alta. 168

Tabla 68. Líneas sísmicas de refracción de soporte. Arborizadora Alta. 168

Tabla 69. Zona de respuesta sísmica del polígono de estudio (fuente: geoservicio oficial IDIGER, Mapa 2 del Decreto 523 de 2010). 169

Tabla 70. Coeficientes sísmicos de la zona Cerros (Decreto 523 de 2010, Tabla 3). 169

Tabla 71. Coeficiente sísmico pseudoestático K_{ST} para a_{max} = 0.18 g (NSR-10, Tabla H.5.2-1). 170

Tabla 72. Sobrecarga vial adoptada en los análisis de estabilidad (NSR-10, numeral H.5.1.2). 170

Tabla 73. Escenarios de análisis de estabilidad y factores de seguridad admisibles. 171

Tabla 74. Zonificación geotécnica de detalle – Arborizadora Alta. 173

Tabla 75. Descripción de las amenazas en Arborizadora Alta. 177

Tabla 76. Categorización de la amenaza por Rangos de Factor de Seguridad (FS), para la condición normal y extrema. 178

Tabla 77. Anchos de franjas de amenaza alta para las condiciones normales. 180

Tabla 78. Anchos de franjas de amenaza alta para las condiciones extremas. 183

Tabla 79 Tipologías de edificaciones. 199

Tabla 80 Factor de fragilidad en función de la Tipología de la Construcción. 200

Tabla 81 Factor de fragilidad en función de la Altura de la Construcción. 201

Tabla 82 Factor de fragilidad en función del estado de conservación de la Construcción. 201

Tabla 83 Vida Útil de la edificación en función de la tipología. 201

Tabla 84 Factor de fragilidad en función de la edad de la construcción. 201

Tabla 85 Intensidad de daño en edificaciones (Índice de Daño). Tomada de Leone, 1996 203

Tabla 86 Matriz de intensidades de daños para viviendas. Leone, 1996. Adaptada en función del Manual del SGC. 2015. 203

Tabla 87 Significado del potencial destructivo de un movimiento con relación a su velocidad 203

Tabla 88 Presión de falla según tipología de estructura 204

Tabla 89 Parámetro presión de impacto de deslizamiento, relación presión de impacto/presión límite de la estructura 205

Tabla 90 Parámetro de intensidad relación profundidad/altura de la estructura 205

Tabla 91 Vulnerabilidad Tipología D 207

Tabla 92 Vulnerabilidad Tipología C 207

Tabla 93 Vulnerabilidad de las edificaciones 208

Tabla 94 Matriz de Riesgo. 209

Tabla 95 Estimación del costo aproximado de daño 210

Tabla 96 Estimación del costo total por gestión predial 211

Tabla 97 Matriz de análisis y selección de alternativas 215

Tabla 98. Escenarios de análisis y coeficientes de presión de poros adoptados. 216

Tabla 99. Modelos de análisis de las etapas durante la construcción y con obras. 216

Tabla 100. Factores de seguridad - Condición actual. 217

Tabla 101. Factores de seguridad – etapa durante la construcción. 219

Tabla 102. Factores de seguridad – etapa con obras. 221

Tabla 103. Parámetros geotécnicos del suelo a contener. 222

Tabla 104. Parámetros geotécnicos del macizo rocoso 222

Tabla 105. Parámetros sísmicos para la zona cerros de la Microzonificación Sísmica de Bogotá. 223

Tabla 106. Propiedades geométricas del modelo matemático. 224

Tabla 107. Módulos de reacción para pilotes 224

Tabla 108. Constantes de los resortes Kh para el modelo matemático 225

Tabla 109. Según B.2.4 NSR-10. 229

Tabla 110. Composición de la red de instrumentación propuesta. Arborizadora Alta. 237

Tabla 111. Coordenadas y características de los instrumentos propuestos. Arborizadora Alta. 242

Tabla 112. Frecuencias mínimas de lectura por instrumento y etapa. 243

Tabla 113. Precisión de lectura y umbrales de alerta. Arborizadora Alta. 244

Tabla 114. Niveles de alerta, comportamiento observado y acciones asociadas. 245

Tabla 115. Anexos asociados al numeral. 247

Tabla 116. Controles mínimos durante la construcción. 253

Tabla 120. Información Predial Catastral 255

Tabla 121. Otros datos catastrales 259

Tabla 122 Información jurídica 262

Tabla 123 Información Urbanística 267

Tabla 124 Valor Construcción TIPO 1 Ofertas. 271

Tabla 125. Valor de Construcción TIPO 2 Ofertas. 272

Tabla 126. Valor de Construcción Tipo 3 Ofertas 272

Tabla 127. Valores de terreno en Área de Estudio 273

Tabla 128. Cálculo Valor de Construcción TIPO 1 275

Tabla 129. Cálculo del Valor de Construcción TIPO 2 276

Tabla 130. Cálculo del Valor de Construcción TIPO 3. 276

Tabla 131 Cálculo de Costos de Terreno y Construcción 278

Tabla 132. Cálculo del daño emergente (costos notariales y de registro) 279

Tabla 133. Cálculo de Costos Totales 280

Tabla 117 Inversión para la Gestion del Riesgo 281

Tabla 118 Pérdidas económicas esperadas de llegarse a materializar el evento extremo. 282

Tabla 119 Relación Beneficio/Costo 282

Tabla 135 Tratamientos silviculturales propuestos por individuo 285

Tabla 134 Marco normativo 288

Tabla 135. Coordenadas geográficas del polígono Arborizadora Alta. 298

Tabla 136 Registro fotográfico recorrido 13 de abril de 2026. 299

Tabla 137 Cronograma de obra. 312

Tabla 138 Cantidades de materiales 313

Tabla 139 Zonificación geotécnica de detalle – Arborizadora Alta. 316

Tabla 140 Caracterización de los materiales geológicos identificados en el área de estudio. 318

Tabla 141. Identificación de actividades constructivas. 331

Tabla 142 Identificación de posibles impactos 331

Tabla 143 Identificación de posibles impactos 333

Tabla 144 Rangos 335

Tabla 145 Matriz de impactos 336

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 **02.** Sector **Arborizadora Alta– Candelaria la Nueva**.

El presente documento se estructura en (11) capítulos principales y un conjunto de anexos técnicos. El Capítulo 1 presenta las generalidades del estudio, incluyendo el objetivo, alcance, localización, normatividad aplicable, metodología e insumos básicos. El Capítulo 2 desarrolla los estudios básicos, comprendiendo la cartografía y topografía, la geología y geomorfología, la cobertura vegetal y uso del suelo, la evaluación del drenaje superficial y subsuperficial, la caracterización hidrogeológica y la evaluación de la amenaza sísmica para los análisis de estabilidad. El Capítulo 3 presenta los estudios detallados, incluyendo el inventario del proceso morfodinámico, la investigación geotécnica, la construcción del modelo geológico-geotécnico, los análisis de estabilidad, la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, la estimación de la vulnerabilidad y el análisis de riesgo. El Capítulo 4 desarrolla las medidas para la gestión y reducción del riesgo, contemplando las medidas estructurales y no estructurales, el análisis costo-beneficio, el plan de monitoreo e instrumentación geotécnica y la evaluación de la condición de amenaza, vulnerabilidad y riesgo con obras de mitigación. El Capítulo 5 presenta el análisis predial y urbano de las áreas objeto de intervención. El Capítulo 6 contiene los presupuestos, memorias de cálculo, especificaciones técnicas y programación de obra. El Capítulo 7 reúne los insumos requeridos para trámites, permisos y planes complementarios de gestión ambiental, social, de tránsito y de riesgo. El Capítulo 8 corresponde a las conclusiones y recomendaciones del estudio. El Capítulo 9 contiene la bibliografía y referencias consultadas. El Capítulo 10 reúne los memoriales de responsabilidad de los profesionales participantes. Finalmente, el Capítulo 11 integra los anexos técnicos, los cuales incluyen registros de campo, resultados de laboratorio, memorias de cálculo, planos, cartografía temática y demás documentos de soporte que complementan la información presentada en el informe.

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:

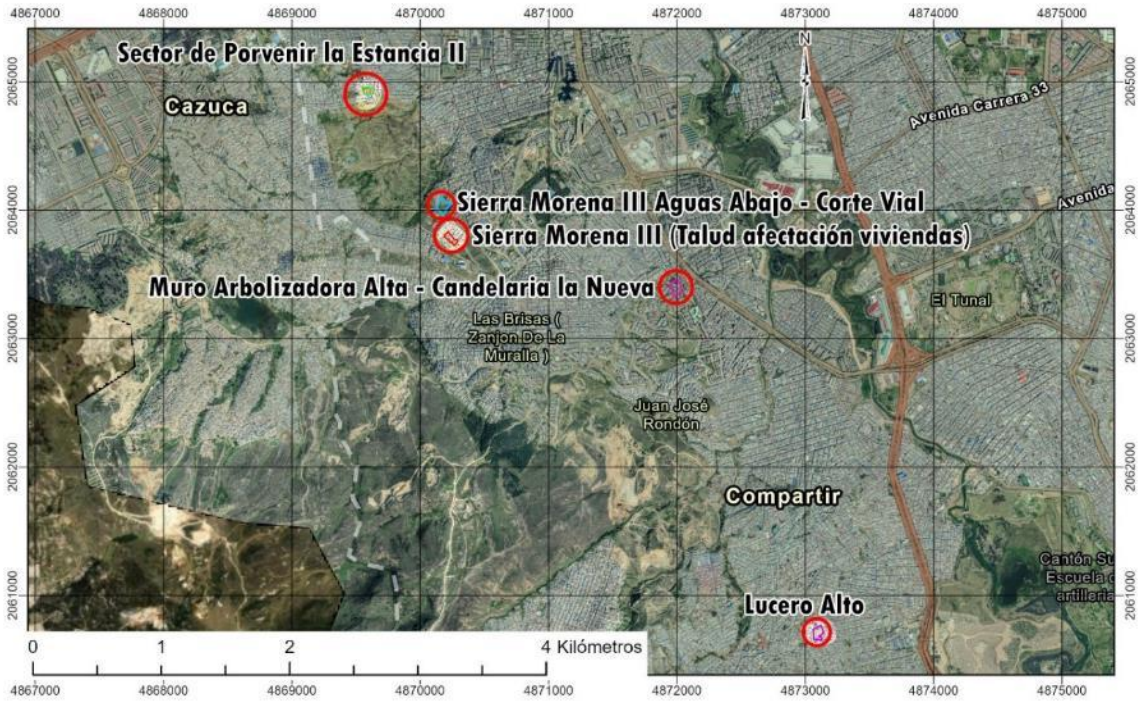


Figura 1. Localización general de los sectores de estudio en la Localidad de Ciudad Bolívar. Fuente: Elaboración propia con base en ortoimagen Bogotá–Soacha 2020 (IDECA).

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
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

Polígono	Vértice	Latitud	Longitud
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 **L16-003-Z4** de la EAAB dado que en la zona no se encontraron puntos IGAC y aparentemente estaban cerca.

2.1.1.2 Georreferenciación

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 en la intersección de la carrera 75G con calle 62K S y el GPS-2 en el parque Mirador de Arborizadora II sobre la Calle 62 K S. 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:



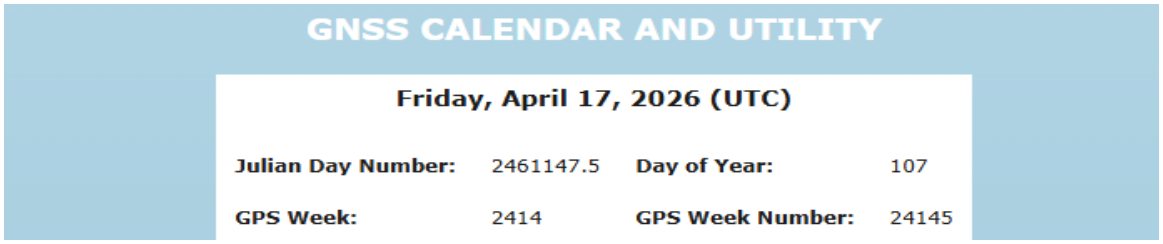
Figura 6. Posicionamiento puntos GPS-1 y GPS-2.
Fuente: elaboración propia.

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 las actividades de georreferenciación el día 17 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 07 minutos 27 segundos y en el punto GPS-2 a las 9:24:15 pm con una duración de 2 horas 5 minutos 38 segundos. La distancia entre los dos puntos de la línea base es de 12.88 Kms a AEDO y a 11.03 kms de BOGA, cumpliendo con los tiempos de rastreo.



geodesy.noaa.gov/ANTCAL/#

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 min + (3 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**
			AEDO	**BOGA**	
GPS-1	Calle 68C S CARRERA 44 Bis	2 h :07 m:27 s	1 h : 14 m: 00 s	1 h : 04 m: 00s	**S I**
GPS-2	Calle 68C S CARRERA 43B	2 h : 05 m:38 s	1 h : 14 m: 00 s	1 h : 04 m: 00s	**S I**

Estas sesiones de GPS se realizaron controlando paulatinamente la buena recepción de satélites que en nuestro caso osciló de 14 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 AEDO 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
AEDO	1738102.278	-6117369.800	518063.177

Fuente: Página Soluciones Semanales Sirgas

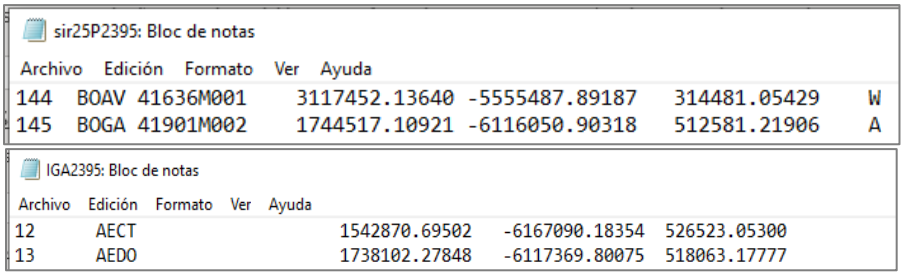


Figura 8. Captura Página Sirgas Coordenadas Semanales Antenas AEDO y BOGA.

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 circuitos cerrado desde el punto certificado por la EAAB.

2.1.1.2.6 Esquemas de Determinación

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

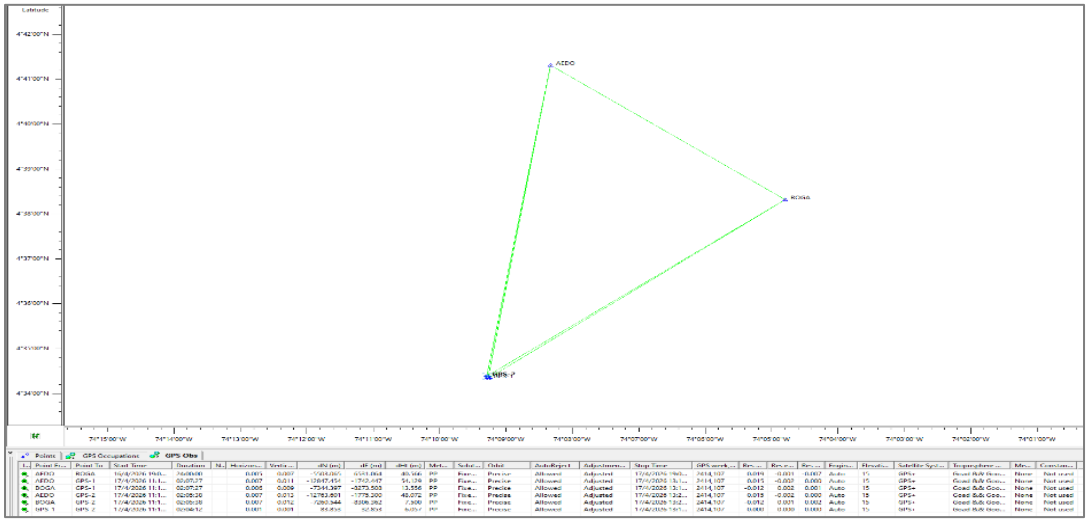


Figura 9. Esquema vectorial de posicionamiento.

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 17-04-2026

COORDENADAS MAGNA PLANAS CARTESIANAS EPOCA ACTUAL						
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)
D-1	97379.918	91453.995	2596.024	4°34'21.16233"N	74°09'16.29615"W	2622.106
D-2	97412.819	91446.697	2593.693	4°34'22.23298"N	74°09'16.53282"W	2619.771
D-3	97409.598	91519.432	2572.342	4°34'22.12822"N	74°09'14.17410"W	2598.424
D-4	97434.482	91498.700	2573.966	4°34'22.93799"N	74°09'14.84642"W	2600.045
GPS-1	97352.505	91458.745	2597.142	4°34'20.27024"N	74°09'16.14210"W	2623.227
GPS-2	97436.358	91425.892	2591.095	4°34'22.99901"N	74°09'17.20752"W	2617.170

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.

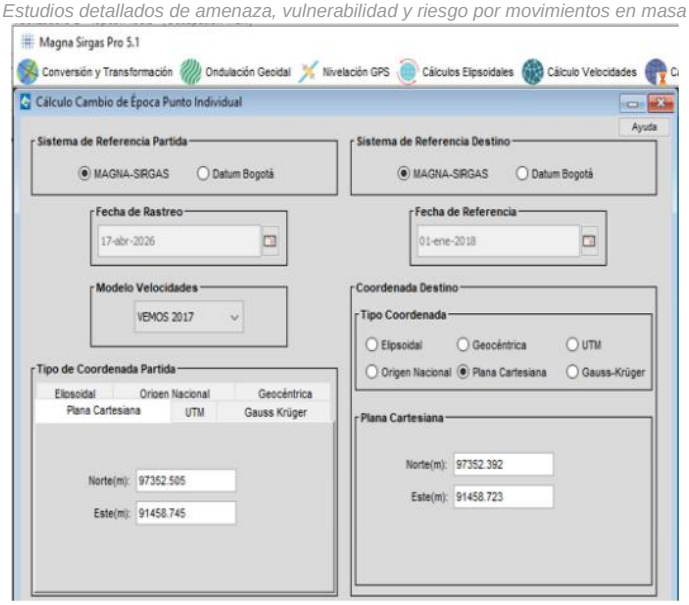


Figura 10. Cambio de época GPS-1.

2.1.1.2.9 Coordenadas Finales

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

COORDENADAS MAGNA CIUDAD _BOGOTA – EPOCA 2018.0						
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)
D1-P	97379.805	91453.973	2596.024	4°34'21.16029"N	74°09'16.29687"W	2622.106
D2_P	97412.706	91446.675	2593.693	4°34'22.23096"N	74°09'16.53355"W	2619.771
D3_P	97409.485	91519.410	2572.342	4°34'22.12616"N	74°09'14.17483"W	2598.424
D4_P	97434.369	91498.678	2573.966	4°34'22.93593"N	74°09'14.84716"W	2600.045
GPS-1	97352.392	91458.723	2597.142	4°34'20.26822"N	74°09'16.14283"W	2623.227
GPS-2	97436.245	91425.870	2591.095	4°34'22.99696"N	74°09'17.20825"W	2617.170

Fuente: Postproceso

2.1.1.2.10 Reseña Fotográfica Posicionamiento



Figura 11. Posicionamiento GPS Bases.



D-1 D-2 D-3



D-4

Figura 12. Posicionamiento Deltas.

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

Caracteristicas 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 13. 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 Ö K y según EAAB de 8mm Ö 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 L16-003-Z4 ubicado en la Avenida Calle 68S con Carrera 47A 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.

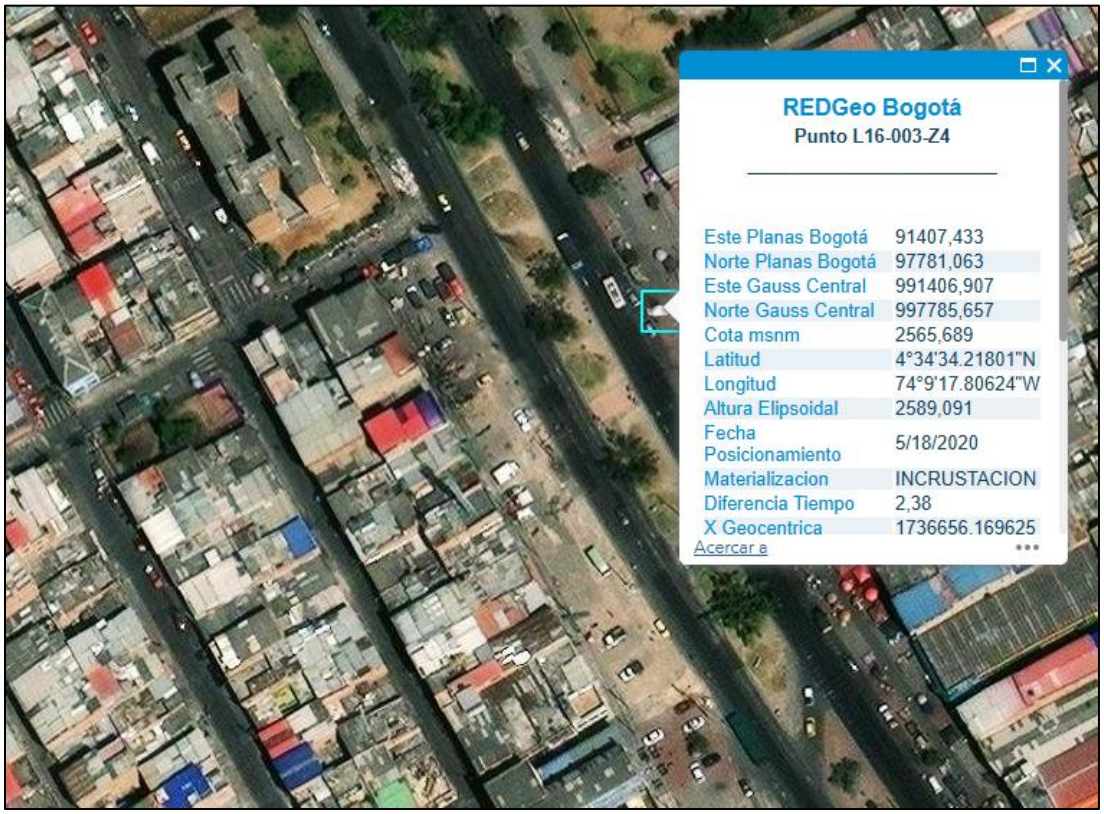


Figura 14. Punto de amarre vertical.
Fuente: Geoportal EAAB

Para el traslado de cota ¨Nivelación¨ dada la distancia del punto al sitio del proyecto se efectuó la nivelación en tres (3) circuitos, en diferentes fechas, inicialmente del punto **L16-003-Z4** al punto denominado **D-4** 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 D-4 recorriendo GPS-2, D-2, D-1, GPS-1, D-3 y D-4.



PRIMER CIRCUITO **SEGUNDO CIRCUITO**

Figura 15. 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 realizo 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:

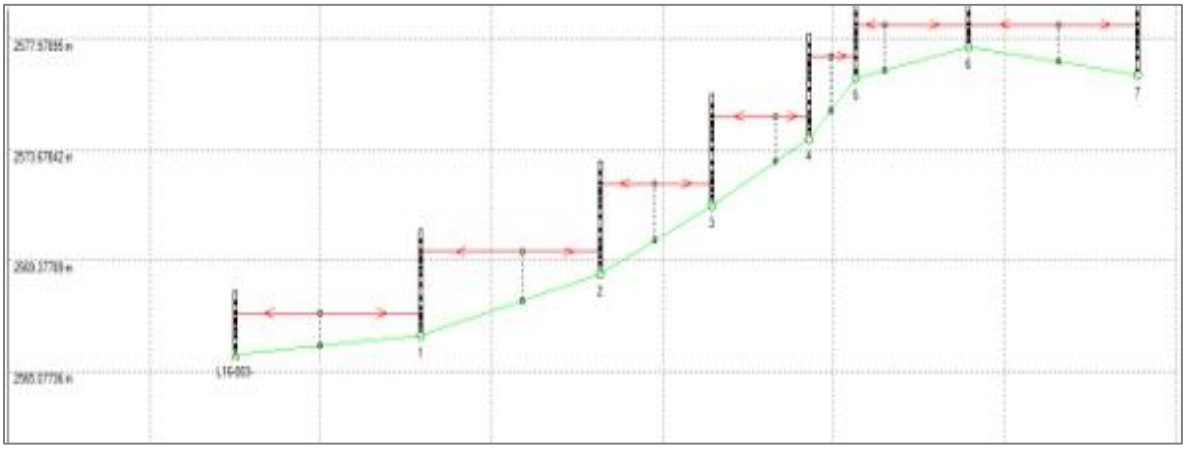


Figura 16. Nivelación de LZ16-003 a D-4 (Vista 1).

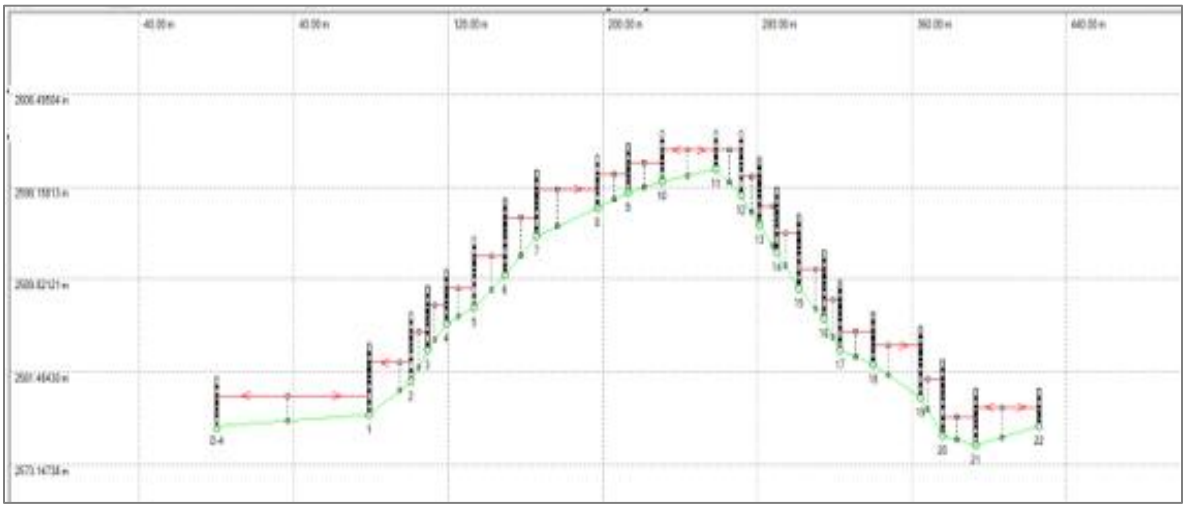


Figura 17. Nivelación de LZ16-003 a D-4 (Vista 2).



Figura 18. Contranivelación D-4 a LZ16-003.

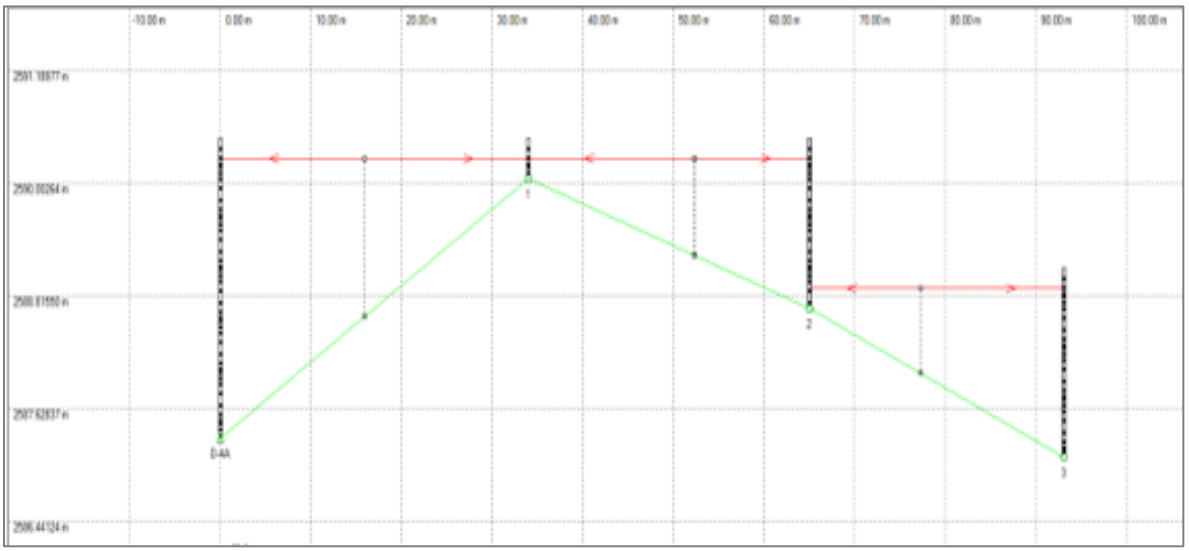


Figura 19. Nivelación de Pozos.

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:

RESUMEN GENERAL DE COTAS DELTAS LEVANTAMIENTO	
PUNTO	**COTA**
GPS-1	2599.7787
GPS-2	2593.7268
DEL-1	2598.6543
DEL-1A	2586.7690
DEL-2	2596.2865
DEL-3	2574.9560
DEL-4	2576.6091
DEL-4A	2587.3089
DEL-4B	2589.0094

Figura 20. Cotas geométricas Deltas Levantamiento.

PUNTO	V(+)	v(I)	V(-)	ALTURA INSTRUMENTAL	DISTANCIA	COTA
L16-003	***L001***					2565.6890
L16-003	1.9012			2567.5902	39.93	
1			1.1429		46.96	
1						2566.4473
1	2.5364			2568.9837	47.45	
2			0.1371		36.57	
2						2568.8466
2	2.8450			2571.6916	25.37	
3			0.1725		26.82	
3						2571.5191
3	2.7004			2574.2195	29.73	
4			0.0869		15.68	
4						2574.1326
4	2.5834			2576.7160	9.97	
5			0.2434		11.85	
5						2576.4726
5	2.8554			2579.3280	13.22	
6			1.6397		39.68	
6						2577.6883
6	1.2101			2578.8984	42.11	
D-4			2.2892		36.92	
D-4						2576.6092

Figura 21. Nivelación L16-003-Z4 a D-4.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE

PUNTO	V(+)	v(I)	V(-)	ALTURA INSTRUMENTAL	DISTANCIA	COTA
D-4	***L002***					2576.6092
D-4	2.2927			2578.9019	36.96	
1			1.2136		42.09	
1						2577.6883
1	2.9320			2580.6203	16.14	
2			0.0148		5.4	
2						2580.6055
2	2.9413			2583.5468	4.11	
3			0.0616		4.8	
3						2583.4852
3	2.4927			2585.9779	3.66	
4			0.0935		6.03	
4						2585.8844
4	2.4218			2588.3062	6.24	
D-4A			0.9973		7.98	
D-4A						2587.3089
D-4A	2.8690			2590.1779	9.2	
6			0.0219		6.89	
6						2590.1560
6	3.6091			2593.7651	8.28	
GPS-2			0.0383		8.11	
GPS-2						2593.7268
GPS-2	2.6390			2596.3658	10.67	
D-2			0.0793		20.68	
D-2						2596.2865
D-2	2.3505			2598.6370	8.48	
9			1.0097		7.58	
9						2597.6273
9	2.0682			2599.6955	8.23	
D-1			1.0413		9.4	
D-1						2598.6543
D-1	2.0888			2600.7431	13.11	
GPS-1			0.9644		14.77	
GPS-1						2599.7787
GPS-1	0.2199			2599.9986	6.70	
12			2.6488		6.22	
12						2597.3498
12	0.0543			2597.4041	5.17	
13			2.6648		4.41	
13						2594.7393
13	0.4225			2595.1618	6.79	
14			2.89		2.05	
14						2592.2718
14	0.0266			2592.2984	4.39	
D-4B			3.289		7.17	
D-4B						2589.0094
D-4B	0.3210			2589.3304	8.38	
16			3.0518		4.50	
16						2586.2786
16	0.1188			2586.3974	4.79	
17			2.9393		3.47	
17						2583.4581
17	0.0354			2583.4935	8.15	
18			1.277		9.03	
18						2582.2165
18	0.1009			2582.3174	7.60	
19			3.1044		16.86	
19						2579.2130
19	0.0192			2579.2322	3.60	
20			3.4578		7.96	
20						2575.7744
20	1.3020			2577.0764	7.35	
D-3			2.1205		9.75	
D-3						2574.9559
D-3	2.3818			2577.3377	13.40	
D-4			0.729		19.48	
D-4						2576.6087

Figura 22. Nivelación Deltas Poligonal.

2.1.1.3.2 Reseña Fotográfica Nivelación



Figura 23. Imágenes proceso de nivelación y contranivelación.

2.1.1.3.3 Equipo utilizado

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

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	

Figura 24. Especificaciones Nivel Electrónico Leica DNA10.

2.1.1.4 Levantamiento topográfico

El levantamiento de detalles se hizo por método convencional, estación total y prismas, radiando cada uno de los detalles encontrados en campo, partiendo de la base GPS-1 a GPS-2, se radió en directa-inversa, distancia adelante atrás a D-5 para orientar la poligonal de campo, dado que GPS-2 solo se utilizó de señal de azimut y está fuera del área de trabajo.

2.1.1.4.1 Personal

Tabla 8. 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

Para el levantamiento de detalles, se elaboró una red de GPS en forma de poligonal cerrada compuesta por seis (6) vértices principales que incluyen el GPS-1, GPS-2, D-1, D-2, D-3 y D-4 que abarca toda el área de diseño y con cierre superior a 1:25000. A partir del vértice D-4 se radiaron 2 auxiliares adicionales comprobadas en directa-inversa, distancia adelante-atrás, cota adelante-atrás y por ceros atrás para complementar la toma de datos.

Tabla 9. Coordenadas Finales Poligonal Principal

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA
D-1	97379.805	91453.973	2598.6543
D-2	97412.706	91446.675	2596.2865
D-3	97409.485	91519.410	2574.9560
D-4	97434.369	91498.678	2576.6091
GPS−1	97352.392	91458.723	2599.7787
GPS−2	97436.245	91425.870	2593.7268

2.1.1.4.3 Levantamiento de Detalles

Se tomaron un total de 3282 puntos a partir de los deltas colocados, 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 coordenadas 2018.0. De estas radiaciones se genera la siguiente nube de puntos, que permiten realizar un plano en 3D de la zona.



Figura 25. Nube de puntos Levantamiento.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE

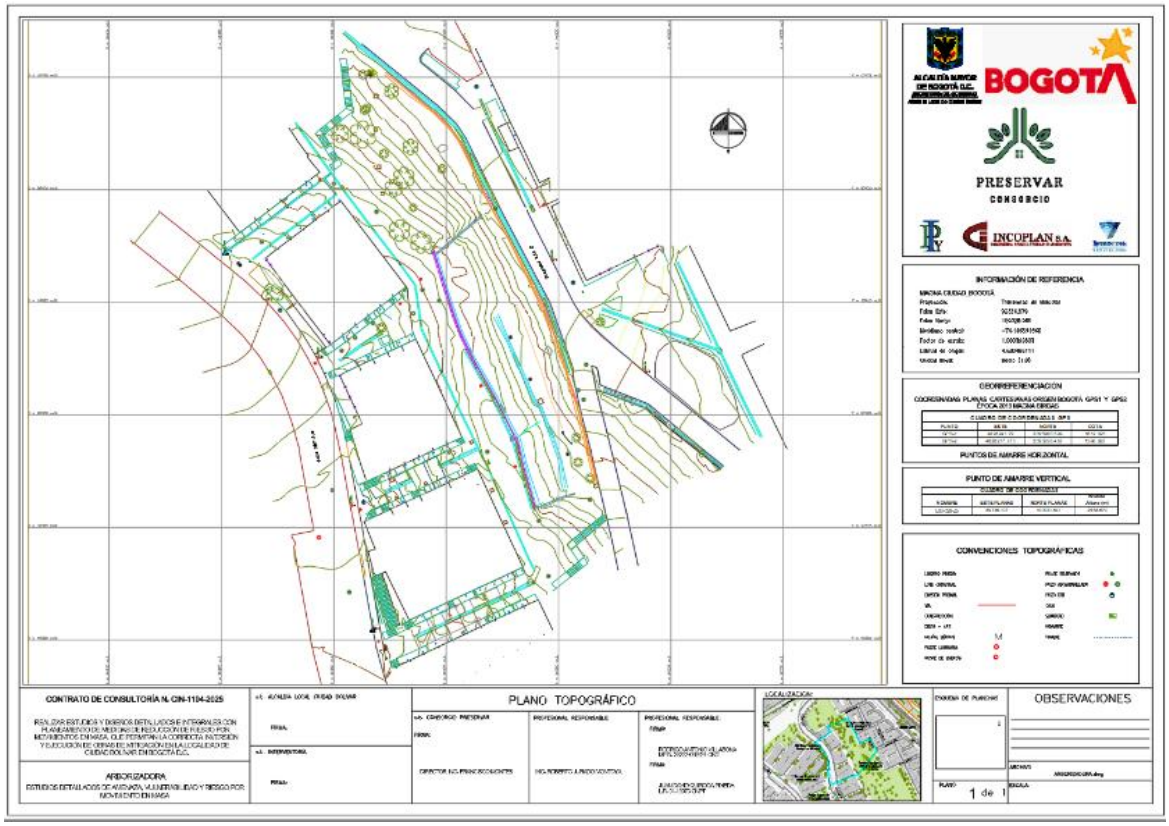


Figura 26. Plano Topográfico.

2.1.1.4.4 Reseña Fotográfica Levantamiento Topográfico

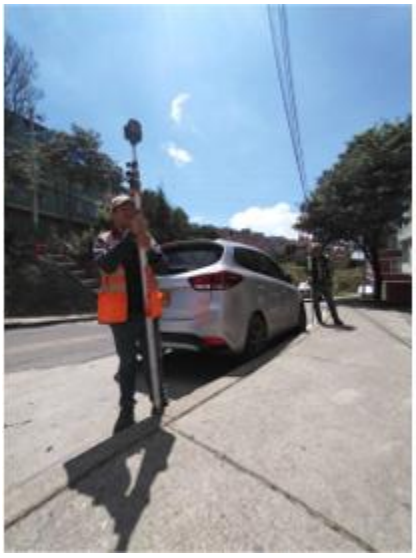








Figura 27. Imágenes Labores de Topografía.

2.1.1.4.5 Levantamiento topográfico con estación total – Leica TCR702

Tabla 10. 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 oriental del talud, 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 una poligonal asociada a una red de puntos GPS 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 y las poligonales 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 Cm, cosa que no trasciende al cálculo ya que la altura adoptada es la geométrica.

- Se realizó una poligonal principal y deltas auxiliares que cubren con generosidad el área en estudio, 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 L16-003-Z4, 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.

- Debido al requerimiento del proyecto, la geometría de la poligonal es la mejor, se cumple con los cierres solicitados en las especificaciones técnicas.

- 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 Cm 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 11. 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

PRODUCTO / INFORMACIÓN	ENTIDAD / AUTOR / SISTEMA DE INFORMACIÓN
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).
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)

PRODUCTO / INFORMACIÓN	ENTIDAD / AUTOR / SISTEMA DE INFORMACIÓN
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, y 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), el área de ubicación del proyecto en estudio dentro de la carretera Bogotá-Villavicencio, se encuentra localizada en la parte oriental de la Cordillera Oriental, y en la parte suroriental del departamento de Cundinamarca, en las laderas de la margen derecha del río Cáqueza, 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), (ver figura 3).

- **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

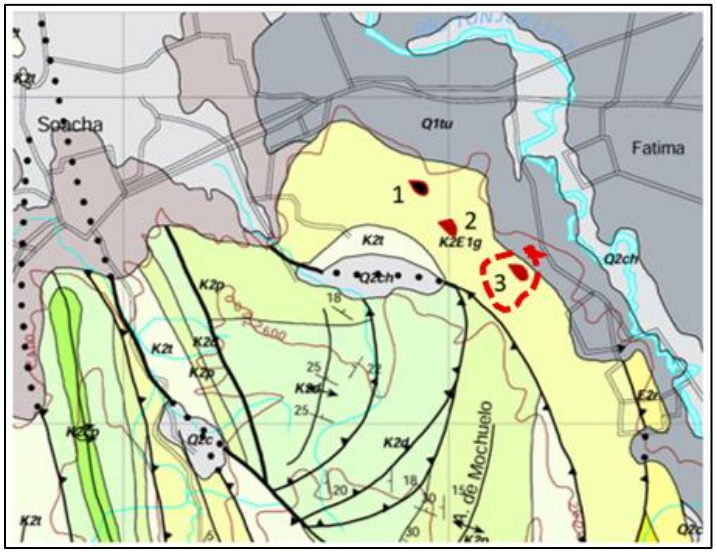


Figura 28. Mapa geológico Regional, con ubicación de los sitios de estudio y sus alrededores.

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.

Es de anotar que el área del sitio de estudio (Arborizadora Alta) se encuentra conformada por rocas del conjunto medio de la Formación Guaduas (K2E1gm).

- **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 la clase ladera en contrapendiente, 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 área en estudio y sus alrededores.

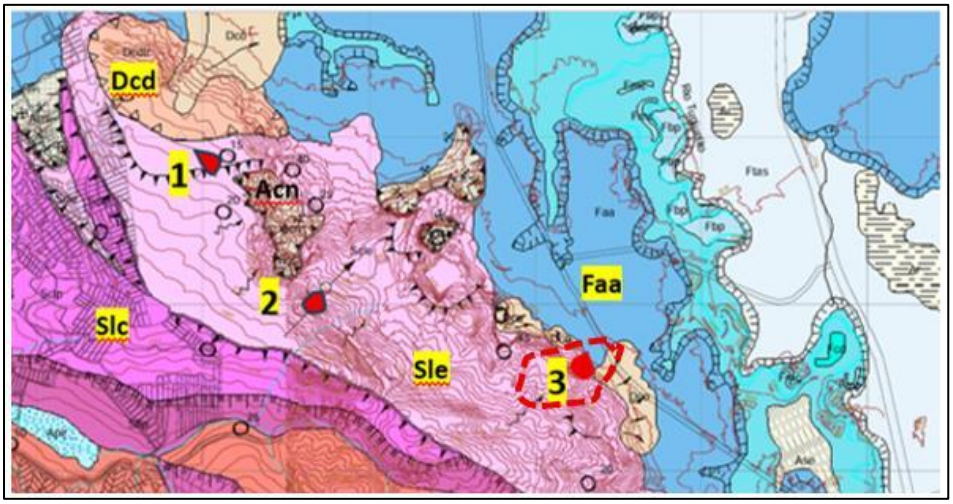


Figura 29. Mapa geomorfológico Regional, con ubicación de los sitios de estudio y sus alrededores.

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.
  Es de anotar, que para el sitio del presente estudio (Arborizadora Alta), los terrenos presentan laderas en contrapendiente.

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. 4) y geomorfológico de la plancha 246-II-B, de la Sabana de Bogotá (Ref. 2).

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 12. 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 las figuras 5 se ilustran las características de la fotointerpretación de las aerofotografías del área en estudio (imágenes de fotocalcos).

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 ubica el sitio en estudio (Porvenir La Estancia) y sus alrededores está conformada ampliamente por rocas sedimentarias, la cual de acuerdo con los documentos de referencia (Ref. 2 y 3), se agrupan en la Formación Guaduas, conjunto medio (K2E1gm).

Es de anotar que el sitio se encuentra con un amplio desarrollo urbanístico en sus alrededores; igualmente se observa que este sitio ha sido sometido posiblemente a excavaciones para la explotación de fuentes de materiales para usos ingenieriles.

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 30 (fotocalco resultante de la interpretación) se ilustra con el detalle que permite la escala de las aerofotografías, los elementos geológicos y geomorfológicos obtenidos en la fotointerpretación.

Es de anotar, a que a pesar de la escala que presentan las aerofotografías (1:20.300; 1cm= 203m), no se pueden determinar elementos temáticos (fotogeológicos) de detalle en el sitio.

Igualmente, en la Figura 31 , 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 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.

•***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 la zona de ubicación del sitio de estudio (Arborizadora Alta) y sus alrededores se encuentra influenciada por un avance intenso de desarrollo urbanístico.

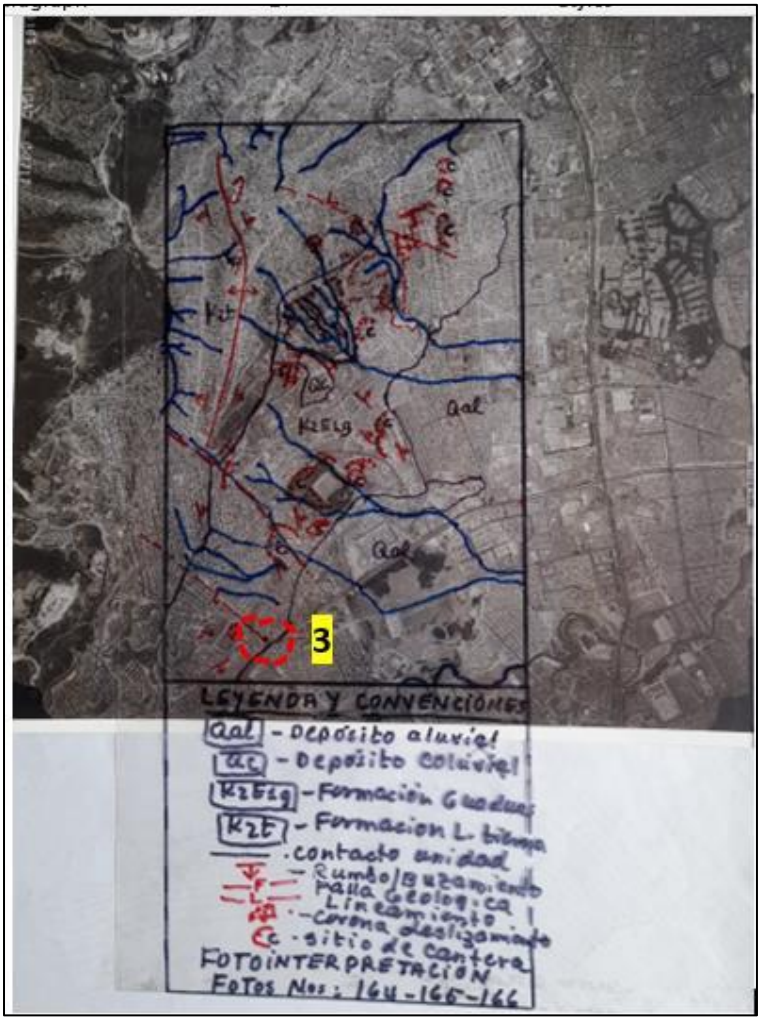


Figura 30. Fotointerpretación de las aerofotografías Nos.164-165-166; Vuelo C- 2717; escala 1: 20.300; año 1987.
Fuente: elaboración propia.



Figura 31. 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, 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 (ver en ANEXO B, mapas geológicos, y geomorfológicos), 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, (ver Tabla 13. Resumen e ilustración de la información temática obtenida en el sitio de Arborizadora Alta

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

En la siguiente tabla se ilustra en algunas fotografías el registro de la información temática obtenida en el Sitio en estudio (Arborizadora Alta).

Tabla 13. Resumen e ilustración de la información temática obtenida en el sitio de Arborizadora Alta

Abscisa/ Unidad geológica/ procesos morfodinámicos	**Fotografía de puntos de observación**
Aspectos generales del sitio de Arborizadora. **Foto 1**, panorámica general. **Foto 2,** aspectos de la parte superior y al oeste del muro inestabilizado. Obsérvese el sector entre el muro y el andén de la vía igualmente, afectado por proceso de hundimiento.	 
Aspectos del proceso de inestabilidad que el andén de la vía peatonal ubicada en la parte superior y al occidente del muro inestabilidad. En las fotografías 3 y 4, obsérvese los procesos de hundimientos y agrietamientos en el andén.	 

Abscisa/ Unidad geológica/ procesos morfodinámicos	Fotografía de puntos de observación
Obsérvese en Fotografía 5, afectación en el muro que contiene la baranda de la vía peatonal En la fotografía 6, fenómenos de agrietamientos en la vía peatonal y en la vivienda aledaña.	 
Obsérvese en las fotografías 7 y 8, aspectos de los agrietamientos que han afectado las puertas y los muros base de las viviendas aledañas y ubicadas en la parte superior de la vía peatonal contigua al sector inestabilizado.	 
En la fotografía 9, obsérvese aspectos de los afloramientos del macizo rocoso ubicado en la parte del sector inestabilizado, y constituido por niveles de arcillolitas/lodolitas de la Formación Guaduas, conjunto medio (K2E1gm).	

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 (Arborizadora Alta), se realizó un plan de exploración geotécnica amplia, consistente en apiques, barrenos, sondeos y trincheras. 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. En el Anexo respectivo de las investigaciones del subsuelo, se presenta el informe correspondiente que contiene todos los aspectos pertinentes del programa de las investigaciones. Igualmente se ejecutó un programa de registros de líneas sísmicas, realizadas en diferentes puntos del sitio.

En la siguiente figura se ilustra los esquemas de los tipos de perforaciones y excavaciones realizadas en el sitio Porvenir La Estancia, como parte de los trabajos ejecutados:



Figura 32. Localización de la exploración geotécnica.
Fuente: Elaboración propia

Con base en el plan de exploración geotécnica y como se ilustra en laTabla 14, se ejecutaron labores de exploración geotécnica que incluyeron la realización de dos apiques (APA-1) y (APA-2) de 1.60m y 1.70 de profundidad, respectivamente; la ejecución de 2 barrenos (BRA-1) y (BRA-2), con profundidades de 6.00m y 6.50m respectivamente, y por último, un sondeo (SA-1) con una profundidad final alcanzada de 30.50 m.

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.

En la presente 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 14. Resumen e ilustración de la información de las perforaciones ejecutadas.

PERFORACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PROFUNDIDAD (m)			
	LATITUD	LONGITUD	APIQUE	BARRENO	SONDEO	TOTAL
APA-1	4°34'22.3"N	74°09'15.6"W	1.60	-	-	1.60
APA-2	4°34'21.3"N	4°09'15.2"W	1.70	-	-	1.70
BRA-1	4°34'22.8"N	74°09'15.8"W	-	5.00	-	5.00
BRA-2	4°34'20.86"N	74° 9'14.84" W	-	5.50	-	5.50
SA-1	4°34'21.8"N	74°09'15.4"W	-	-	30.50	30,50

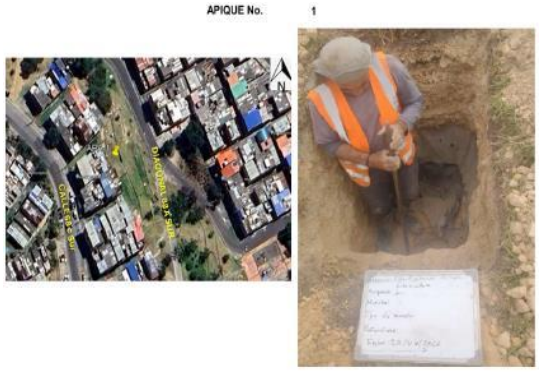
Fuente: Elaboración propia

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 sitio bajo estudio, junto con sus correspondientes ensayos de laboratorio.

2.2.4.1.2.2 Registro de apiques, barrenos y sondeos

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 15. Resumen de las características del material encontrado en las investigaciones.

Perforación.	Características litológicas	Fotografía sitio
APA-1/BRA-1/SA-1		
Apique (APA-1) **--Prof.** -1.60m.	***-0.00-0.90m**: Material de relleno compuesto por recebo amarillo arenoso con gravas gruesas, de humedad baja. El nivel superior Limo arenoso café oscuro con raíces. ***-0.90m-1.60m:** Arenisca de color café, de grano fino a medio, con bloques de arenisca de tamaños variados. ***Corte, no se detectó nivel freático.**	
Apique (APA-2) **--Prof.** -1.70m.	***-0.00-1.50m**: Material de relleno antrópico (escombros), compuesto por fragmentos de arenisca, en matriz limo arcilloso, café, de humedad media ***-1.50m-1.70m:** Arcilla limosa, color café, con oxidaciones de humedad alta.	

Perforación.	Características litológicas	Fotografía sitio
APA-1/BRA-1/SA-1		
BRA-1 **Prof.** -5.00m.	***--0.00m-2.00m**: Material de relleno compuesto por recebo, de color amarillo, con matriz arenosa, con gravas de areniscas. A nivel superficial conformado por limo orgánico, café oscuro, con raíces. ***-De 2.00m-5.00m (K2E1gm).** ***--2.00m-3.00m:** Areniscas de grano fino, de color amarillo claro, muy fracturadas. ***--3.00m-5.00m:** Niveles de arenisca, color café claro, de grano fino, ocasionalmente grano medio. ***-No se detectó el nivel freático.**	
BRA-2 **Prof.** -5.50m	***--0.00-0.15m**: A nivel de superficie, relleno compuesto por limo orgánico café oscuro con bloques de arenisca. ***--0.15m-3.50m:** Material de relleno antrópico, (recebo), conformado por bloques de areniscas, de color amarillo, de tamaño heterométrico, en matriz areno-limosas color amarillo. ***--3.50m-5.50m (K2E1gm):** Niveles de arcilla de color café claro, con delgadas intercalaciones de areniscas, color amarillo claro, grano fino,	

Perforación.	Características litológicas	Fotografía sitio
APA-1/BRA-1/SA-1		
	muy fracturadas, con oxidaciones. *-**No se detectó nivel freático**. ***--0.00m-4.00m:** Material de relleno, compuesto por bloques de areniscas, de tamaño heterogéneo, en matriz arcilla y limo, color café, de humedad baja, ocasionalmente limo orgánico, de humedad media. *-***-4.00m-30.50m (K2E1gm, Formación Guaduas, Conjunto medio).** **-* De 4.00m-11.00m:** Arcilla de color gris claro y amarillo, con intercalaciones lenticulares de areniscas, grano fino, color amarillo, de humedad media. **-*De11.50m-30.50m:** Secuencia de arcillolita/lodolitas, de color rojizo, con vetas grises, altamente meteorizadas, y friable, de humedad baja. A partir de los 23.00m, la secuencia rocosa se presenta altamente fracturadas. **Corte**, nivel de agua al terminar a 6,00 m.	
SONDEO (SA-1) -30.50m		

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, obtienen las siguientes conclusiones:

- De acuerdo con los barrenos (BRA-1 y BRA-2), con profundidades de 5.00m y 5.50m, ubicados en los sitios norte y sur del sitio inestabilizado, la zona se encuentra constituida en sus extremos por material antrópico, tipo relleno, compuesto por bloques de areniscas, de tamaño heterogéneo, en matriz arcilla y limo, color café, de humedad baja, ocasionalmente limo orgánico, de humedad media; cuyo espesor oscila entre 2.00m y 3.50m (sectores extremos al norte y sur del mismo).

- El sondeo (SA-1), localizado en el punto central del sitio inestabilizado, con una profundidad de 30.50m, presenta en sus primeros 4.00m, material de relleno, compuesto por bloques de areniscas, de tamaño heterogéneo, en matriz arcilla y limo, color café, de humedad baja. Entre los 4.00m-11.00m, se presentan niveles de arcilla de color gris claro y amarillo, con intercalaciones lenticulares de areniscas, grano fino, color amarillo, de humedad media. Entre los 11.00m-30.50m, se encuentra una secuencia de arcillolita/lodolitas, de color rojizo, con vetas grises, altamente meteorizadas, con delgadas intercalaciones de areniscas, grano fino, y friables, de humedad baja. A partir de los 23.00m, la secuencia rocosa se presenta altamente fracturadas.

2.2.4.1.2.3 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 (Arborizadora Alta) se realizó la línea sísmica (LSA-1), ubicada en la parte media del polígono de estudio.

- **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).

En la *Figura 32* se presenta la localización de la línea sísmica (LSA-1) del sitio Arborizadora Alta. En la siguiente tabla se presenta las coordenadas de la ubicación de las líneas sísmicas del programa de exploración.

Tabla 16. 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

Fuente: Elaboración propia

- **RESULTADOS**

De acuerdo con la tabla anteriormente presentada, en el sitio Arborizadora Alta se realizó la Línea Sísmica LSA-1, cuyos resultados se muestran en el siguiente ítem.

- **LÍNEA SÍSMICA LSA-1.**

La cobertura de baja velocidad alcanza en esta línea su mayor espesor (4 – 8 m). El cuerpo de alta velocidad (superior a 1 800 m/s) presenta su techo a 8 – 10 m bajo el sector central, con un alto relativo del material competente hacia la abscisa x ≈ 85 m. El ajuste de la inversión tomográfica fue de 4.6 ms (χ^2 = 3.4) con 50 tiempos de arribo.

Los resultados correspondientes se muestran en las siguientes figuras:

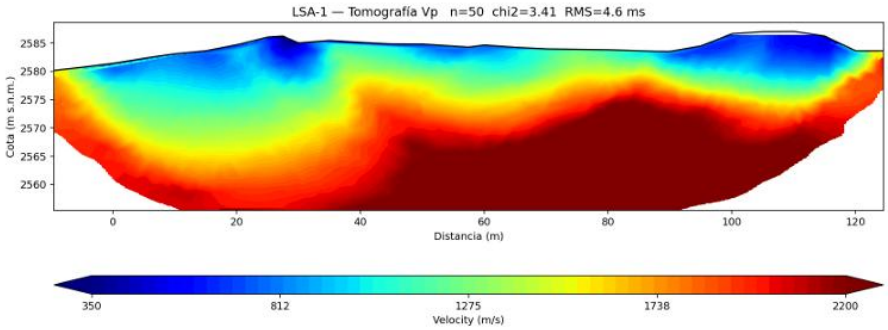


Figura 33. Línea LSA-1 — Tomografía de refracción sísmica (Vp).

El modelo de velocidad de onda de corte adoptado ajusta la curva de dispersión observada con un desajuste de 79 m/s y se resume en la siguiente tabla.

Tabla 17. Línea LSA-1 — Perfil de velocidad de onda de corte.

Capa	Profundidad (m)	Vs (m/s)	Descripción
1	0.0 – 4.0	135	Rellenos y cobertura superficial
2	4.0 – 9.5	400	Suelo residual
3	> 9.5	1 046	Roca / material muy competente

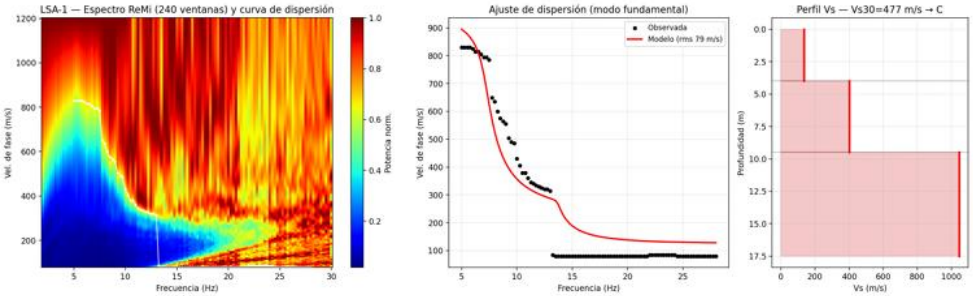


Figura 34. Línea LSA-1 — Espectro ReMi, ajuste de dispersión y perfil Vs.

Vs30 = 477 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**

En la siguiente tabla se presenta la información sobre los espesores de los materiales inconsolidados de los sitios de investigación, entre los que se tienen el sitio de Arborizadora Alta.

Tabla 18. 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

2.2.4.2 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 en el desarrollo del proyecto.

2.2.4.2.1 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 y del subsuelo.

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.

2.2.4.2.1.1 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 importante de las propiedades geomecánicas, y por consiguiente un factor para la determinación la calidad de los materiales en función de la estabilidad de los terrenos, 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.

ESPACIO EN BLANCO DEJADO INTENCIONALMENTE

Tabla 19. 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		• 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		SAPROLITO GRUESO		
					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. 9.

2.2.4.2.1.2 Caracterización de las unidades geológicas

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 (Arborizadora Alta) 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 de naturaleza antrópica (relleno antrópico, Qra, y relleno ingenieril, Qri).

Las siguientes figuras se muestran las unidades geológicas identificadas en el sitio de estudio. Adicionalmente, se presentan fotografías de los afloramientos rocosos observados en el sector norte y de los depósitos de origen antrópico reconocidos en el área de evaluación. Finalmente, se expone el mapa geológico del sitio junto con los perfiles geológicos elaborados y se describen los materiales geológicos del sitio.

Posteriormente, 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.

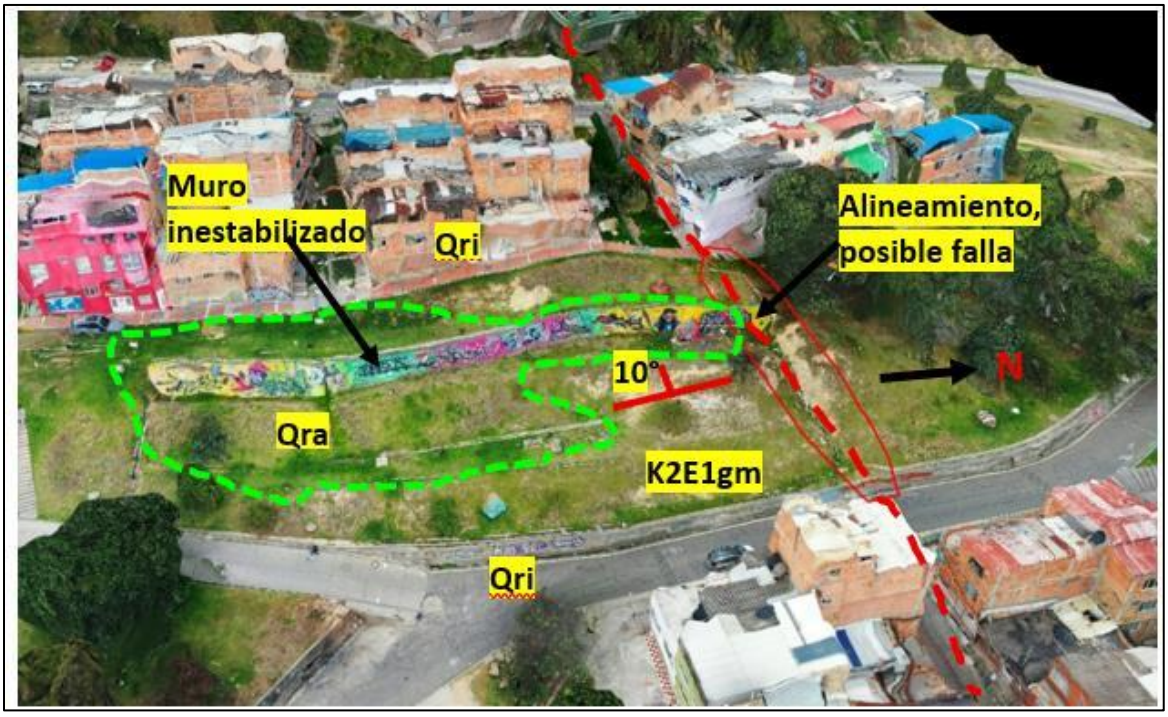


Figura 35. Ilustración en imagen de la diferenciación de las unidades geológicas del sitio de Arborizadora Alta.
***CONVENCIONES:* (Qra),** *material de relleno antrópico;* **(Qri),** *material de relleno ingenieril;* **(K2E1gm),** *rocas de la Formación Guaduas, conjunto medio*

Fuente: Elaboración propia

2.2.4.2.1.2.1 Macizo rocoso (r)

De acuerdo con la información de referencia, las investigaciones de campo (Reconocimiento detallado y las diferentes investigaciones geotécnicas, entre las que se tienen, apiques, barrenos y un sondeo), las rocas conformantes de los terrenos del sitio (Arborizadora Alta) y sus alrededores están constituidas por la siguiente secuencia estratigráfica /litológica:

i) La secuencia superior, con espesores hasta de 5.50m (BRA-1 y BRA-2, realizados en la parte norte y sur del muro inestabilizado), lo conforman: niveles interestratificados de areniscas de grano fino, de color amarillo claro, y niveles de arcillolitas/lodolitas, de color café claro, color

amarillo claro; las rocas se presentan en estratos delgados a medios, de consistencia media a dura, y en general muy fracturadas.

ii) Con profundidad mayor a los 5.50m y hasta los 30.50m (SA-1, realizado en la parte central del polígono), la secuencia rocosa está conformada por niveles de arcillolitas/lodolitas de color gris claro y amarillo, con delgadas intercalaciones lenticulares de areniscas, grano fino, color amarillo. Es de anotar, que entre los 11.00m y 30.50m, la secuencia presenta, de color rojizo, con vetas grises, altamente meteorizadas, y a partir de los 23.00m, las rocas se presentan con alto grado de fracturamiento (ver perfiles geológicos).

En cuanto a los aspectos estructurales locales, las rocas presentan como elementos de rumbo/buzamiento (R/B), N35°-40°W/10°-20° al SW, cuyos estratos buzan en sentido contrario a la pendiente de los terrenos.

Igualmente, de acuerdo con los análisis de la fotointerpretación, las rocas del sector se encuentran involucradas por una posible estructura de fallamiento de magnitud secundaria (lineamiento fotogeológico), la cual impacta a las rocas generando un alto fracturamiento, como él que se aprecia en los afloramientos presentes; esta estructura presenta una orientación o rumbo NE/SW, con buzamiento aproximadamente vertical.



Figura 36. Ilustración en fotografías, del macizo rocoso de afloramientos de rocas de tipo arcillolitas con intercalaciones de areniscas, presentes en el sector norte del sitio.
Fuente: Elaboración propia

2.2.4.2.1.2.2 Unidad de suelos (s) (depósitos antrópicos)

De este tipo de materiales se presentan, depósitos de tipo escombros (Qra) y de relleno ingenieril (Qri).

- **Depósitos de escombros (Qra).**

Corresponden a los materiales acumulados en los espacios anterior y posterior del muro construido para atender la inestabilidad del sitio. Son de composición y tamaño heterogéneos, en matriz areno-limosa, de muy baja consolidación, y cuyo espesor oscila entre los 2.00m para los sectores norte y sur del sitio (BRA-1 y BRA-2), y de 4.00m para el sector central (SA-1), ver fotografía depósitos/acumulaciones de escombros/basuras, de constitución heterogénea, resultantes del desarrollo urbano, los cuales han sido expuestos en los espacios libres de construcción y hacia la parte baja del talud de excavaciones.

- **Depósitos de relleno ingenieril (Qri).**

Se hace referencia a los materiales conformantes de las capas de base y subbase para el desarrollo de cimentación de las viviendas y las vías del sitio de estudio y sus alrededores; son de composición variada y espesores que pueden oscilar entre 1.0m/1.50m.

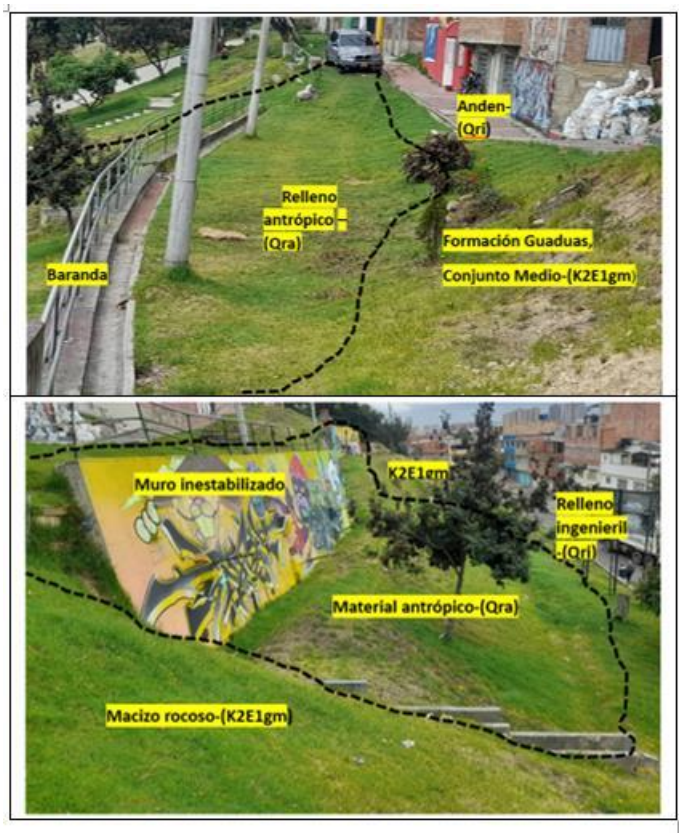


Figura 37. Ilustración en fotografías, de los depósitos antrópicos y demás elementos de la parte superior e inferior del sitio inestabilizado.

Fuente: Elaboración propia.

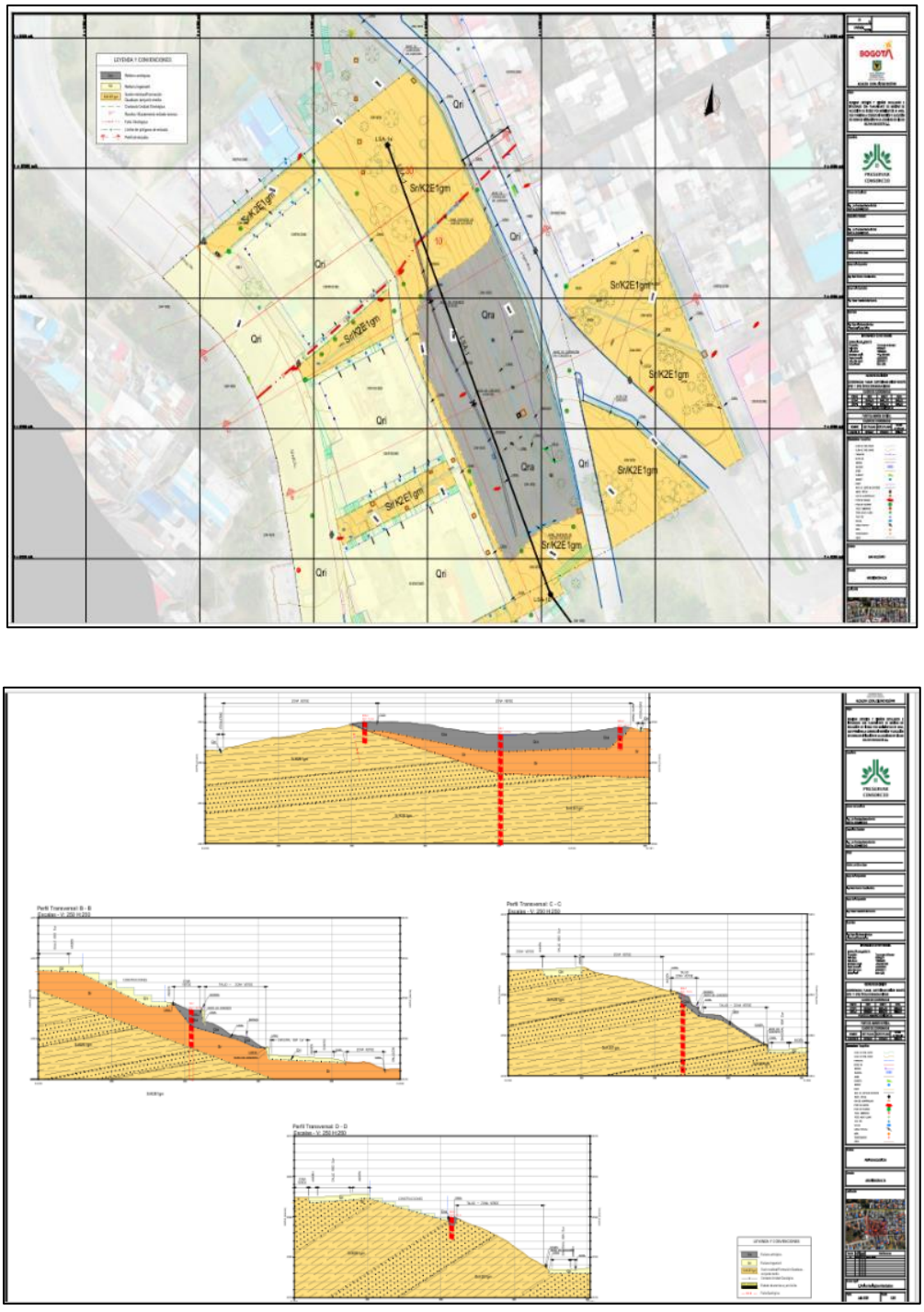


Figura 38. Mapa y perfiles geológicos del sitio de Arborizadora Alta.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.2.2 Condiciones geomorfológicas

Desde el punto de vista geomorfológico, el sitio de estudio y sus alrededores presenta como características morfológicas: i) Una geoforma o ladera de contrapendiente (Slc), generada por la inclinación de los estratos rocosos en sentido contrario de la pendiente del terreno.

- **Subunidades de origen Estructural (S)(Ladera de contrapendiente Slc)**

  Se hace referencia a las geoformas originadas por la influencia de la actividad tectónica sobre los macizos rocosos del área, generando expresiones en general de pendiente moderada a alta, así como subunidades /elementos de tipo ladera de contrapendiente 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 contraria al sentido de la pendiente de las laderas, las cuales son indicadas en el afloramientos rocoso presente en el sitio de estudio.

  Esta subunidad conforma los terrenos del sitio (Arborizadora Alta). Las rocas para este sitio muestran como datos estructurales (Rumbo/Buzamiento), N70°W/10°-20° al SW. Como procesos morfodinámicos se observa desarrollo de erosión, de tipo laminar y en surcos.

- Subunidades/elementos de origen antrópico (a)

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

En la siguiente se presenta el mapa geomorfológico del sector de estudio. Posteriormente, se ilustra en fotografías las subunidades/elementos geomorfológicos del sitio inestabilizado.



Figura 39. Mapa geomorfológico del sitio de estudio.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 40. Ilustración en fotografías de las subunidades/elementos geomorfológicos de la parte superior e inferior del sitio de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.2.2.1 Condiciones morfodinámicas (procesos de inestabilidad)

De acuerdo con las investigaciones temáticas del sitio (Arborizadora Alta), desde el punto de vista morfodinámico, el sitio de Arborizadora Alta, se encuentra influenciado principalmente por procesos de inestabilidad de, i) Proceso principal (reptación/deslizamiento) del sitio), y ii) agrietamientos de la vía peatonal y viviendas aledañas.

Proceso principal del sitio.

En la siguiente figura, se ilustran las condiciones morfodinámicas o de inestabilidad del sitio Arborizadora Alta.



Figura 41. Ilustración en fotografía de las condiciones morfodinámicas del sitio Arborizadora Alta. (Qra), material de relleno antrópico; (K2E1gm), rocas de la Formación Guaduas, Conjunto medio.
Fuente: Elaboración propia.

- **Proceso principal del sitio.**

Se hace referencia al movimiento de inestabilidad de mayor magnitud que ha afectado el sitio de estudio.

Corresponde a un movimiento compuesto de tipo reptación /deslizamiento rotacional(?), el cual involucra fundamentalmente a depósitos antrópicos (material de relleno) y a la estructura de tipo muro.
Los depósitos antrópicos corresponden a los materiales de relleno que fueron colocados para acondicionar el espacio entre el muro construido y el talud dejado de posibles excavaciones para la extracción de materiales de construcción.

De acuerdo con información de los vecinos del sector, el muro fue construido hace aproximadamente unos 15 años y para llenar el espacio, se depósitaron materiales no seleccionados y dejados sin ningún proceso de compactación. También no se conoce el tipo de materiales sobre los cuales se realizó la cimentación de la obra, ni tampoco se colocaron elementos de drenado para la conducción de las aguas de acumulación /infiltración dentro del depósito, los cuales se observan presencia de aguas de escorrentía superficial en la superficie del terreno aguas abajo del muro, los cuales igualmente, pueden generar inestabilidad en la base de la obra y dentro del cuerpo del depósito y del terreno.

Entre los efectos del proceso de inestabilidad principal, hundimientos en el terreno conformado ´por el material de relleno, la afectación del muro principal en su parte central, igualmente el muro de la baranda, y generación de agrietamientos en la vía peatonal ubicada en la parte superior.

En el ítem correspondiente al inventario de procesos morfodinámicos, se ilustrará en el listado cada uno de los procesos.

- **Procesos de agrietamientos de la vía peatonal y viviendas aledañas.**

Otro de los procesos principales que afecta el sitio de Arborizadora Alta, corresponde a los agrietamientos que involucran la vía peatonal de la parte superior del movimiento principal y las viviendas aledañas.
En la vía peatonal se presentan agrietamientos y hundimientos puntuales. En las casas aledañas se presentan agrietamientos en los muros, afectación en las puertas de las entradas y en las escaleras. entre otros.

2.2.4.2.2.2 Inventario de procesos morfodinámicos

En este ítem se enumeran y explican los procesos morfodinámicos presentes en el sitio (Arborizadora Alta), entre los que se tienen como principales.

- **Proceso principal y sus componentes**

Este proceso involucra el sector central del polígono y el muro construido para su estabilización. Entre los componentes que involucra este movimiento se tienen, los cuales se listan e ilustran en las fotografías correspondientes de la siguiente figura.

- Agrietamientos, en la vía peatonal ubicada en la parte superior (fotografía -1).
- Hundimientos del terreno, fotografía 1.
- Afectación del muro principal (fotografía 2).
- Afectación de la baranda (fotografía 3).
- Proceso de reptación que involucra la base del muro y la ladera aguas debajo de la estructura (fotografía 4).
- Generación y/o vertimiento de aguas (pequeño acuífero) por infiltración sobre el depósito del relleno (fotografía 5).



Figura 42. Ilustración de procesos morfodinámicos involucrados en el movimiento principal.



Figura 43. Ilustración del proceso de generación y/o vertimiento de aguas por infiltración sobre el depósito del relleno.

- **Procesos de agrietamientos en la vía peatonal y viviendas aledañas.**

Entre los procesos resultantes o derivados del movimiento principal se identifican diversos agrietamientos en los elementos expuestos. Las figuras siguientes presentan e ilustran las afectaciones observadas tanto en la vía peatonal como en las viviendas localizadas dentro del área de influencia.

- Agrietamientos y hundimientos en varios puntos de la vía peatonal ubicada en la parte superior (fotografía -1 y 2).
- Agrietamientos en los bordes del peatonal (fotografía -3).
- Agrietamientos en las escalinatas peatonales (fotografía -4).



Figura 44. Ilustración de los procesos de agrietamientos en el andén de la vía peatonal.

Para las afectaciones de algunas de las viviendas se tienen los siguientes elementos, los cuales se listan e ilustran en las siguientes fotografías.

- Afectaciones en las escalinatas de los peatonales (fotografía-1).
- Afectaciones en los muros de las escalinatas (Fotografía-2).
- Afectaciones en las bases de las viviendas (fotografía-3).
- Afectaciones en la unión de los muros de las viviendas (Fotografía-4)



Figura 45. Ilustración de las afectaciones en algunas viviendas aledañas.

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 Arborizadora Alta se encontró 1 cobertura vegetal. En las siguientes tablas se presentan la interpretación del año 2017 y los resultados del 2026.

Tabla 20. Coberturas de la tierra año 2017

UNIDAD VEGETAL	NIVELES CORINE LAND COVER (CLC)					AREA (m2)	%
	2	3	4	5	6		
ARBORIZADORA ALTA							
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.3. Pastos	2.3.1 Pastos limpios				2206,15	100
TOTAL						2206,15	100

Fuente: Consorcio Preservar, 2026

Para Arborizadora Alta se tiene un área de 2206.15 m^2, siendo la más pequeña entre los tres sectores bajo estudio.

Figura 46. Coberturas de la tierra 2017 y 2026 Arborizadora Alta.



Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

En la

Figura 46 inicialmente se observa un área verde artificializada correspondiente a una franja de control ambiental o talud, estabilizado mediante cobertura herbácea y arborización urbana, con presencia de infraestructura de manejo de aguas lluvias (disipadores, cajas, escaleras), además, se evidencia mantenimiento y manejo silvicultural. Por lo tanto, la cobertura actual forma parte del sistema de espacio público urbano y no solo un pastizal.

Tabla 21. Coberturas de la tierra año 2026.

UNIDAD VEGETAL	NIVELES CORINE LAND COVER (CLC)					AREA (m2)	%
	2	3	4	5	6		
ARBORIZADORA ALTA							
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas	1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas			2206,15	100
TOTAL						2206,15	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 los canales proyectados de escorrentía superficial denominados Canal Norte y Canal Sur, se halló el área aportante de lluvias superficiales a cada uno, las que se presentan en la planta de la Figura 47 con

magnitudes de 756 y 990 m^2 respectivamente; la totalidad de ambas áreas corresponden a techos y calles en concreto, anotando que para la implantación de los canales mencionados, las áreas aportantes son las mismas aferentes a los canales existentes, por lo que los caudales igualmente aportantes se mantienen.

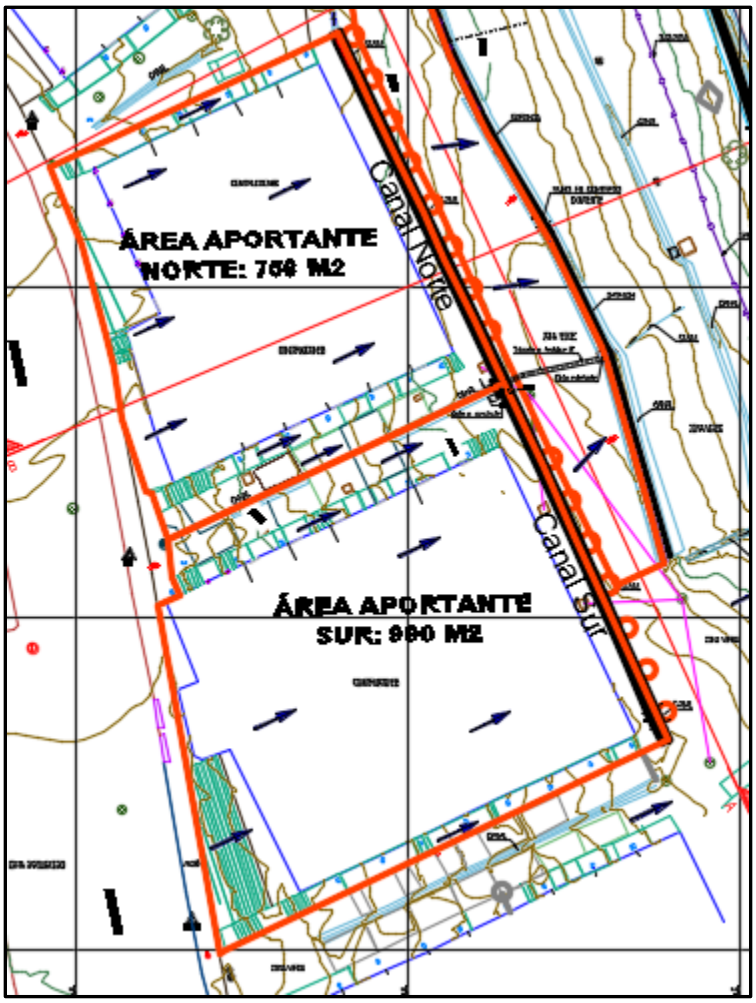


Figura 47. *Planta de los canales de aguas lluvias proyectados, con las respectivas áreas aportante de escorrentía superficial.*

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 pluviométrica Tunal El Candelari (Código 21200590) del INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO – IDIGER, con registros históricos desde abril de 1957, como se observa en el mapa de la **Figura 48**.

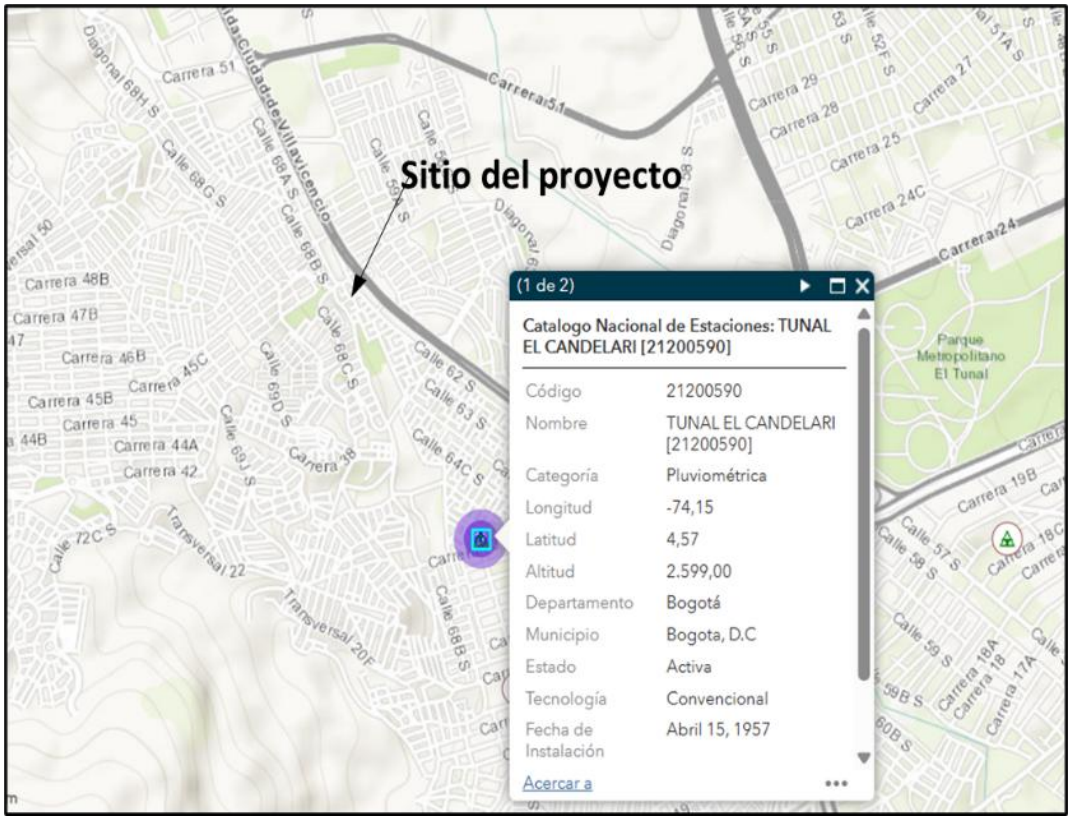


Figura 48. *Estación pluviométrica del IDIGER*
Fuente*: Página web del IDEAM.*

Es de anotar que la estación Tunal-El Candelari aparece de propiedad del IDIGER; se le solicitó la información a dicha entidad y manifestó no ser de tu autonomía; se acudió igualmente a la EAAB y al IDEAM, entidades que manifestaron no tener conocimiento de dicha estación meteorológica, por lo tanto no fue posible adquirir los registros históricos de las precipitaciones; sin embargo, para el sitio del proyecto de la red de estaciones de la EAAB, se adquirió en esta entidad la ecuación puntal de las curvas IDF.

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 Arborizadora Alta - Candelaria La Nueva, cuya ecuación y coeficientes se presentan en la Tabla 22, disgregados para diversos períodos de retorno.

Tabla 22. Ecuación de las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia IDF en el sitio del proyecto Arborizadora Alta – Candelaria La Nueva, según la EAAB.

acueducto
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

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
2	991496,997437	1512.20	18.5	-0.96892	2021.58	19.3	-0.99690	2425.88	19.0	-1.00167	2993.02	18.8	-1.00953	3501.48	19.1	-1.01861	3920.85	18.9	-1.02199

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.

2.4.5 CALCULO CAUDALES DE ESCORRENTÍA

2.4.5.1 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:

2.4.6 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[1] son los siguientes:

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

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

Puentes:	100 años

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

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.

2.4.7 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:

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

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

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.

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

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.

2.4.8 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía en cada área aportante 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 la Hidrología Aplicada de Ven Te Chow (1988), según se describen en la **Tabla 23.** , siendo las áreas aportantes de escorrentía para los dos canales, la correspondiente a superficies Concreto/techo y para el período de retorno de 10 años, dicho coeficiente es de 0.83.

Tabla 23. Coeficientes de Escorrentía propuestos

Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional

	Periodo de retorno (años)						
Característica de la superficie	**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.

2.4.9 PROCEDIMIENTO CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO

El procedimiento de cálculo se desarrolló obteniendo inicialmente los caudales máximos de las áreas aportantes a los canales Norte y Sur, para el período de retorno de diseño de 10 años, aplicando el método racional descrito en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Cálculo de los caudales máximos de escorrentía superficial esperados en los canales proyectados Norte y Sur, para el período de retorno de diseño de 10 años

Zona	Canal o estructura	Período de Retorno	Áreas aportantes								Intensidad (mm/h)	Qentrada canal (m^3/s)
			Area (m^2)	Coeficiente Escorrentía	CxA	Σ CxA	L (m)	ΔH (m)	S (m/m)	Tconc. (min)		
Arborizadora	Norte	**10**	756	0.83	627.480	627.5	21.0	5.00	0.2381	10.0	81.5	0.014
	Sur	**10**	990	0.83	821.700	821.7	27.1	10.00	0.3690	10.0	81.5	0.019
	Caudal total canales norte y sur											**0.033**

2.4.10 MODELACIÓN HIDRÁULICA

2.4.10.1 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, adoptado para los diseños.

2.4.10.2 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.

2.4.10.3 Resultados de la modelación hidráulica unidimensional para los canales de aguas lluvias

Para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno en los canales proyectados Norte y Sur con magnitudes 0.014 y 0.019 m^3/s respectivamente, mediante la modelación hidráulica unidimensional con el programa Hec Ras V6.5, resultados que se describen en la **Tabla 25** y **Tabla 26** respectivamente, se obtuvo en los tramos en estudio de 29.2 y 29.6 m, un régimen de flujo supercrítico o rápido para el Canal Norte y mixto entre subcrítico o lento y supercrítico o rápido para el Canal Sur, dados los intervalos de los números de Froude entre 1.01 y 6.09 y de 0.41 y 4.54; las velocidades medias del flujo oscilaron entre 0.78 y 2.57 m/s y entre 0.85 y 2.34 m/s (inferiores al valor permisible de 5 m/s para el concreto); la lámina de agua máxima es de 0.06 y 0.14 m en los Canales Norte y Sur respectivamente.

En las plantas de la **Figura 49** y **Figura 50** se presenta el abscisado del modelo Hec Ras de los canales Norte y Sur respectivamente y en la **Figura 51** y **Figura 52**, los perfiles longitudinales de dichos canales con 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, dada que la descarga de ambos canales es libre.

Tabla 25. Resumen de los resultados de la modelación hidráulica unidimensional del canal de aguas lluvias Norte, con los parámetros hidráulicos y geométricos más relevantes, para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno.

HEC-RAS Plan: Q_10_Norte River: Canal_Norte Reach: Arborizadora Profile: PF 1

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)	
Arborizadora	29.2	PF 1	0.01	2591.15	2591.21	2591.21	2591.24	0.011592	0.78	0.78	0.017		4.88		0.06	0.30	1.01
Arborizadora	25.9	PF 1	0.01	2590.75	2590.77	2590.81	2591.01	0.263448	2.15	2.15	0.017		49.03		0.02	0.30	4.65
Arborizadora	19.2	PF 1	0.01	2589.75	2589.77	2589.81	2590.11	0.466120	2.57	2.57	0.017		74.03		0.02	0.30	6.09
Arborizadora	10.5	PF 1	0.01	2588.75	2588.78	2588.81	2588.90	0.084283	1.49	1.49	0.017		21.38		0.03	0.30	2.70
Arborizadora	0	PF 1	0.01	2587.98	2588.02	2588.04	2588.10	0.049210	1.25	1.25	0.017		14.39		0.04	0.30	2.08

Tabla 26. Resumen de los resultados de la modelación hidráulica unidimensional del canal de aguas lluvias Sur, con los parámetros hidráulicos y geométricos más relevantes, para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno.

HEC-RAS Plan: Q_10_Sur River: Canal_Sur Reach: Arborizadora 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)	
Arborizadora	29.6	Q10	0.02	2588.70	2588.78	2588.78	2588.81	0.011320	0.85	0.85	0.017		5.54		0.07	0.30	0.99
Arborizadora	12.8	Q10	0.02	2587.80	2587.83	2587.88	2588.11	0.242482	2.34	2.34	0.017		54.56		0.03	0.30	4.54
Arborizadora	8.4	Q10	0.02	2587.75	2587.89	2587.83	2587.90	0.002157	0.47	0.47	0.017		1.50		0.14	0.30	0.41
Arborizadora	0.7	Q10	0.02	2587.75	2587.83	2587.83	2587.86	0.011320	0.85	0.85	0.017		5.54		0.07	0.30	0.99
Arborizadora	0	Q10	0.02	2587.73	2587.79	2587.81	2587.85	0.021986	1.06	1.06	0.017		9.19		0.06	0.30	1.39

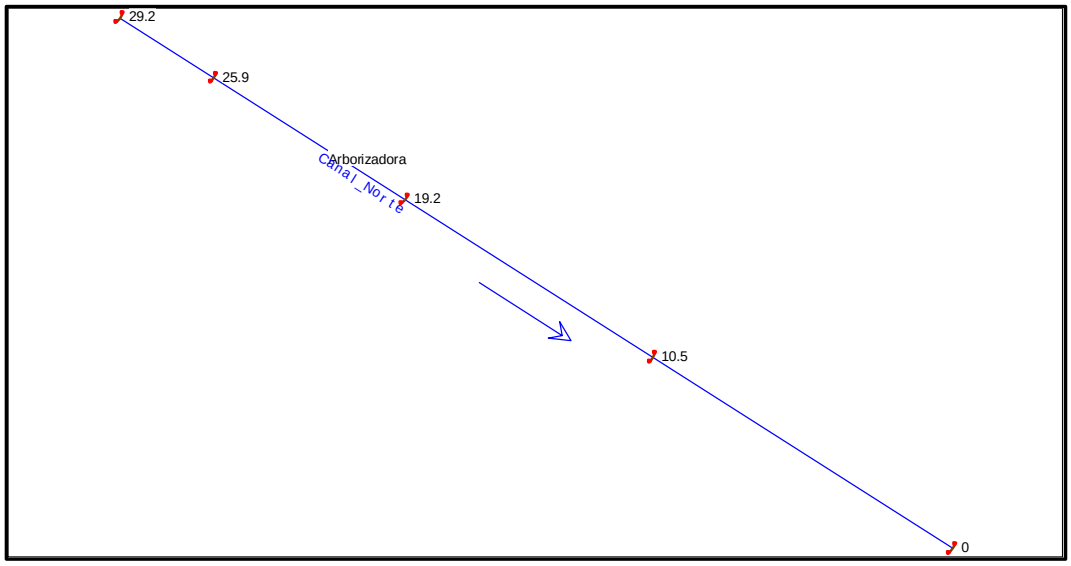


Figura 49. Planta del canal proyectado de aguas lluvias Norte en la modelación hidráulica unidimensional, con el abscisado en el programa Hec Ras.

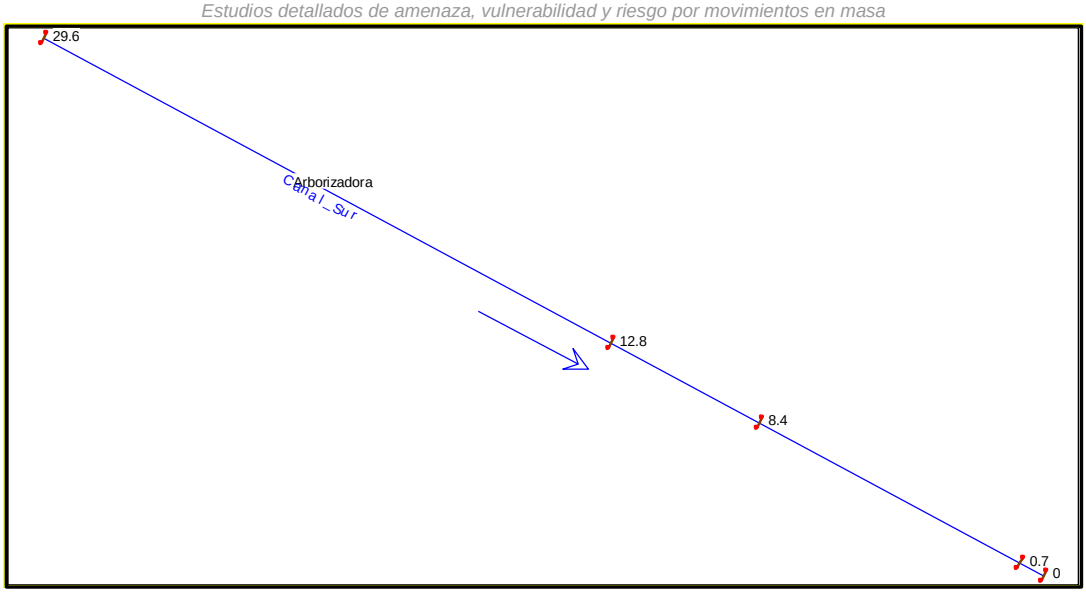


Figura 50. Planta del canal proyectado de aguas lluvias Sur en la modelación hidráulica unidimensional, con el abscisado en el programa Hec Ras.

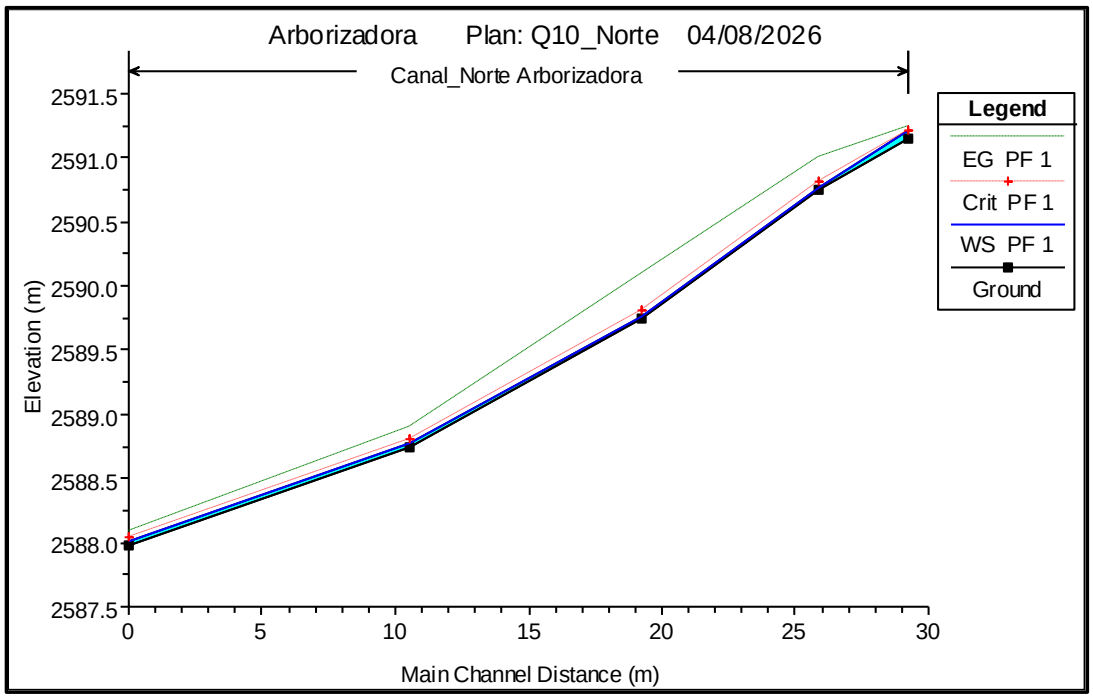


Figura 51. Perfil longitudinal del canal proyectado de aguas lluvias Norte en la modelación hidráulica unidimensional, con el nivel de agua para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno.

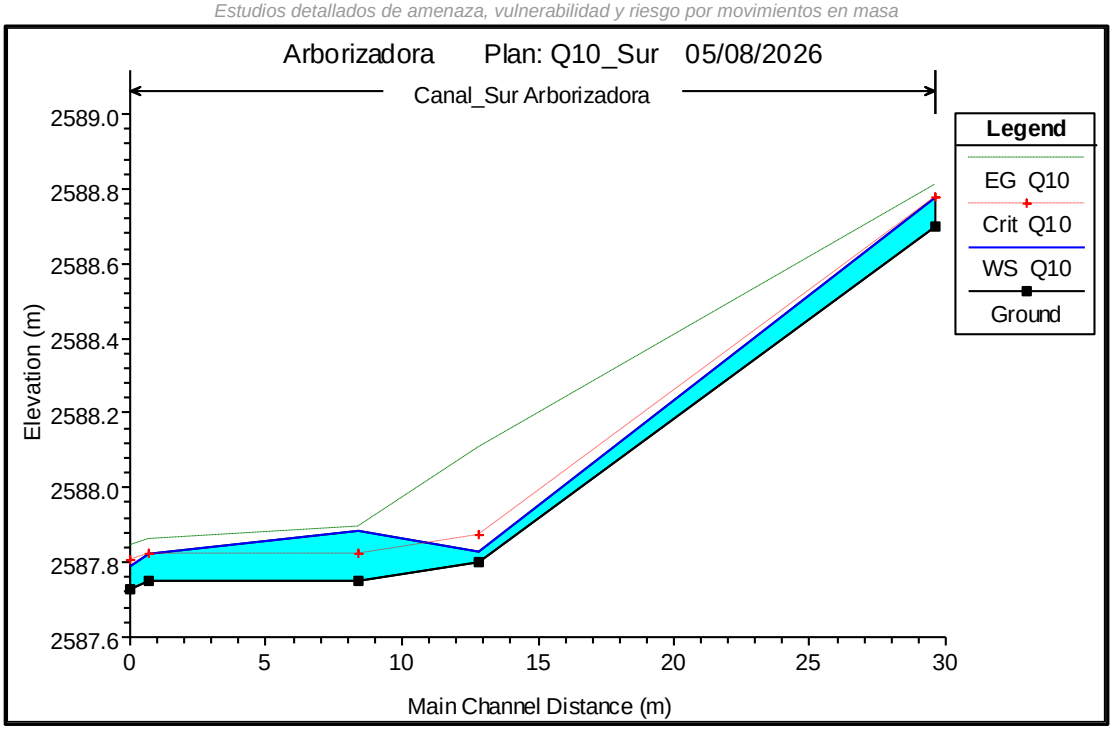


Figura 52. Perfil longitudinal del canal proyectado de aguas lluvias Sur en la modelación hidráulica unidimensional, con el nivel de agua para el caudal máximo de diseño de 10 años de retorno.

2.4.10.4 Diseño tubería descarga a la caja existente

Para proyectar el diámetro de la tubería de descarga desde la caja a implantar donde llegan los caudales de ambos canales hacia la caja existente, se aplicó la ecuación de Manning, ajustada a tuberías dejando como incógnita el diámetro a tubo lleno, según la siguiente expresión:

$$D = (3.21\, Q\, n / S^{0.5})^{3/8}$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería (m)

Q = Caudal (m^3/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

S = Pendiente hidráulica (m/m)

Para el presente estudio, el caudal máximo de diseño corresponde al período de retorno de 10 años, con valor de 0.033 m^3/s como aporte de ambos canales, el coeficiente de rugosidad de Manning adoptado es de 0.016, un tanto superior al normal de 0.013, asumiendo un tiempo de uso de la tubería; la pendiente hidráulica se proyectó igual a la menor pendiente de la tubería asociada al terreno de 18.5%, resultando en el cálculo un diámetro comercial de 6” (150 mm) para un caudal a tubo lleno de 0.056 m^3/s, superior al

caudal máximo de diseño de 10 años de retorno de 0.033 m^3/s, siendo este último el 59.4% del de tubo lleno; sin embargo, para fines prácticos se dejó una tubería de diámetro 8" (200 mm).

2.5 EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA

2.5.1 GENERALIDADES

En este numeral se presenta la caracterización hidrogeológica del área de ubicación del sitio de estudio (Arborizadora Alta), 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 del proyecto.

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

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 del sitio de estudio.

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.

2.5.2 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

Para la evaluación de las condiciones hidrogeológicas del sitio de estudio (Arborizadora Alta), se tuvo en cuenta fundamentalmente los parámetros geológicos y geomorfológicos que pueden tener influencia en la caracterización.

- **Desde el punto de vista geológico**, se tienen en cuenta: las rocas de Formación Guaduas, en su Conjunto Medio(K2E1gm), la cual aflora ampliamente en el área donde se ubica el sitio y sus alrededores y en muy baja proporción por depósitos antrópicos de tipo escombros (Qra).

De acuerdo con la información de las observaciones de campo y la obtenida en las investigaciones del subsuelo (BRA-1, BRA-2 y SA-1) se tiene las siguientes condiciones:

  - -A nivel de superficie y en sus alrededores, la secuencia rocosa y hasta una profundidad de 5.50m, está conformada por niveles interestratificados de areniscas

de grano fino, y de arcillolitas/lodolitas, en estratos delgados a medios, de consistencia media a dura, y en general muy fracturadas.
Para la parte central del sector afectado por inestabilidades, el material está conformado por depósitos antrópicos de relleno, con espesores entre los 2.00m y los 4.00m.

- A partir de los 5.50m de profundidad y hasta los 30.50m, la secuencia rocosa está conformada por niveles de arcillolitas/lodolitas, de color gris claro y amarillo, con delgadas intercalaciones lenticulares de areniscas, grano fino, color amarillo, y de consistencia moderada. Es de anotar, que entre los 11.00m y 30.50m, la secuencia presenta, de color rojizo, por alta meteorización, y en general fracturadas.

- **Desde el punto de vista geomorfológico**, los terrenos del área de ubicación del sitio están conformados principalmente por laderas de contrapendiente (Slc), cuyos estratos rocosos buzan en sentido contrario a la pendiente de las laderas.

2.5.2.1 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, sus condiciones de fracturamiento y sus características estructurales, y ii) por los depósitos antrópicos (Qra) que rellenan la zona central del polígono , materiales inconsolidados, de muy baja consistencia.

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

- *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.

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

- Muy baja permeabilidad.
- Elevada capacidad de retención de agua.
- 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 consiguiente, el régimen hidrogeológico para la zona de estudio presenta las siguientes condiciones:

- Las areniscas constituyen los principales conductores del flujo subterráneo.
- Las arcillolitas separan hidráulicamente los diferentes niveles acuíferos.
- El flujo subterráneo sigue preferentemente la dirección del buzamiento de los estratos, pero para el caso del sitio de los terrenos de Arborizadora Alta, presenta condiciones adversas por la posición contraria del buzamiento de los estratos con respecto a la pendiente de las laderas.
- *Es de anotar*, que del depósito del relleno se presenta la generación y/o vertimiento de aguas (pequeño acuífero) por infiltración de las aguas superficiales.

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 Arborizadora Alta – Candelaria La Nueva, localizado en la Localidad de Ciudad Bolívar (Bogotá D.C.), en el sector de la Carrera 43–44 con Calle 68B Sur. 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 Arborizadora Alta corresponde a reptación (deformación plástica lenta), con componente rotacional y empuje sobre la estructura de contención existente, dominado por el comportamiento reológico de los depósitos superficiales y del Conjunto Medio de la Formación Guaduas. La evidencia más severa es la deficiencia del muro de contención de la Carrera 44 / Calle 68B Sur, cuyas patologías —grietas y desplazamientos de algunos elementos— responden a empujes laterales excesivos y al incremento de las presiones de poros en el trasdós. Se identifican procesos de reptación que afectan la cimentación de las viviendas de la parte alta; la alteración de los drenajes naturales por la urbanización ha saturado el horizonte arcilloso, reduciendo drásticamente su resistencia al corte. Las evidencias cinemáticas —corona de movimiento de ladera, cuerpo del movimiento potencial, agrietamientos en la estructura del muro y barandas desplazadas— se esquematizan en la siguiente figura.



Figura 53. Ilustración del proceso morfodinámico y de las condiciones del muro de contención existente (Carrera 44 / Calle 68B Sur) en Arborizadora Alta: corona, cuerpo del movimiento potencial, agrietamientos y dirección general del movimiento.

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

El levantamiento de detalle permitió cartografiar en planta las grietas de tracción del terreno y la dirección del movimiento en la adyacencia del muro de contención existente, como se presenta en la siguiente figura. El patrón de grietas, dispuesto de forma paralela al muro y con desplazamiento hacia la ladera, es consistente con el empuje del terreno sobre la estructura de contención.



Figura 54. Grietas de tracción y dirección del movimiento en adyacencia al muro de contención existente, en vista de ortomosaico (Arborizadora Alta).

Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista geológico, el sector se emplaza sobre el Conjunto Medio de la Formación Guaduas, dominado por arcillolitas de consistencia blanda a media, sobre el cual reposan depósitos cuaternarios y rellenos antrópicos superficiales. Las facies finas y plásticas de este conjunto, con alta susceptibilidad a la meteorización y a los cambios de humedad, condicionan el desarrollo de procesos de deformación lenta (reptación) y la generación de empujes sobre las estructuras de contención.

Geomorfológicamente, Arborizadora Alta se emplaza sobre un Área Urbanizada (Aur), de origen antrópico y sin unidad geomorfológica natural. La configuración de la superficie urbana (vías, muro y viviendas) enmascara el relieve natural; sin embargo, la interacción entre esta morfología antrópica, los depósitos cuaternarios y el sustrato de arcillolitas de la Formación Guaduas resulta determinante, manifestándose como deformaciones plásticas lentas y reptaciones que afectan la infraestructura urbana y la estructura de contención. Conforme al Decreto 523 de 2010, el sector se localiza en la Zona Geotécnica Cerros B.

El inventario consolidado registra para Arborizadora Alta once (11) pronunciamientos técnicos emitidos entre 2013 y 2023 (un concepto técnico y diez diagnósticos), con seguimiento institucional al muro de contención de la Calle 68B Sur y reiteradas advertencias sobre la saturación del terreno por deficiencias en las redes. La relación se presenta en la presente tabla.

Tabla 27. Inventario de antecedentes técnicos del sector de Arborizadora Alta – Candelaria La Nueva.

#	Documento	Año	Dirección	Escenario
1	CT-7143	2013	Sector Arborizadora Alta	—
2	DI-7143	2014	CL 68C Sur y Dg 68A Sur (Kr 42–44A)	RPMM
3	DI-7984	2015	KR 43A con Dg 68 Sur	RPMM
4	DI-11196	2017	CR 43B Bis No. 68C-13 Sur	RPMM
5	DI-13305	2019	Carrera 43B	RPMM
6	DI-13700	2019	KR 44A 68C Sur-20	RPAC
7	DI-15959	2021	KR 43C 68B-05 Sur	RPMM
8	DI-17137	2022	CL 68B Sur 44A-00 (Muro de contención)	RPMM
9	DI-18603	2023	Sector Arborizadora	RPMM
10	DI-19264	2023	KR 43C 68B-08 Sur	RPAC
11	DI-19573	2023	Sector Arborizadora	RPAC

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

3.1.2 CARGAS ACTUANTES

Las cargas relevantes en el Polígono 5 corresponden a las edificaciones residenciales de la parte alta, al empuje del terreno sobre el muro de contención existente y al tránsito local. Para las edificaciones se estima una carga de 1,0 t/m² por piso; el empuje sobre el muro depende del relleno del trasdós y de su nivel de saturación, factor determinante de las patologías observadas.

Tabla 28. Cargas y sobrecargas actuantes adoptadas para el inventario y los análisis de estabilidad.

Fuente de carga	Descripción	Valor adoptado	Referencia
Edificaciones residenciales (parte alta)	Vivienda de 1 a 3 pisos sobre la corona de la ladera	≈ 1,0 t/m² por piso (≈ 10 kPa/piso; 1–3 pisos: 1,0–3,0 t/m² ≈ 10–30 kPa)	Estimación / campo
Empuje sobre el muro de contención	Empujes laterales y presiones de poros en el trasdós	Variable (según relleno y saturación)	DI-17137 (2022)
Tránsito local	Circulación en vías y andenes adyacentes	q = 15 kPa (1,5 t/m²)	NSR-10, num. H.5.1.2

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 la ladera de la Carrera 43–44 con Calle 68B Sur, incluyendo el muro de contención, las viviendas de la parte alta y la infraestructura peatonal del pie. Las redes de servicios son un elemento crítico: la alteración de los drenajes naturales y las fugas saturan el horizonte arcilloso, reduciendo su resistencia y generando empujes sobre el muro.

Tabla 29. Elementos del área de influencia y redes de servicios inventariados.

Elemento	Descripción	Afectación / interacción con el proceso
Muro de contención (Calle 68B Sur / Cra 44)	Estructura existente en la base de la ladera	Superado por empujes; grietas y desplazamientos
Redes de servicios	Drenajes naturales alterados por la urbanización	Saturación del horizonte arcilloso; reducción de resistencia

Elemento	Descripción	Afectación / interacción con el proceso
Viviendas parte alta	Edificaciones sobre la corona	Afectación de la cimentación por reptación
Andenes y escaleras (pie)	Infraestructura peatonal en el pie de la ladera	Bordillos y barandas desplazados; pérdida de soporte

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 ESTRUCTURAS AFECTADAS

El inventario de estructuras afectadas recoge los pronunciamientos del IDIGER sobre las viviendas de las Carreras 43A a 43C y sobre el muro de contención de la Calle 68B Sur. La relación se presenta a continuación:

Tabla 30. Estructuras afectadas documentadas en los diagnósticos técnicos.

Documento	Año	Predio / sector	Afectación	Recomendación
DI-7984	2015	Cra 43A con Dg 68 Sur	Remoción en masa; riesgo a viviendas y equipamientos	Prevención de afectaciones
DI-13305	2019	Carrera 43B	Daños estructurales por construcción deficiente colindante	Control de procesos constructivos y del terreno
DI-15959	2021	Carrera 43C	Cambios en las condiciones de estabilidad	Monitoreo visual permanente
DI-17137	2022	Muro de contención Calle 68B Sur	Patologías estructurales del muro (grietas y desplazamientos)	Seguimiento y rehabilitación/refuerzo del muro
DI-19264	2023	Carrera 43C	Saturación del terreno por daños en las redes	Reparación de redes e infraestructura

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

3.1.5 ESTRUCTURAS EXISTENTES Y GEOMETRÍA DEL TALUD

La estructura existente dominante es el muro de contención de la Carrera 44 / Calle 68B Sur, que presenta patologías (grietas y desplazamientos) por haber sido superado por los empujes laterales y las presiones intersticiales de los depósitos arcillosos. Se identifican además barandas y bordillos desplazados en el pie de la ladera y drenajes naturales alterados por la urbanización. Las estructuras existentes se relacionan en la Tabla 31.

Los reconocimientos de campo confirman las patologías reportadas en los antecedentes técnicos (DI-17137 de 2022): en el terreno frontal del muro se observan grietas de tracción y, en la cimentación, un asentamiento diferencial superior a 30 cm. Dichas evidencias confirman que la estructura ha sido superada por los empujes laterales y las presiones intersticiales del trasdós.



a. **b.**

Figura 55. Patologías del muro de contención existente: (a) grieta de tracción en el terreno al frente del muro y (b) asentamiento diferencial en la cimentación del muro, con más de 30 cm de diferencia.

Fuente: Elaboración propia (reconocimiento de campo, mayo de 2026).

Tabla 31. Estructuras existentes y geometría del talud inventariadas.

Estructura / elemento	Descripción	Geometría / dimensión	Estado
Muro de contención (Cra 44 / Calle 68B Sur)	Muro existente en la base de la ladera	Estructura de contención	Deficiente: grietas y desplazamientos
Barandas y bordillos	Elementos de confinamiento y andenes en el pie	Puntual	Desplazados / deteriorados
Estructuras de drenaje	Drenajes naturales alterados por la urbanización	—	Deficiente; saturación del terreno
Refuerzo del muro	No existente o insuficiente	No existentes	Superado por empujes y presiones de poros

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 de Arborizadora Alta corresponde a reptación (deformación plástica lenta) con componente rotacional y empuje sobre la estructura de contención, desarrollado en depósitos superficiales y en el Conjunto Medio de la Formación Guaduas (Tabla 32).

Tabla 32. Clasificación del movimiento en masa según SGC (2017) / PMA: GCA (2007).

Atributo	Descripción / valor
Tipo de movimiento	Reptación (deformación plástica lenta) con componente rotacional
Subtipo	Reptación superficial; posible falla rotacional somera y empuje sobre el muro
Partes identificadas	Corona de movimiento de ladera; cuerpo del movimiento potencial; empuje sobre el trasdós del muro
Estilo	Complejo
Distribución	Progresivo
Estado de actividad	Activo (evolución lenta)
Edad relativa	Reciente
Material involucrado	Depósitos superficiales y Conjunto Medio de la Formación Guaduas (arcillolitas de consistencia blanda a media)
Dirección del movimiento	Ladera abajo; empuje sobre el muro (Cra 44 / Calle 68B Sur)
Factor detonante	Alteración de drenajes naturales; saturación del horizonte arcilloso; presiones de poros en el trasdós
Zona geotécnica (Dec. 523/2010)	Cerros B

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

En cuanto a la velocidad, la reptación que gobierna el comportamiento de fondo del sector corresponde a desplazamientos muy lentos a extremadamente lentos (clases 1 a 2 de la escala de Cruden & Varnes). No obstante, durante las visitas de campo se evidenció que el asentamiento diferencial antes identificado, se acentuó de manera rápida, lo que confirma que, si bien el proceso es de evolución lenta, puede presentar aceleraciones locales rápidas —e incluso una falla rotacional somera— cuando se superan la capacidad del muro de contención y las presiones de poros en el trasdós.

Tabla 33. 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 Arborizadora Alta – Candelaria La Nueva presenta una condición de inestabilidad activa de evolución lenta (reptación), con un muro de contención deficiente superado por los empujes y las presiones de poros, y con afectación de las viviendas de la parte alta. 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 y apiques, 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 Arborizadora Alta, como parte de los trabajos ejecutados:

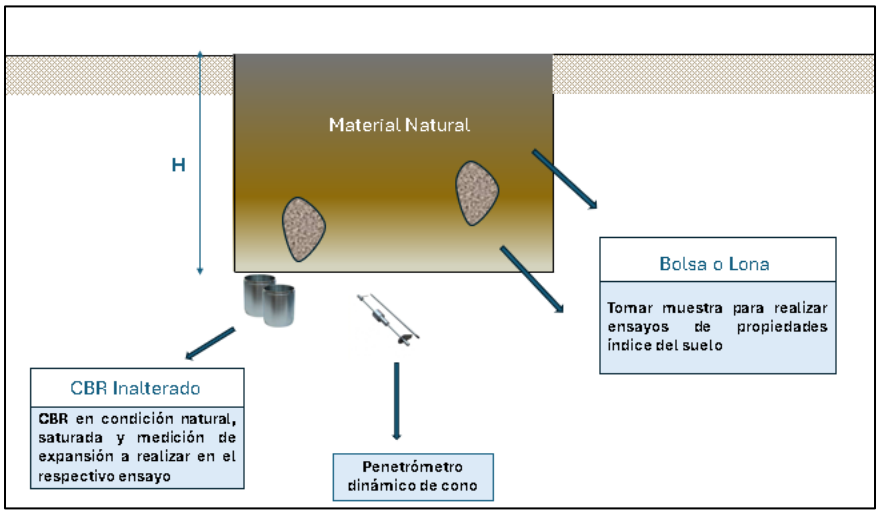


Figura 56. Esquema de Apique en terreno natural.
Fuente: Elaboración propia.

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.

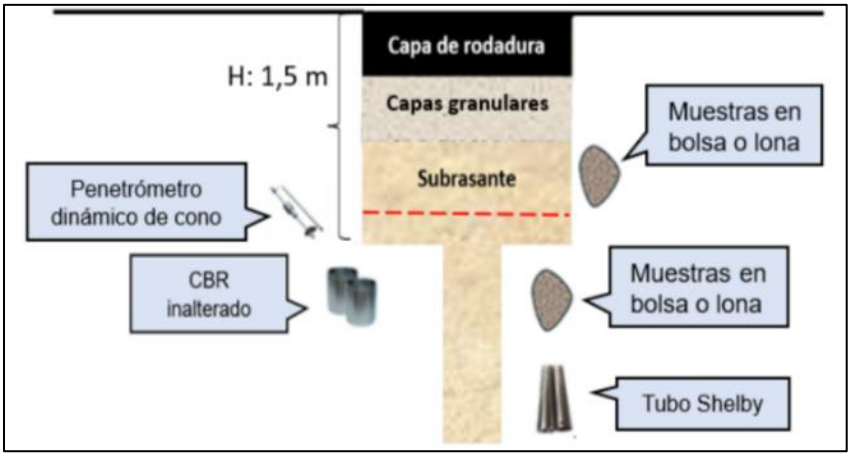


Figura 57. Esquema de Apique Barreno en pavimento existente.
Fuente: Elaboración propia.

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.

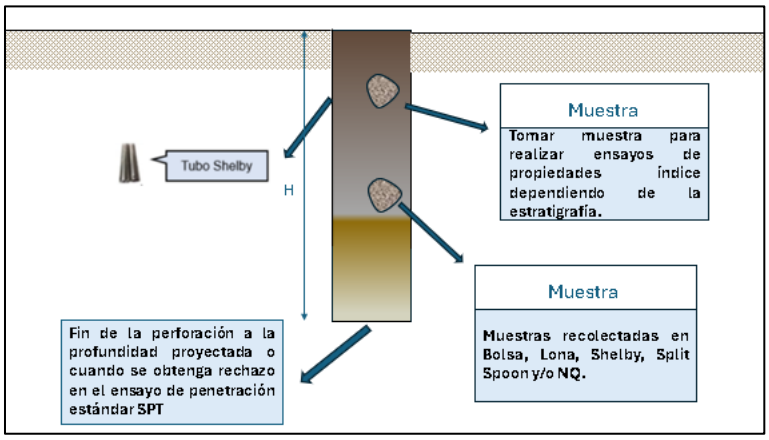


Figura 58. Esquema de Barreno en terreno natural.
Fuente: Elaboración propia.

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.

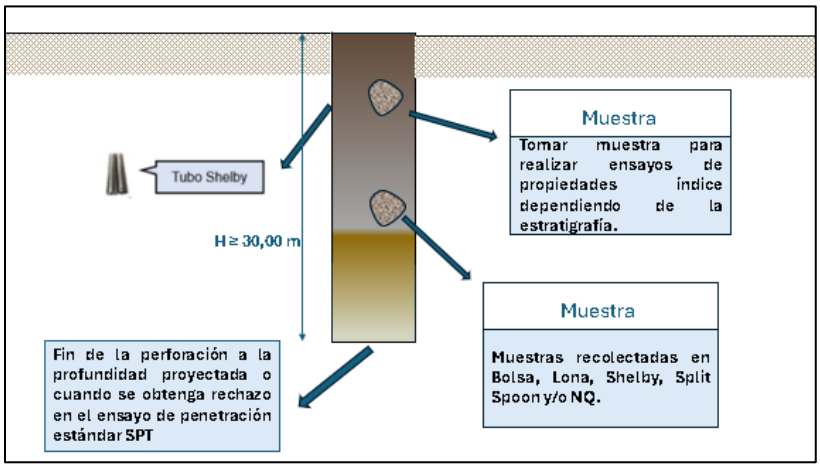


Figura 59. Esquema de Sondeo en terreno natural.
Fuente: Elaboración propia.

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.

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 cinco (05) exploraciones directas: dos (02) apiques de 1,60 m y 1,70 m de profundidad, dos (02) barrenos mecánicos de 5,00 m y 5,50 m —10,50 m lineales en conjunto— y un (01) sondeo mecánico profundo con recuperación de núcleo que alcanzó 30,50 m. El sondeo SA-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 Arborizadora Alta.



Figura 60. 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 34. Exploración ejecutada.

PERFORACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		PROFUNDIDAD (m)			
	LATITUD	LONGITUD	APIQUE	BARRENO	SONDEO	TOTAL
APA-1	4°34'22.3"N	74°09'15.6"W	1.60	-	-	1.60
APA-2	4°34'21.3"N	74°09'15.2"W	1.70	-	-	1.70
BRA-1	4°34'22.8"N	74°09'15.8"W	-	5.00	-	5.00
BRA-2	4°34'20.86"N	74° 9'14.84" W	-	5.50	-	5.50
SA-1	4°34'21.8"N	74°09'15.4"W	-	-	30.50	30,50

Fuente: *Elaboración propia.*

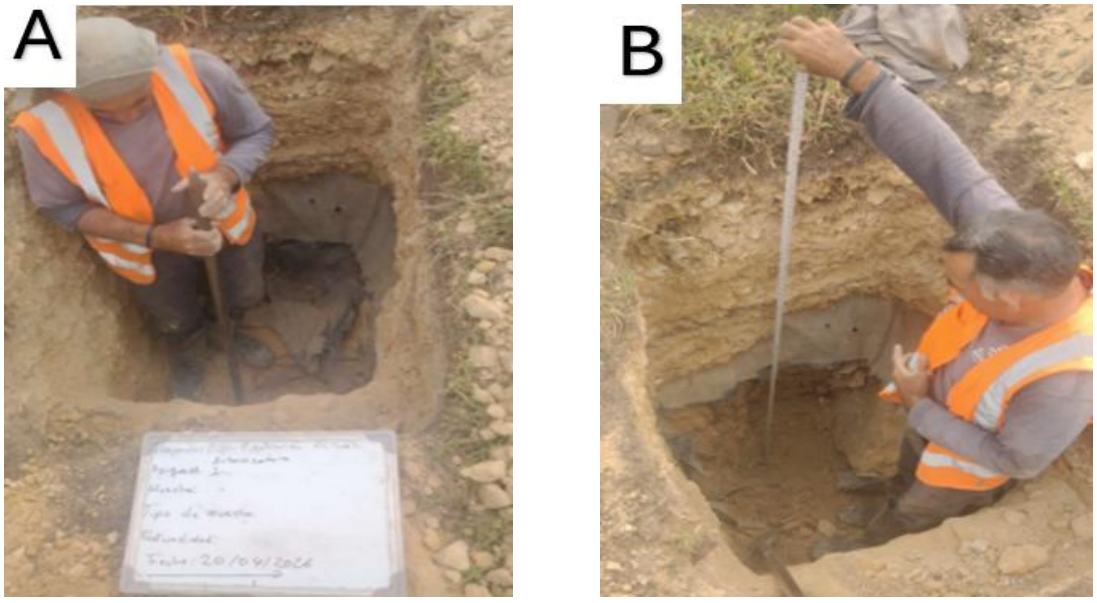
Al respecto, en el **anexo 1 titulado "Exploración del subsuelo",** se incluyen los registros de campo correspondientes a cada una de las perforaciones ejecutadas en el sector bajo estudio junto con sus correspondientes ensayos de laboratorio.

Las litologías descritas en los registros de campo corresponden a las unidades del modelo geológico-geotécnico desarrollado en el capítulo 3.3. La cobertura vegetal conforma la capa orgánica; los rellenos de recebo y los materiales con detritos de demolición se agrupan en los Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri) y los Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra); las arcillas y limos de alteración conforman el Suelo Residual (Qsr); y las areniscas y arcillolitas descritas en profundidad corresponden a la Formación Guaduas (K2E1gm), equivalente a la antigua denominación Kppg.

El contacto suelo–roca se registró a 0,90 m en el apique APA-1, a 2,00 m en el barreno BRA-1 y a 9,50 m en el sondeo SA-1, que corresponde a la cobertura de suelo de mayor espesor del estudio; el apique APA-2 y el barreno BRA-2 permanecieron en suelo en toda su profundidad explorada. En el sondeo SA-1 el RQD medido varió entre 11 % y 17 % y se registraron pérdidas de circulación del agua de perforación de hasta 70 %, indicativas de fracturas abiertas en el macizo. El nivel freático registrado a 6,00 m corresponde a la cota 2580.

3.2.2 EXPLORACIÓN DIRECTA

Esta consiste en el reconocimiento y evaluación in situ del subsuelo mediante excavaciones manuales y perforaciones mecánicas, tales como apiques, barrenos y sondeos, que 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 y barrenos, así como la realización de las pruebas de campo efectuadas durante la campaña de investigación geotécnica.



a) Apique 1.

b) No se pudo ejecutar el Ensayo de infiltración del suelo.

Figura 61. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Apique 1).
Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se documenta la ejecución del Apique 1 (APA-1), localizado sobre el costado de la vía principal identificada como Calle 86 Sur. Esta perforación alcanzó una profundidad final de 1,60 m permitiendo la observación directa del perfil estratigráfico del sitio y la evaluación detallada de las condiciones físicas y geotécnicas de los materiales presentes, sin evidenciarse la presencia del nivel freático durante el desarrollo de la excavación.

De acuerdo con las observaciones realizadas en campo y el correspondiente registro estratigráfico, el perfil identificado en el apique presenta en su nivel superior, un estrato de limo arenoso de color café oscuro, con bajo contenido de humedad y presencia de raíces. Subyacente a este nivel se identifica un relleno antrópico, conformado por recebo amarillo de naturaleza arenosa con gravas gruesas. Finalmente, se identificó un estrato de arenisca de color café, de grano fino a medio, con presencia de bloques de arenisca de considerable tamaño.

Por otra parte, el ensayo de infiltración del suelo no pudo ser ejecutado debido a la presencia de los bloques de arenisca previamente descritos, los cuales impidieron realizar la excavación necesaria para efectuar dicho ensayo en base al procedimiento técnico establecido por el método Porchet.

En las siguientes imágenes se presentan las muestras extraídas durante la realización del apique 1, las cuales confirman las condiciones estratigráficas descritas anteriormente:



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

Figura 62. Muestras extraídas en el Apique 1.
***Fuente:** Elaboración propia.*



a) Apique 2 b) No se detectó nivel freático.

Figura 63. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Apique 2).
Fuente: *Elaboración propia.*

En la figura antes presentada, se documenta la ejecución del Apique 2 (APA-2), localizado en el sector Arborizadora Alta, sobre el costado de la vía principal identificada como Calle 86 Sur y dentro del polígono de estudio. La excavación alcanzó una profundidad final de 1,70 m permitiendo la observación directa del perfil estratigráfico del sitio y la evaluación detallada de las condiciones físicas y geotécnicas de los materiales presentes, sin evidenciarse la presencia del nivel freático durante el desarrollo de la excavación.

De acuerdo con las observaciones realizadas en campo y el registro estratigráfico, el perfil identificado en el apique presenta en su nivel superior, un relleno compuesto por limo orgánico de color café, con detritos de demolición y fragmentos de arenisca. Subyacente a este nivel, se identifica un relleno formado por recebo amarillo con presencia de areniscas. Posteriormente, se identifica un relleno compuesto por limo arcilloso de color café de humedad media a alta, y por último, se reconoce un estrato de arcilla limosa de color café, con presencia de oxidaciones y humedad alta, evidenciando condiciones de mayor plasticidad.

En las siguientes imágenes se presentan las muestras extraídas durante la realización del apique 2, las cuales confirman las condiciones estratigráficas descritas anteriormente:



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

Figura 64. Muestras extraídas en el Apique 2.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se llevó a cabo el ensayo de infiltración del suelo mediante el método Porchet, a partir del cual se determinó una conductividad hidráulica promedio de 3,54 mm/h, una vez alcanzada la condición de saturación del terreno. Con base en este resultado, se concluye que el suelo en el sitio de ensayo presenta una conductividad hidráulica baja, lo que indica una limitada capacidad de infiltración y un comportamiento predominantemente poco permeable.



Figura 65. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Barreno 1).
***Fuente:** Elaboración propia.*

El barreno BRA-1 se sitúa hacia el sector norte del área analizada, próximo al límite superior del polígono y en cercanía inmediata al Apique 1 (APA-1), manteniendo alineación con la traza de la línea sísmica y con otros puntos de exploración directa. El barreno alcanzó una profundidad final de 5,00 m, sin que se detectara la presencia del nivel freático durante el desarrollo de los trabajos.

De acuerdo con el registro de perforación, el perfil estratigráfico identificado en el Barreno 1 (BRA-1) presenta, en el nivel superficial, un estrato de limo arenoso de color café oscuro, de humedad baja y presencia de raíces. Seguidamente, se identifica un relleno compuesto por recebo de color amarillo, de naturaleza arenosa, con presencia de gravas y arenisca, que se extiende hasta profundidades cercanas a 1,50 m. A partir de esta profundidad, se identifica un predominio de areniscas de grano fino a medio, con variación de color amarillo a café claro, con presencia de oxidaciones y bloques de arenisca, las cuales se mantienen de manera continua hasta el fondo de la perforación. Esta condición estratigráfica imposibilitó el avance de la perforación mediante el ensayo SPT, como consecuencia de la alta dureza y competencia del material presente.

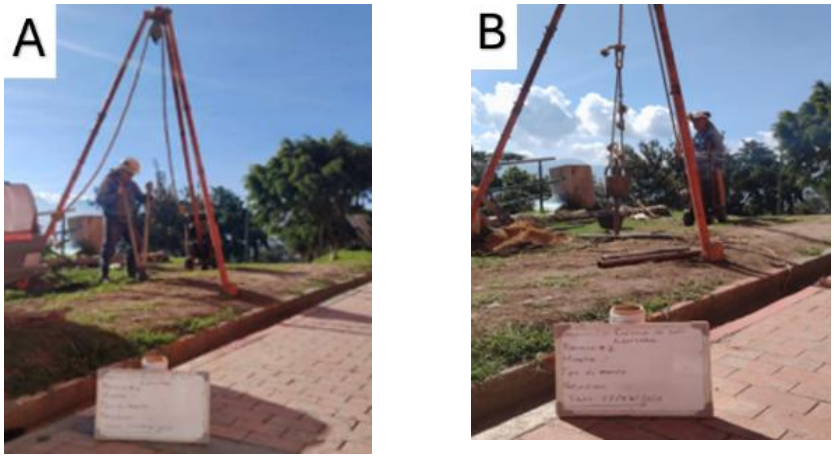
En las imágenes que se presentan a continuación se muestran las muestras de suelo extraídas durante la ejecución del Barreno 1 (BRA-1), las cuales corroboran las condiciones estratigráficas previamente descritas y permiten validar la interpretación del perfil geotécnico identificado en campo.



a) Muestra 1 b) Muestra 2 c) Muestra 3 d) Muestra 9

Figura 66. 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 los demás puntos de exploración cercanos, y contribuye al análisis de las condiciones geotécnicas y de estabilidad del terreno en el área de estudio.



a) Barreno 2 b) Ejecución del ensayo SPT

Figura 67. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Barreno 2).
Fuente: *Elaboración propia.*

Esta perforación se encuentra sobre el costado de la vía principal identificada como Calle 86 Sur, hacia el sector sur del área analizada, en proximidad inmediata al Apique 2 (APA-2) y al sondeo SA-1, lo que permite una adecuada correlación espacial y estratigráfica entre los diferentes puntos de exploración directa.

De acuerdo con lo observado en campo, el perfil estratigráfico identificado en el Barreno 2 (BRA-2) presenta a nivel superficial, un relleno compuesto por limo orgánico de color café oscuro, con bloques de arenisca. Posteriormente, se identifica un relleno compuesto por recebo arenoso de color amarillo, con

presencia de bloques de arenisca, que se extiende hasta los 3.00 metros. A partir de esta profundidad, se identifica un predominio de materiales finos cohesivos, correspondientes a una arcilla de color café claro, con oxidaciones y bloques de arenisca hasta los 5,50 metros. Por otro lado, durante la ejecución del barreno no se detectó la presencia del nivel freático, y además, debido a la alta resistencia del material existente imposibilitó la continuidad del avance mediante el ensayo SPT, dando lugar a la finalización de la perforación.



a) Sondeo 1 b) Perforación rotatoria.

Figura 68. Realización de los trabajos de exploración del subsuelo (Sondeo 1).
Fuente: *Elaboración propia.*

En la zona central del polígono de estudio se ejecutó el Sondeo SA-1, ubicado en inmediaciones de la Calle 68C Sur. La ubicación coincide con el trazado de la línea sísmica desarrollada en el área bajo estudio, lo cual permite establecer una correlación espacial confiable entre los resultados obtenidos mediante exploración directa e indirecta, favoreciendo la interpretación integral de las condiciones geotécnicas del subsuelo. El sondeo alcanzó una profundidad final de 30,50 m, registrándose la presencia del nivel freático a los 6,00 m de profundidad.

De acuerdo con el registro de campo, el perfil estratigráfico presenta en superficie un relleno antrópico compuesto por detritos de demolición, que se extiende hasta aproximadamente 0,50 m de profundidad. Subyacente a este nivel, se identifica un estrato de arena limosa de color café claro con presencia de fragmentos de arenisca, que alcanza hasta los 1,50 m. Posteriormente, entre 1,50 m y 3,00 m, se reconocen bloques de arenisca embebidos en una matriz limo arcillosa de color café. Por debajo de este intervalo, y hasta aproximadamente 11,00 m de profundidad, predominan suelos cohesivos, conformado por limos y arcillas de color café con variaciones a gris claro, que presentan vetas grises, negras, marrones y rojizas, así como intercalaciones de lentes de arenisca amarilla.

Finalmente, a partir de los 11,00 m y hasta el fondo de la perforación, se encuentran arcillolitas de color rojizo con vetas grises en estado meteorizado, friable y localmente fracturado, lo cual evidencia un grado variable de alteración del macizo rocoso. Con respecto a los parámetros de calidad del material, dicho estrato registra un porcentaje de recuperación variable entre el 23% y 46%, acompañado de valores de RQD (*Rock Quality Designation*) que se sitúan en el rango del 11% al 17%.



a) Muestra 1 b) Muestra 3 c) Muestra 4 d) Muestra 27

Figura 69. 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 sector Arborizadora Alta 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:

Cabe precisar que no se ejecutaron ensayos de compresión inconfinada directa sobre las muestras de roca de este sector, razón por la cual dicho ítem se reporta sin cantidad en la tabla siguiente. La resistencia a la compresión inconfinada de la roca intacta se estimó por correlación con el índice de carga puntual, conforme se detalla en el capítulo 3.3.

Tabla 35. Relación de la cantidad de ensayos de laboratorio ordenados del sector Arborizadora Alta.

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	21
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición. INV E-121-13	UN	2

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TOTAL
Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono (PDC) en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad. INV E-172-13.	UN	1
Ensayo de infiltración realizado mediante el método Porchet.	UN	1
Determinación de la masa volumétrica (peso unitario) de los suelos. INV E-161-13.	UN	6
Determinación de la gravedad específica de los suelos. INV E-128-13.	UN	9
Determinación del índice de carga puntual en rocas. INV E-185-13.	UN	7
Ensayo de compresión simple en roca, ASTM D 7012-10 METODO C.	UN	0
TOTAL, DE ENSAYOS	**UN**	**87**

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, barrenos y sondeos, 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 la línea sísmica ejecutada en el área bajo estudio:

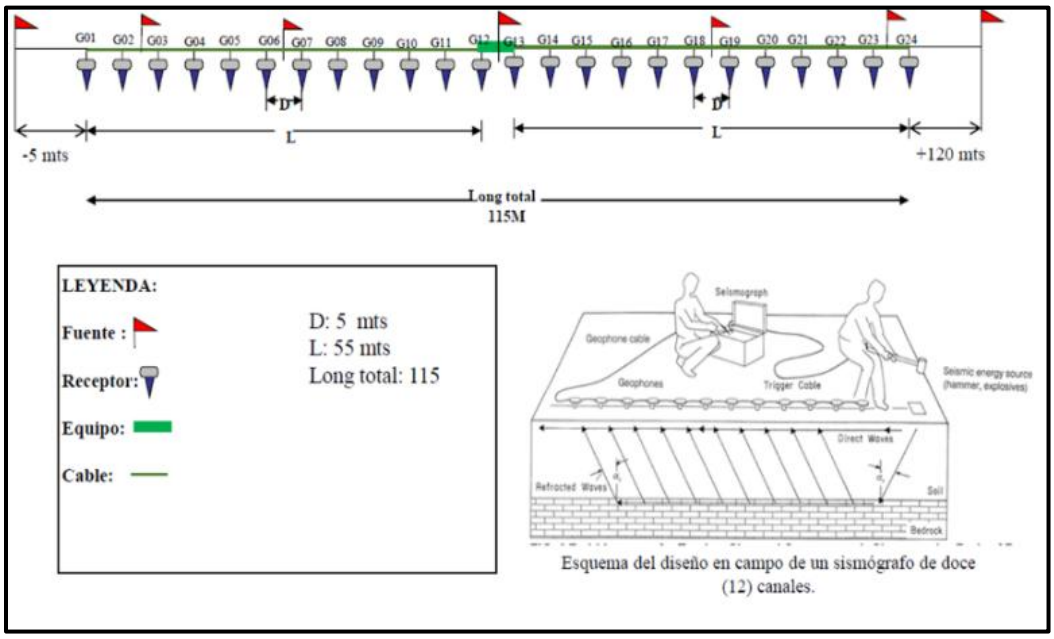


Figura 70. Esquema de líneas sísmicas.
Fuente: *Elaboración propia.*

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



Figura 71. 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 36. Coordenadas de la línea sísmica.

LÍNEA SÍSMICA (ID)	Coordenadas Geográficas			
	Inicial		Final	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
LSA-1	4°34'24.44"N	74° 9'16.57"W	4°34'21.28"N	74° 9'14.85"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 LSA-1 arrojó una velocidad promedio en los primeros 30 m de Vs30 = 477 m/s; 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 identifica la cobertura de baja velocidad de mayor espesor de todo el estudio, entre 4 y 8 m (Vs de 120 a 240 m/s), seguida de un tramo de rigidez creciente y, desde aproximadamente 9,50 m de profundidad, material muy competente con Vs cercana a 1.050 m/s y Vp superior a 1.800 m/s. Ese

techo concuerda con el contacto suelo–roca registrado en el sondeo SA-1, lo que 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): 5 (4 DE SUELO, 1 DE ROCA). MUESTRAS: 53. PERFORACIONES: 5.

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 5 tipos de materiales (4 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 este sector se trata como una sola unidad de roca por no haberse diferenciado en la tabla de resultados sus litologías de areniscas y arcillolitas.

- Capa orgánica (suelo): 5 perforaciones, 5 muestras, entre 0 y 0.95 m de profundidad; clasificación USC predominante GC.
- Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri) (suelo): 2 perforaciones, 3 muestras, entre 0.1 y 2.0 m de profundidad; clasificación USC predominante GC.

- Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra) (suelo): 4 perforaciones, 12 muestras, entre 0.15 y 4.0 m de profundidad; clasificación USC predominante GC, CL, SC.
- Suelo Residual (Qsr) (suelo): 2 perforaciones, 12 muestras, entre 3.0 y 9.5 m de profundidad; clasificación USC predominante SC, CL, GC, CH.
- Formación Guaduas (K2E1gm) (roca): 3 perforaciones, 21 muestras, entre 0.9 y 30.5 m de profundidad; clasificación USC predominante GC.

Tabla 37. Tipos de materiales (estratos) identificados.

Material	Tipo	Muestras	Perforaciones	Prof. (m)	USC predom.
Capa orgánica	Suelo	4	4	0–0.5	GC
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	Suelo	4	3	0–2.0	GC
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	Suelo	12	3	0.15–4.0	GC, CL, SC
Suelo Residual (Qsr)	Suelo	12	2	3.0–9.5	SC, CL, GC, CH
Formación Guaduas (K2E1gm)	Roca	21	3	0.9–30.5	GC

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 5 materiales descritos, reconocidos en 5 perforaciones. La secuencia es consistente: una capa orgánica somera, seguida de rellenos antrópicos —ingenieril (Qri) y de adecuación (Qra)— y de suelo residual (Qsr), sobre el basamento de la Formación Guaduas (K2E1gm). El sondeo SA-1 alcanzó 30,50 m y describe arcillolita de color rojizo con vetas grises, meteorizada, friable y fracturada, entre 11,0 y 29,0 m.

De las 5 perforaciones, 3 alcanzaron la Formación Guaduas y 2 permanecieron en suelo en toda su profundidad explorada. El techo de roca se registró a 0,90 m en APA-1, a 2,00 m en BRA-1 y a 9,50 m en SA-1.

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

- APA-1: techo de roca a 0.90 m; explorado hasta 1.60 m.
- BRA-1: techo de roca a 2.00 m; explorado hasta 5.00 m.
- SA-1: techo de roca a 9.50 m; explorado hasta 30.50 m.
- Perforaciones sin roca (todo suelo): APA-2 (hasta 1.7 m), BRA-2 (hasta 5.5 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.

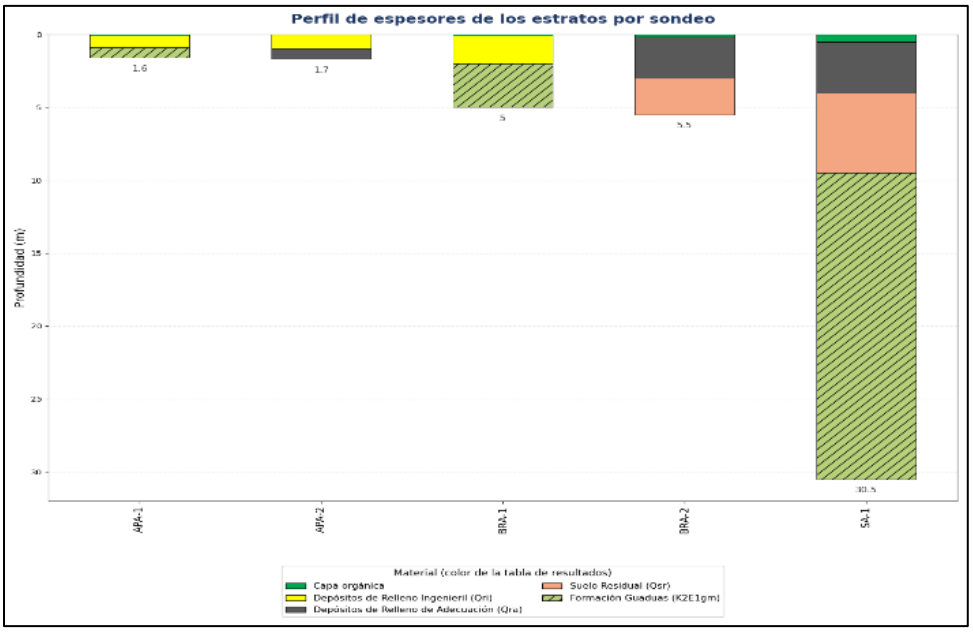


Figura 72. Perfil de espesores de los estratos por sondeo (profundidad hacia abajo; el color de cada estrato corresponde al material en la tabla de resultados y la roca se distingue con trama).
Fuente: Elaboración propia.

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

Material	Origen	Mecanismo (SGC 2017)
Capa orgánica	Cobertura orgánica	Cobertura superficial
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	Antrópico	Suelo transportado — depósitos antrópicos
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	Antrópico	Suelo transportado — depósitos antrópicos
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 39. 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)	El registro de SA-1 describe arcillolita de color rojizo con vetas grises, meteorizada, friable y fracturada entre 11,0 y 29,0 m, con RQD de 11–17 % y recobro de 22–46 %; 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, ARBORIZADORA ALTA). El sondeo SA-1 describe la Formación Guaduas (K2E1gm) como arcillolita de color rojizo con vetas grises, meteorizada, friable y fracturada entre 11,0 y 29,0 m, con bloques de areniscas friables en matriz de arcilla en el contacto (9,5–11,0 m) y pérdidas de circulación de agua de hasta 70 %. El recobro de las maniobras de núcleo fue de 22 a 46 % y el RQD medido de 11 a 17 %, 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 40. Clasificación SUCS, propiedades índice (rangos mínimo–máximo) y potencial expansivo por material de suelo.

Material	Naturaleza	USC	w (%)	LL (%)	IP (%)	% < No.200	Potencial expansivo
Capa orgánica	orgánico	GC	15.5	36	14	47	Marginal
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	granular	GC	4.3–6.5	25	10–12	15.3–15.5	Marginal
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	granular	GC, CL, SC	9.2–22.7	25–33	12–17	22.4–52.5	Marginal
Suelo Residual (Qsr)	cohesivo	SC, CL, GC, CH	10.1–22.0	32–59	16–40	29.1–98.3	Sí (Muy Alto)

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.

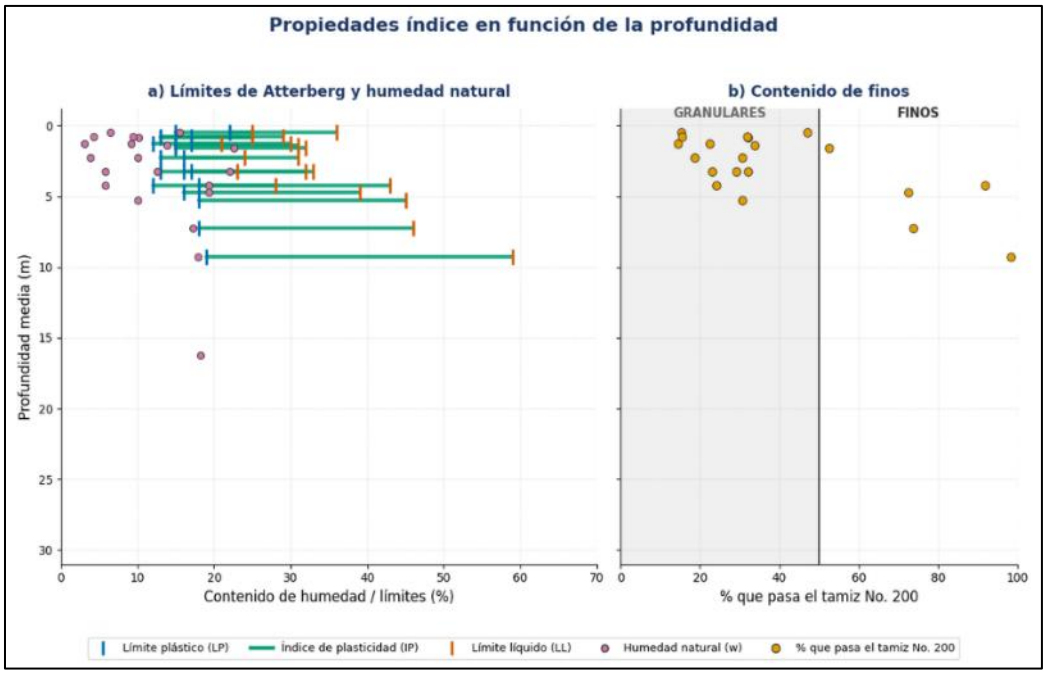


Figura 73. Propiedades índice en función de la profundidad: a) límites de Atterberg (LP, IP, LL) y humedad natural; b) porcentaje que pasa el tamiz No. 200, con el umbral del 50 % que separa suelos granulares de finos.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 73 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.

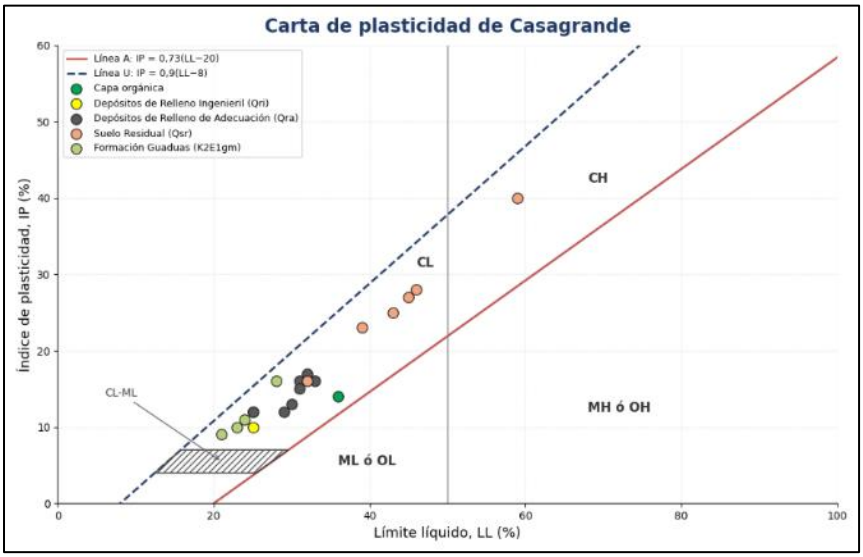


Figura 74. Carta de plasticidad de Casagrande; los puntos se agrupan por material.
Fuente: Elaboración propia.

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 41. 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

Grado de expansión	Chen	Norma IS 1498
Muy Alto	> 60	70 – 90

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

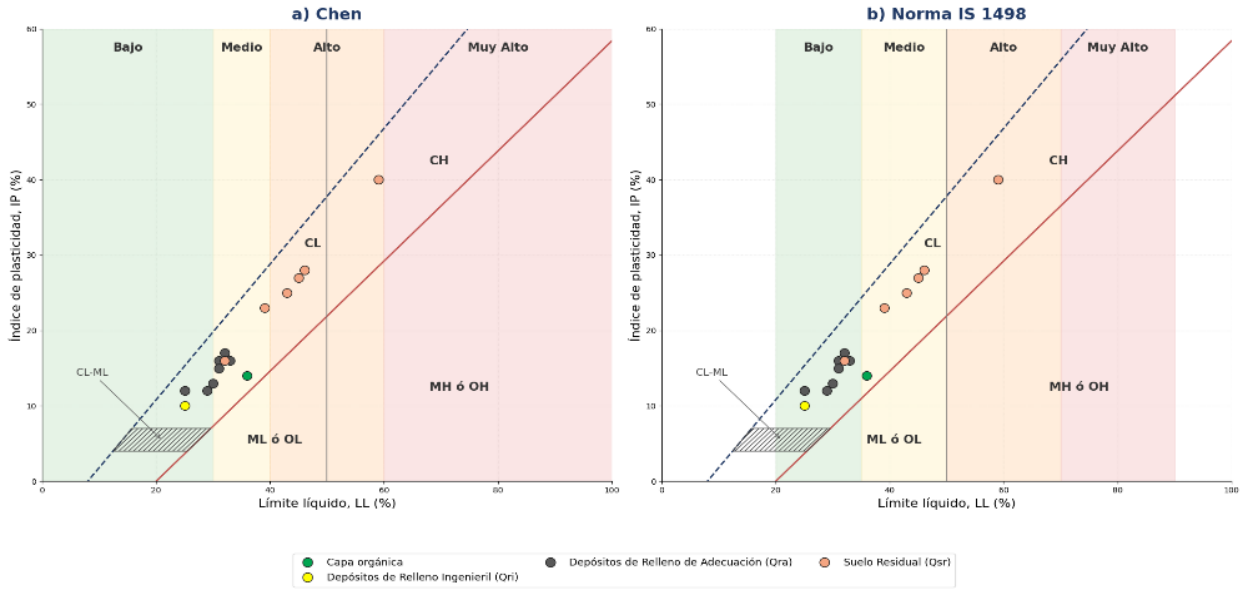


Figura 75. Revisión del potencial de expansión en función del límite líquido: a) Chen; b) Norma IS 1498. Fuente: Elaboración propia con base en INV-132-13.

Potencial de expansión en función del índice de plasticidad.

Tabla 42. 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.

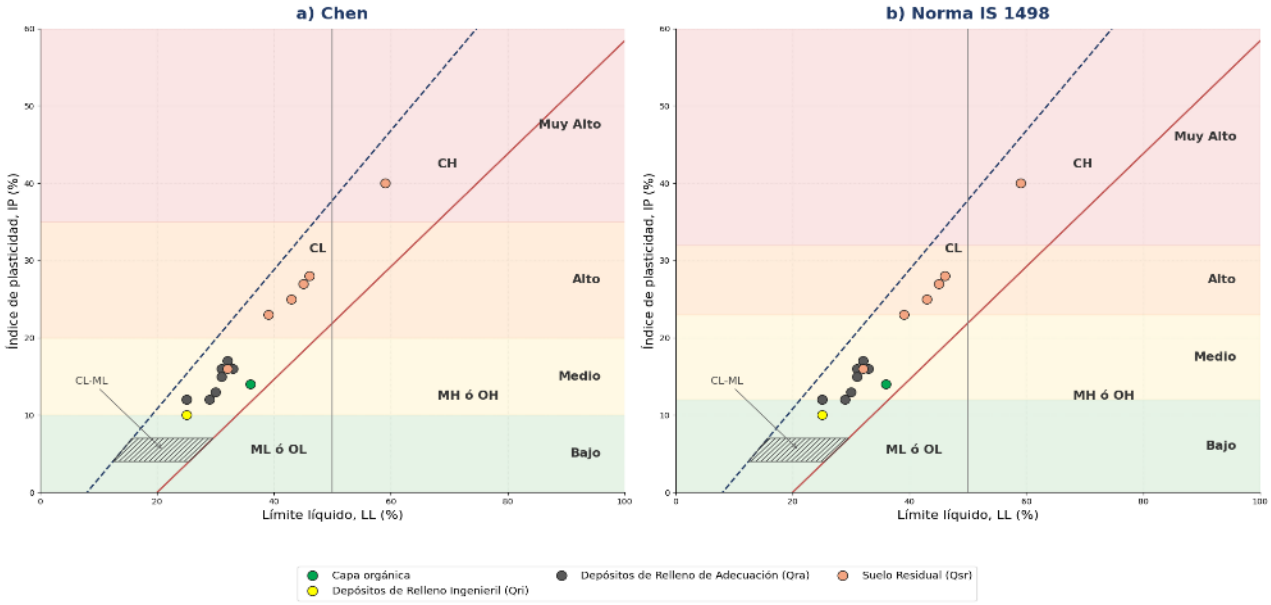


Figura 76. Revisión del potencial de expansión en función del índice de plasticidad: a) Chen; b) Norma IS 1498.

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 Suelo Residual (Qsr), que alcanza grado Muy Alto (LL hasta 59 % e IP hasta 40 %). Los rellenos (Qri y Qra) y la capa orgánica presentan expansividad media. La unidad de roca no requiere esta evaluación.

3.3.1.3 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 SA-1 a 6,00 m de profundidad (cota 2580), medido al terminar la perforación; en las demás exploraciones no se detectó dentro de la profundidad explorada. El registro anota además pérdidas de circulación del agua de perforación de hasta 70 %, indicativas de fracturas abiertas en el macizo. Dado su carácter puntual, la posición del agua no se emplea para asignar el Ru material por material; 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 esta ecuación 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 SA-1 (6,00 m) y ponderando por el espesor de cada unidad, se obtienen los valores de la Tabla siguiente. Estos valores describen la condición documentada durante la exploración, no la condición de diseño.

Tabla 43. 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 SA-1 (6,00 m) y ponderado por el espesor de cada unidad.

Unidad	Tramo (m)	γ (kN/m³)	NF (m)	Ru calculado
Materiales de suelo	0,0 – 9,5	18,9	6,00	0,04
Formación Guaduas (K2E1gm)	9,5 – 30,5	18,7	6,00	0,350

Fuente: Elaboración propia con base en Bishop & Morgenstern (1960) y el registro de perforación del sondeo SA-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. A diferencia de los otros dos sectores, la superficie freática registrada (6,00 m) se encuentra por encima del techo de roca de SA-1 (9,50 m): el agua se aloja en el manto de suelo y el macizo queda íntegramente bajo ella. El promedio ponderado por espesor sobre el macizo explorado resulta Ru = 0,350, valor que se adopta sin reducción. No se justifica aquí un Ru menor: aunque el registro anota pérdidas de circulación de hasta 70 %, indicativas de fracturas abiertas y por tanto de capacidad de drenaje, se trata de un indicio cualitativo que no constituye una medida de presión de poros. Se conserva en consecuencia el valor que arroja la piezometría registrada.

Tabla 44. Coeficiente de presión de poros Ru adoptado en cada escenario de análisis.

Escenario de análisis	Saturado	Sismo	Ru — suelos	Ru — roca
0. Condición actual representativa	In situ	No	0 †	0
1. Estático saturado	Sí	No	0,5	0,35
2. Estático seco	No	No	0	0
3. Pseudoestático saturado	Sí	Sí	0,5	0,35
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 (SA-1, 6,00 m). El Suelo Residual (Qsr) se modela con Ru = 0,5 (†) por el agua colgada sobre el macizo, y los demás suelos y la roca con Ru = 0; corresponde a la sección B-B' y es la condición sobre la cual se calibró el análisis retrospectivo.

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

Tabla 45. 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 de Relleno Ingenieril (Qri)	19.4	20.6	0,5	0	medido (n = 1)
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	19.3	20.4	0,5	0	medido (n = 1)
Suelo Residual (Qsr)	18.5	19.6	0,5	0	asumido (familia USC S)
Formación Guaduas (K2E1gm)	18.7	18.7	0,35	0	medido (n = 4)

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 0,35 en la Formación Guaduas; en condición seca, 0 en todos los materiales. Se emplean en el cálculo de σ'v y en los análisis de estabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.4 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.

3.3.1.4.1 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.

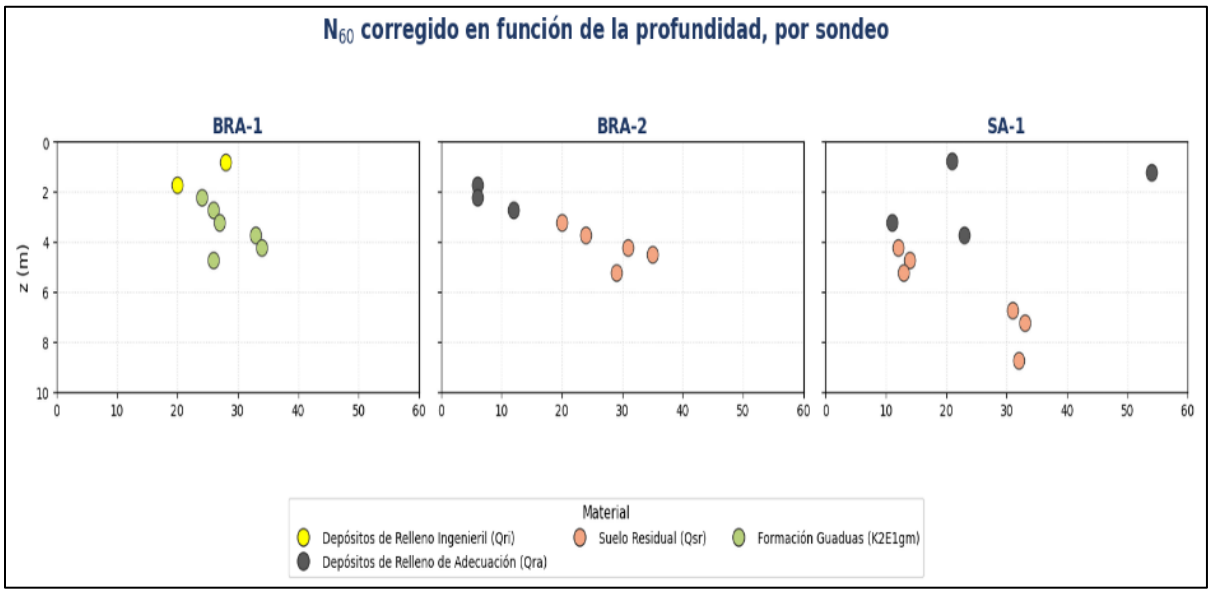


Figura 77. N_{60} corregido en función de la profundidad, por sondeo (escala común 0–6 m; abscisas hasta 50 golpes); puntos agrupados por material.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Parámetros de resistencia por material de suelo.

Material	Naturaleza	N60 dis.	φ′ CCP-14	φ′ Peck	φ′ diseño (Gonz.)	c′ (kPa)	s_u (kPa)
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	granular	20	34.5–39.5	34.8–39.6	30.2°	5.0	—
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	granular	6	29.5–40.0	29.4–47.8	28.3°	4.7	—
Suelo Residual (Qsr)	cohesivo	12	—	—	29.6°	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°).

3.3.1.4.2 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)**: $E_s = k \cdot N$ (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 = $k \cdot N_{60}$,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 47. 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
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	29.8–50.0	22.0	0.3	$E_s = 1.1 \cdot N_{60}$,dis
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	8.4–88.8	6.6	0.3	$E_s = 1.1 \cdot N_{60}$,dis
Suelo Residual (Qsr)	9.0–25.6	8.4	0.28	$E_s = 0.7 \cdot N_{60}$,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.

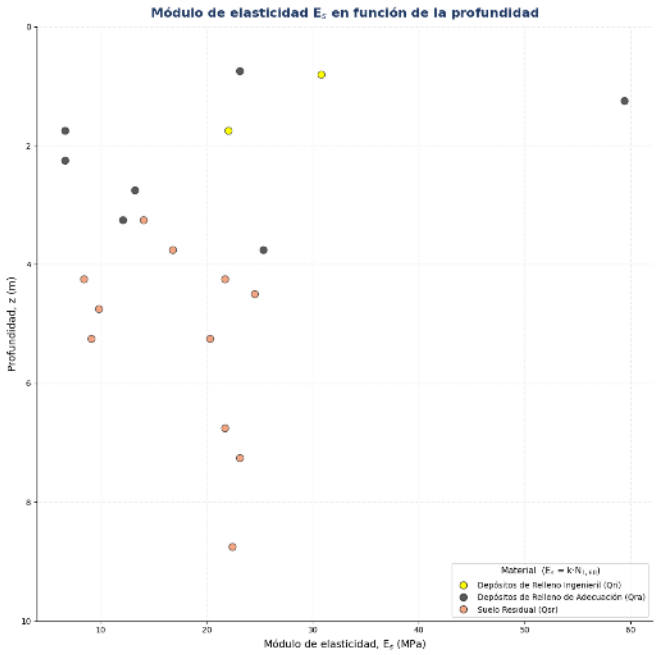


Figura 78. Módulo de elasticidad E_s ($E_s = k \cdot N_{1,60}$; Tabla C10.4.6.3-1) en función de la profundidad, por material de suelo.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.4.3 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 Arborizadora Alta: Qri, Qra, Qsr. 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 48. Valores de entrada para la clasificación manual de suelos en GEO5®.

Material	n	f (%)	s (%)	g (%)	w (%)	wl (%)	wp (%)
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	2	15.4	21.1	63.5	5.4	25.0	—
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	7	33.6	26.0	40.4	12.5	30.1	—
Suelo Residual (Qsr)	6	66.0	15.5	18.5	17.6	44.0	17.5

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 49. *Rangos de parámetros estimados por GEO5® para los materiales de suelo del sitio.*

Material	Clasificación GEO5®	Estado	Origen del estado	ν (–)	γ (kN/m³)	Edef (MPa)	φ′ef (°)	c′ef (kPa)
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	GC – Clayey gravel	Medio denso	N60 = 24 (Terzaghi & Peck)	0.30	19.5	40 – 60	28 – 32	2 – 10
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	GC – Clayey gravel	Medio denso	N60 = 12 (Terzaghi & Peck)	0.30	19.5	40 – 60	28 – 32	2 – 10
Suelo Residual (Qsr)	CL, CI – Clay with low or medium plasticity	Firme (firm)	Derivado de Ic (ensayo); ver nota	0.40	21.0	3 – 6	17 – 21	8 – 16

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

Nota sobre el Suelo Residual (Qsr): GEO5® deriva de los límites de consistencia un estado firme (Ic ≈ 1.0), mientras que la mediana de N60 del material (29) correspondería a un estado muy firme según Terzaghi & Peck (1948). Se conserva el estado derivado del ensayo de límites por ser el criterio propio del programa y el más conservador de los dos.

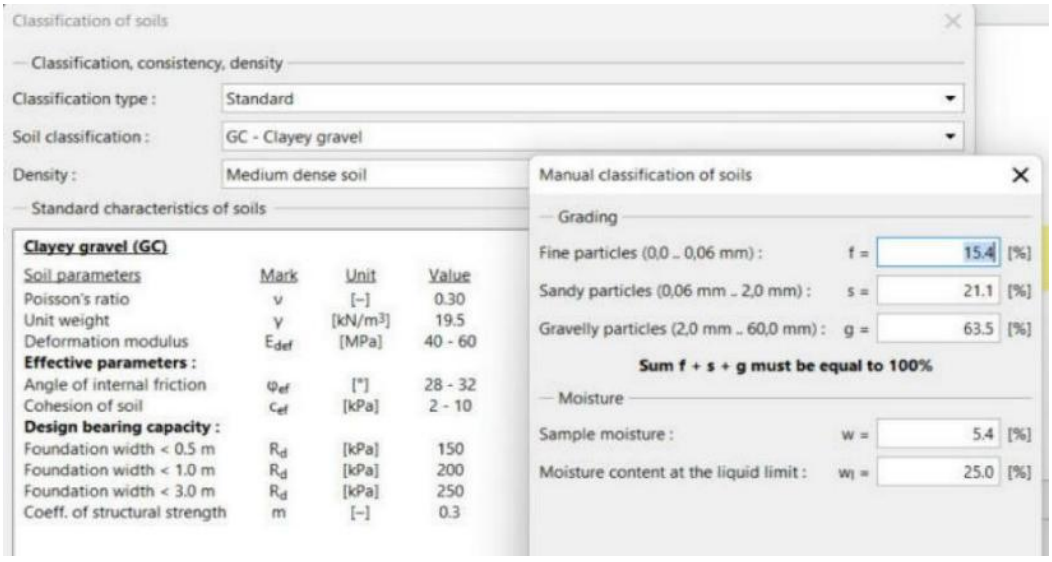


Figura 79. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri). Fuente: GEO5® 2024, módulo Estratigrafía.

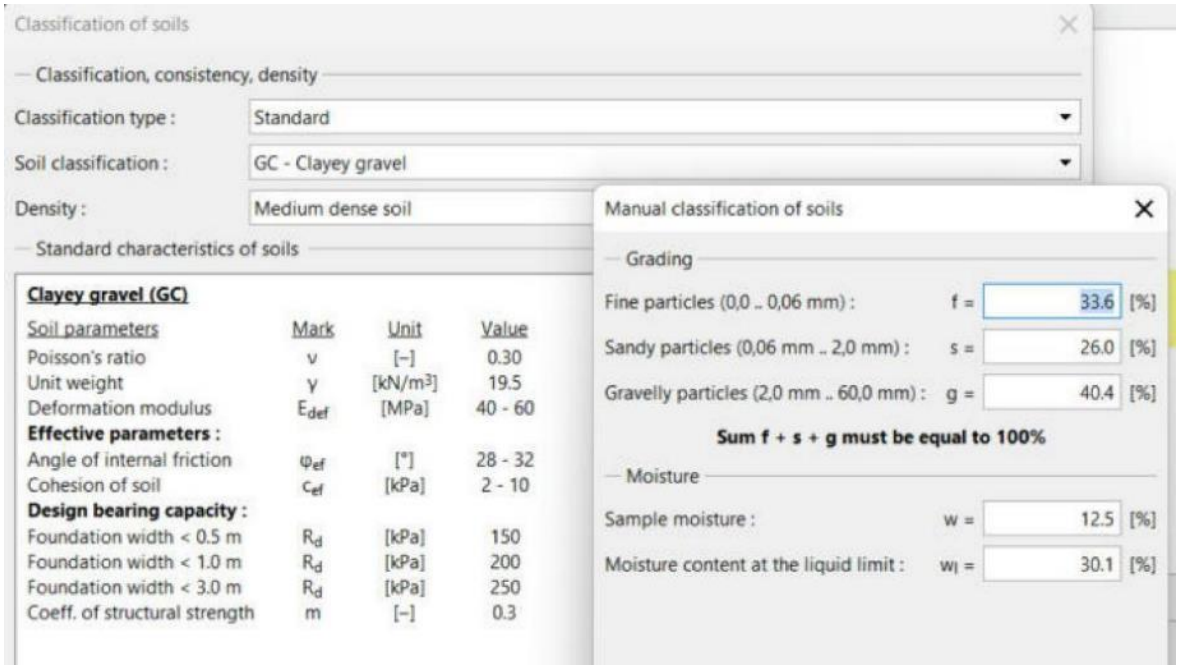


Figura 80. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra). Fuente: GEO5® 2024, módulo Estratigrafía.

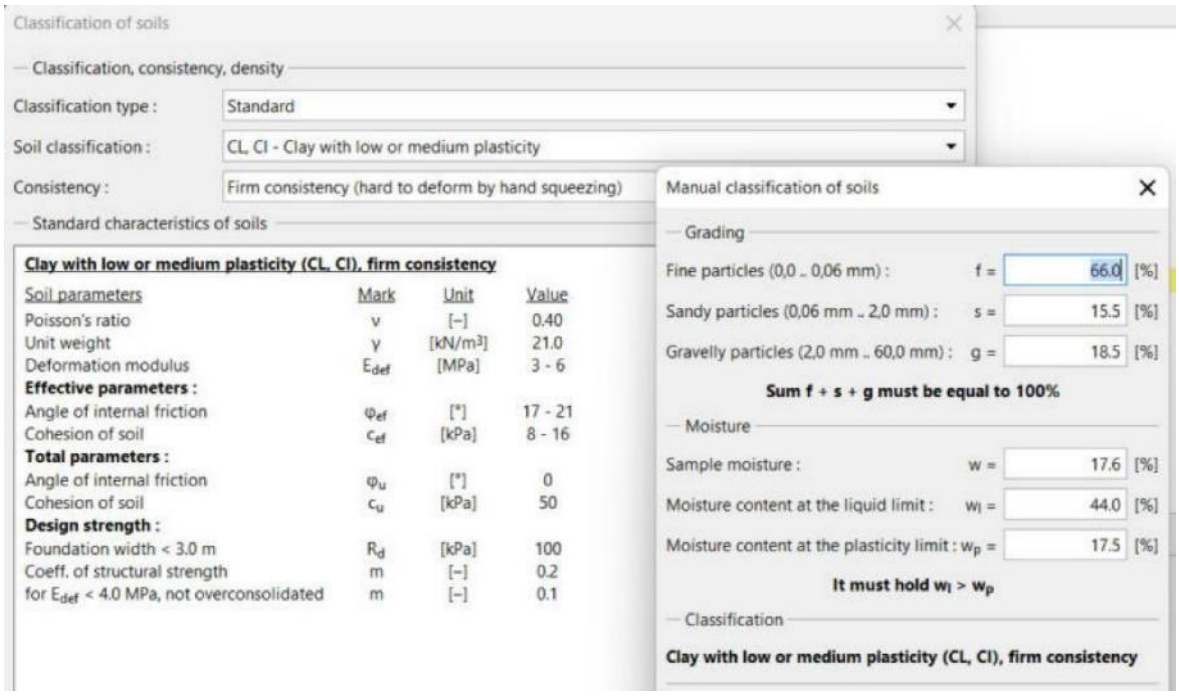


Figura 81. Obtención de parámetros en el software GEO5® – Suelo Residual (Qsr). Fuente: GEO5® 2024, módulo Estratigrafía.

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 50. 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
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	5.0	30.2	19.6 / 15–26 (dentro)	34.1 / 29–41 (dentro)	63.2 / 55–72 (dentro)
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	4.7	28.3	18.2 / 15–26 (dentro)	31.6 / 29–41 (dentro)	58.5 / 55–72 (dentro)
Suelo Residual (Qsr)	0.0	29.6	14.2 / 16–26 (inferior)	28.4 / 23–35 (dentro)	56.8 / 39–54 (superior)

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 se encuentra dentro del rango estimado por GEO5® para el Relleno Ingenieril (Qri) y el Relleno de Adecuación (Qra) en todo el intervalo de esfuerzos analizado. Para el Suelo Residual (Qsr), la envolvente adoptada resulta inferior a la estimada a 25 kPa, equivalente a 50 kPa y superior en un 5 % a 100 kPa; la diferencia entre los ángulos de fricción de ambos criterios (29.6° frente a 17 – 21°) queda compensada por la cohesión que GEO5® asigna al material y que el presente estudio no adopta. En el intervalo de esfuerzos donde se desarrollan las superficies de falla analizadas, ambos criterios resultan por tanto equivalentes, por lo que los parámetros adoptados en el numeral 3.3.1.6 se mantienen sin modificación.

3.3.1.4.4 Análisis retrospectivo (back-analysis) del suelo residual

Los parámetros del Suelo Residual (Qsr) obtenidos por correlación con el ensayo de penetración estándar (c′ = 0; φ′ = 29,6°) conducen, al introducirse en el modelo de estabilidad de la sección B-B′ en su condición

actual, a un factor de seguridad determinístico de 0,771. Un factor inferior a la unidad implica una masa en estado de falla; el talud, sin embargo, se encuentra en pie y no presenta evidencias de movimiento generalizado. La contradicción entre el cálculo y la observación indica que los parámetros estimados por correlación no representan la resistencia efectivamente movilizada en el terreno, y motiva la ejecución de un análisis retrospectivo.

Fundamento: El análisis retrospectivo parte de la premisa de que un talud que permanece estable moviliza, sobre la superficie crítica, una resistencia tal que su factor de seguridad es del orden de la unidad. Al imponer FS = 1 sobre una superficie de falla definida, la condición de equilibrio deja de admitir una solución única en (c′, φ′) y define en cambio un lugar geométrico: infinitas parejas de cohesión y ángulo de fricción reproducen el mismo equilibrio. El procedimiento no determina por sí solo la pareja representativa; la selección exige un criterio adicional, externo al cálculo, fundado en la naturaleza del material.

Implementación: El análisis se ejecutó en Slide mediante un análisis probabilístico de sensibilidad sobre la sección B-B′. Se declararon como variables aleatorias la cohesión y el ángulo de fricción del Suelo Residual, ambas con distribución uniforme, de modo que todas las parejas del intervalo resultan igualmente probables y ninguna región del dominio queda privilegiada a priori. Se generaron 1 000 muestras por el método de Hipercubo Latino y el factor de seguridad de cada una se calculó por los métodos de Bishop simplificado, Janbu simplificado y Spencer. El procedimiento sigue el descrito por Rocscience para el análisis retrospectivo de propiedades de materiales en Slide2 (Tutorial 19), según el cual a las variables se les asigna distribución uniforme con el fin de que las muestras se generen uniformemente sobre el intervalo especificado de cada una.

Tabla 51. Variables aleatorias declaradas en el análisis probabilístico de sensibilidad del Suelo Residual (Qsr).

Variable	Distribución	Media	Rel. mín.	Rel. máx.	Intervalo absoluto
Cohesión c′ (kPa)	Uniforme	0	0	30	0 – 30
Ángulo de fricción φ′ (°)	Uniforme	29,6	9,6	5,4	20,0 – 35,0

Nota. Los valores relativos mínimo y máximo se aplican sobre la media.

Fuente: Elaboración propia. Configuración del módulo Material Statistics de Slide.

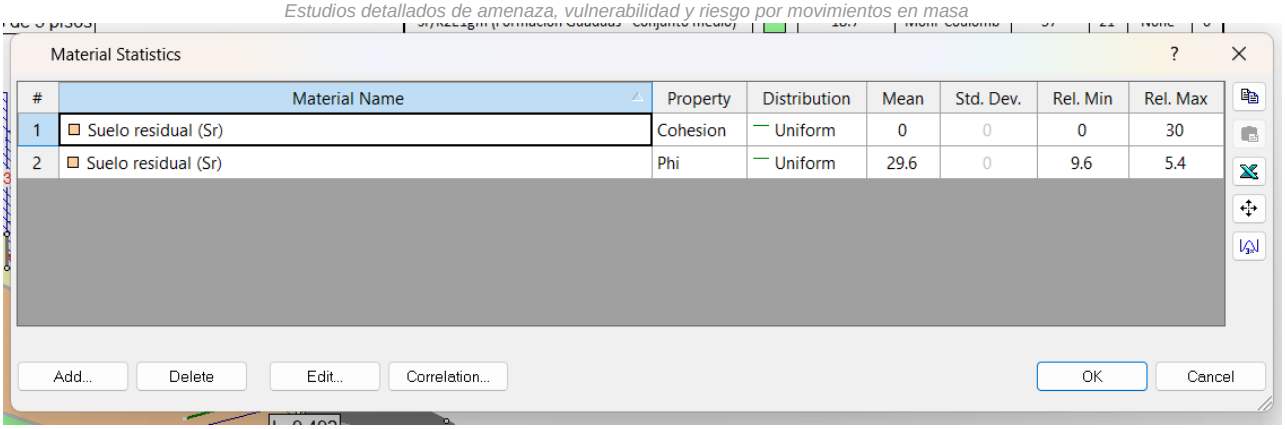


Figura 82. Configuración de las variables aleatorias del Suelo Residual (Qsr) en el módulo Material Statistics de Slide.

Fuente: Elaboración propia.

Condición modelada: la actual. Análisis estático, sin coeficiente sísmico, con las cargas de 30 kN/m² en las explanaciones de las edificaciones existentes y con la superficie freática registrada en el sondeo SA-1. Los materiales de relleno y el macizo rocoso conservan los parámetros establecidos en los numerales precedentes y no se hacen variar. El análisis se ejecuta sobre la superficie de falla definida, sin búsqueda de la superficie crítica.

Resultados del análisis probabilístico: Con los parámetros por correlación como valor medio, el modelo arroja un factor de seguridad determinístico de 0,771, un factor de seguridad medio de 1,479 sobre las 1 000 muestras, una probabilidad de falla de 18,3 % y un índice de confiabilidad de 1,051 para distribución normal y 1,149 para lognormal. El factor determinístico inferior a la unidad frente a un factor medio superior confirma que el valor central adoptado por correlación se sitúa en la región del dominio que no reproduce la condición observada en campo.

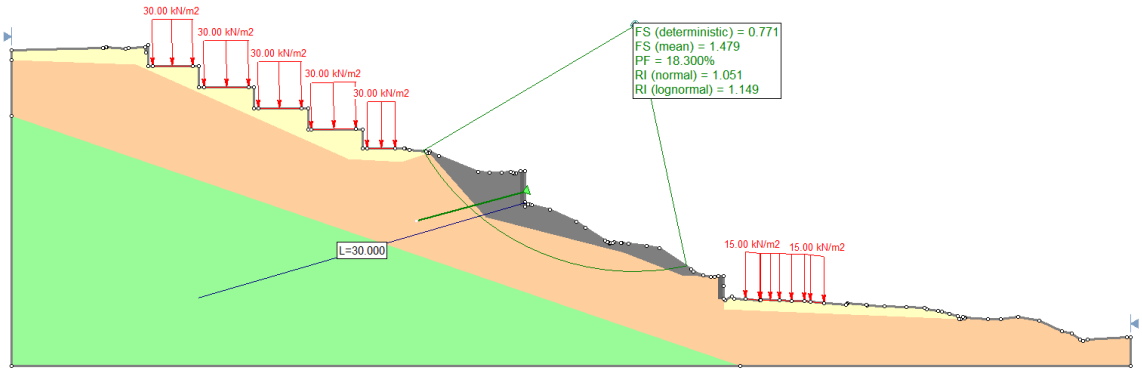


Figura 83. Superficie de falla asumida en la sección B-B' y resultados del análisis probabilístico en la condición actual.

Fuente: Elaboración propia.

Obtención de la envolvente de equilibrio: Filtrando las muestras cuyo factor de seguridad por el método de Spencer se encuentra en el intervalo 0,99 ≤ FS ≤ 1,01 se obtienen once parejas (c′, φ′). Dichas parejas se alinean sobre una recta con coeficiente de correlación de −0,998, cuya expresión es:

$$\varphi' = 37{,}18 - 1{,}786 \cdot c'$$

Ecuación 11. Recta de parejas (c′, φ′) que reproducen el equilibrio del talud (FS = 1) en la sección B-B′, obtenida del análisis retrospectivo.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis probabilístico en Slide, siguiendo el procedimiento de Rocscience (Slide2, Tutorial 19 – Back Analysis of Material Properties). Coeficiente de correlación −0,998; once parejas con 0,99 ≤ FS ≤ 1,01 por el método de Spencer.

Cualquier punto de esta recta reproduce el equilibrio observado del talud; el análisis retrospectivo, por sí mismo, no permite discriminar entre ellos.

Selección de la pareja representativa: La selección se efectuó atendiendo a la componente arcillosa del material. El Suelo Residual de Arborizadora Alta clasifica como arcilla de baja a media plasticidad (CL, CI), con un contenido de finos del 66,0 % y un índice de plasticidad entre 16 y 40, según los ensayos consignados en el numeral 3.3.1.2.1. Una cohesión nula resulta incompatible con dicha composición, del mismo modo que un ángulo de fricción próximo al extremo superior de la recta —que exigiría cohesión nula— sería propio de un material granular. Se adopta en consecuencia la pareja señalada en la figura, situada en el tramo de la recta compatible con un material cohesivo: c′ = 9,57 kPa y φ′ = 20,09°.

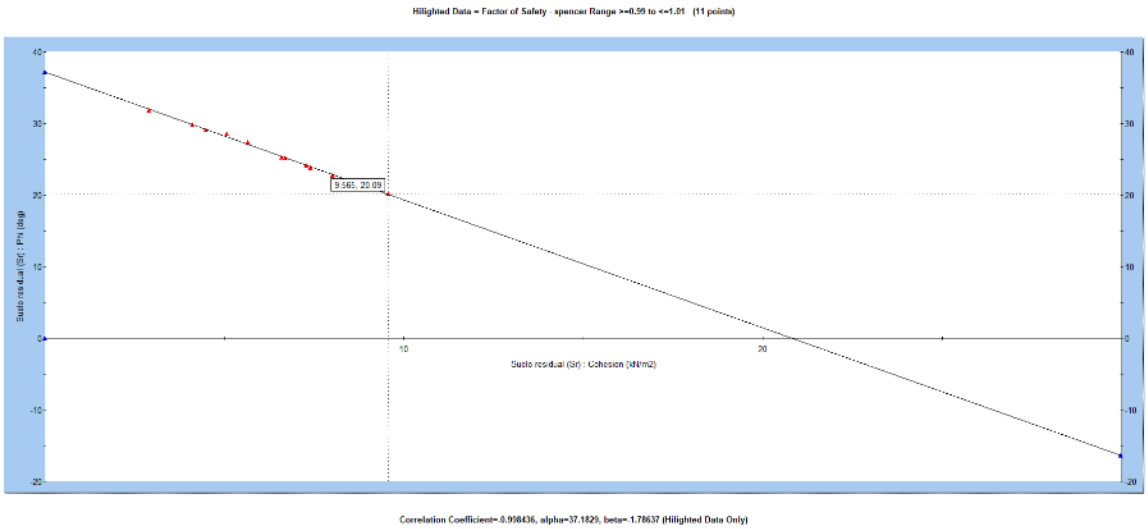


Figura 84. Parejas (c', φ') con factor de seguridad entre 0,99 y 1,01 por el método de Spencer. Se señala la pareja adoptada (c' = 9,57 kPa; φ' = 20,09°), seleccionada por la componente arcillosa del material.

Fuente: Elaboración propia.

Verificación por una vía independiente: La pareja retroanalizada se contrasta con el rango estimado por GEO5® para el mismo material en el numeral precedente: φ′ef = 17 – 21° y c′ef = 8 – 16 kPa. Ambos parámetros del análisis retrospectivo caen dentro de dichos rangos. Se trata de dos procedimientos independientes entre sí —uno fundado en la geometría real del talud y su condición de equilibrio, y otro en

la clasificación granulométrica y los límites de consistencia del material— que convergen en los mismos valores y que difieren, ambos, de la correlación con el ensayo de penetración estándar. Esta convergencia constituye el sustento de la adopción.

Tabla 52. Contraste de los parámetros del Suelo Residual (Qsr) obtenidos por tres procedimientos independientes.

Procedimiento	c′ (kPa)	φ′ (°)	Observación
Correlación con N_{60} (González, 1999)	0	29,6	FS = 0,771 en la condición actual: no reproduce el talud en pie
Estimación con GEO5® (numeral 3.3.1.4.3)	8 – 16	17 – 21	Rango a partir de granulometría y límites de consistencia
Análisis retrospectivo (FS = 1)	9,57	20,09	Adoptado. Dentro del rango de GEO5® en ambos parámetros

Fuente: *Elaboración propia.*

Adopción: Para el Suelo Residual (Qsr) de Arborizadora Alta se adoptan los parámetros del análisis retrospectivo, c′ = 9,57 kPa y φ′ = 20,09°, en reemplazo de los obtenidos por correlación con el N_{60}. La correlación con el ensayo de penetración estándar se conserva en el numeral 3.3.1.4.1 como referencia del procedimiento, pero no se lleva a los modelos de estabilidad por no reproducir la condición observada del talud.

3.3.1.4.5 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.

3.3.1.5 Resistencia de macizos rocosos

El macizo rocoso del sector corresponde a la Formación Guaduas, tratada aquí como una sola unidad de roca (K2E1gm). Su resistencia al corte se estimó por el criterio de Hoek-Brown con clasificación RMR, según el CCP-14 numeral 10.4.6.4. A continuación se presenta la unidad, desde la resistencia de la roca intacta hasta los parámetros de corte instantáneos.

Tabla 53. Recobro y RQD registrados en el sondeo SA-1, Formación Guaduas.

Muestra	Tipo	Prof. (m)	Litología (unidad)	Recobro (%)	RQD (%)
14	NQ	9,5–11,0	Bloques de arenisca en matriz de arcilla (K2E1gm)	22	—
15–20	NQ	11,0–20,0	Arcillolita (K2E1gm)	23–38	—
22–25	NQ	21,5–27,5	Arcillolita (K2E1gm)	38–42	—
26	NQ	27,5–29,0	Arcillolita (K2E1gm)	44	11
27	NQ	29,0–30,5	Arcillolita (K2E1gm)	46	17

Nota. Recobro y RQD medidos en las maniobras de núcleo (NQ). Las maniobras intermedias no registran RQD.

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

Tabla 54. 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 55. 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)	1,028 (mediana)	4	23,1	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 14).

Fuente: Elaboración propia con base en ISRM (1985) y Bieniawski (1974).

Tabla 56. 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
90 – 100	Excelente

Fuente: Deere (1964).

Tabla 57. RQD medido por unidad y calidad del macizo rocoso. Valores del registro de perforación del sondeo SA-1.

Unidad	RQD (%)	Profundidad de medida (m)	Calidad del macizo (Deere, 1964)
Formación Guaduas (K2E1gm)	11 – 17	27,5 – 30,5	Muy pobre

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

La roca intacta de la Formación Guaduas presenta resistencia muy baja (qu = 23,1 MPa) según Bieniawski (1974), y la calidad del macizo es muy pobre (RQD = 11–17 %, Deere 1964). Esta combinación —una masa de arcillolita meteorizada y fracturada, con lentes y bloques de arenisca de mayor dureza— es coherente con la descripción de campo del sondeo SA-1 y 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.

Correlación con la exploración geofísica: La línea de refracción sísmica y de ondas superficiales (ReMi) LSA-1, ejecutada en el sector de Arborizadora Alta, corrobora de forma independiente el modelo: la cobertura de baja velocidad alcanza aquí su mayor espesor del estudio (4 a 8 m), y el material muy competente (Vs ≈ 1 050 m/s; Vp > 1 800 m/s) se presenta desde aproximadamente 9,5 m de profundidad. Ese techo concuerda con el techo de roca registrado en el sondeo SA-1 (9,50 m). El Vs30 es de 477 m/s, que clasifica el perfil de suelo como tipo C según la Tabla A.2.4-1 del Reglamento NSR-10.

Tabla 58. Correlación de la exploración geofísica (línea LSA-1, sector Arborizadora Alta) con el modelo geológico-geotécnico.

Línea	Capa	Prof. (m)	Vs (m/s)	Unidad del modelo	Correspondencia con la exploración directa
LSA-1	1	0,0 – 4,0 a 8,0	120 – 240	Capa orgánica, rellenos (Qri/Qra) y Suelo Residual (Qsr)	Cobertura blanda; es la de mayor espesor del estudio
LSA-1	2	hasta ≈ 9,5	creciente	Fm. Guaduas meteorizada (K2E1gm)	Saprolito; consistente con RQD 11–17 % y arcillolita friable en SA-1
LSA-1	3	> ≈ 9,5	≈ 1 050	Fm. Guaduas (K2E1gm) competente	Vp > 1 800 m/s; techo del material competente ≈ 9,5 m

Nota. Vs30 = 477 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.

3.3.1.5.1 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 59. 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.

3.3.1.5.1.1 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 = 23,1 MPa se estimó a partir del índice de carga puntual Is50 (4 ensayos, mediana 1,028 MPa) mediante qu = k·Is50 con k = 22,5 (ISRM 1985, rango 20 a 25). Este valor promedia los lentes y bloques de arenisca con la masa de arcillolita que constituye el grueso de la unidad entre 11,0 y 29,0 m, y gobierna la magnitud de la resistencia del macizo en el criterio de Hoek-Brown.

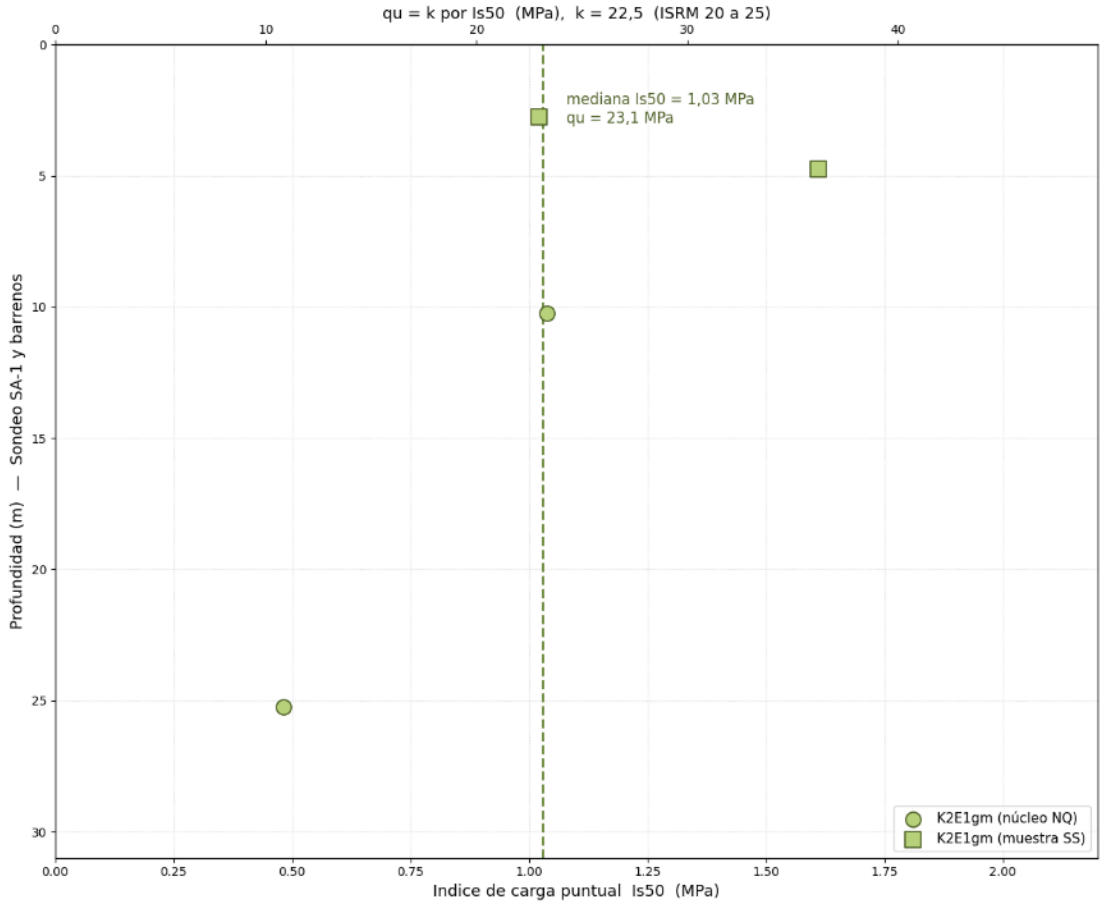


Figura 85. Índices de carga puntual Is50 medidos en el sondeo SA-1 y resistencia a la compresión inconfinada estimada qu = k·Is50 (k = 22,5; ISRM 20 a 25), para la Formación Guaduas (K2E1gm). La línea discontinua marca la mediana de Is50 de la unidad.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.5.1.2 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 60. 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 = 23,1 MPa) cae en el rango 10–25 MPa y la calidad del núcleo (RQD = 11–17 %) en el rango < 25 %. El espaciamiento y la condición de las juntas se adoptan con el mismo criterio aplicado en los demás sectores del estudio. La valoración de agua subterránea se adopta en 4 (agua a presión moderada) por encontrarse el macizo bajo el nivel freático registrado a 6,00 m y por las pérdidas de circulación de agua de perforación de hasta 70 % anotadas en el registro de SA-1; es una adopción conservadora, pues no se midió la presión de agua en las juntas.

3.3.1.5.1.3 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

3.3.1.5.1.4 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.

3.3.1.5.1.5 Constantes m y s (tabla 10.4.6.4-4)

El macizo corresponde al tipo de roca B — rocas litificadas arcillosas (lodolita, limolita, lutita, pizarra). Las constantes del criterio de Hoek-Brown se obtienen de la Tabla 10.4.6.4-4 en función del tipo de roca y de la calidad del macizo (RMR).

Como el RMR = 17 no coincide con un anclaje de la tabla, m y s se interpolan entre los valores tabulados: m de forma lineal en el RMR y s de forma logarítmica (pues s abarca varios órdenes de magnitud). Se obtiene:

m = 0.0317 s = 1.08e-06

3.3.1.5.1.6 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 12. 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 13. 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 14. 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 15. 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 16. Cohesión instantánea c_i del macizo rocoso.

Fuente: CCP-14, Ec. C10.4.6.4-1.

Evaluando para los esfuerzos normales de análisis:

Tabla 61. Resistencia al corte del macizo por esfuerzo normal (Hoek-Brown)

σn (MPa)	h	φ'i (°)	τ (MPa)	ci (MPa)
0.100	1.7341	29.05	0.085	0.029
0.250	2.8266	21.02	0.153	0.057
0.500	4.6474	15.85	0.234	0.092

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).

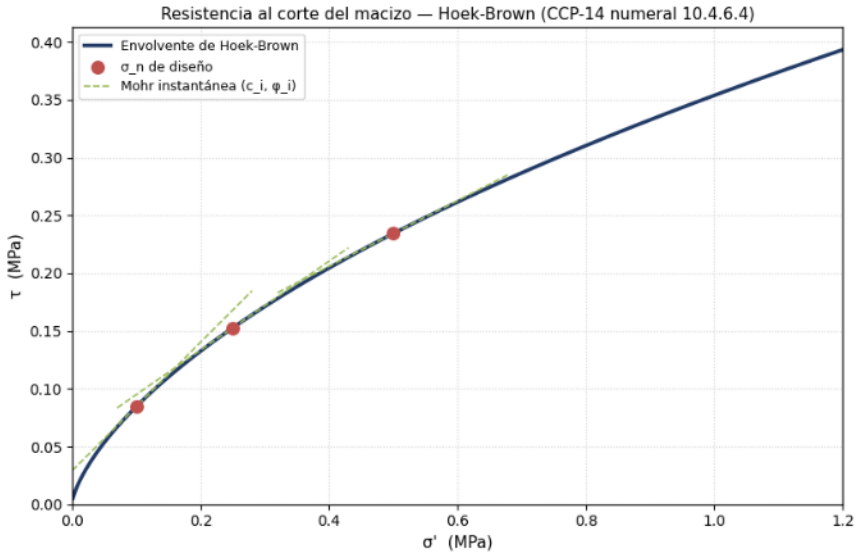


Figura 86. Envolvente de resistencia τ – σ' del macizo (Hoek-Brown)
Fuente: Elaboración propia.

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.

3.3.1.6 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 62. Resumen de la clasificación y propiedades índice por material de suelo

Material	Naturaleza	USC	w (%)	LL (%)	IP (%)	% < No.200	Potencial expansivo
Capa orgánica	orgánico	GC	15.5	36	14	47	Marginal
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	granular	GC	4.3–6.5	25	10–12	15.3–15.5	Marginal
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	granular	GC, CL, SC	9.2–22.7	25–33	12–17	22.4–52.5	Marginal
Suelo Residual (Qsr)	cohesivo	SC, CL, GC, CH	10.1–22.0	32–59	16–40	29.1–98.3	Sí (Muy Alto)

Nota. Naturaleza (granular/cohesivo): se asigna por la fracción predominante según el SUCS (ASTM D2487); el material es granular cuando menos del 50 % pasa el tamiz No. 200. Las clasificaciones GP-GM, GC, GP-GC, SC, SM y SP-SM son suelos gruesos (grava o arena con finos): las unidades así clasificadas presentan % < No. 200 mayoritariamente inferior al 50 %, por lo que son predominantemente granulares. Los códigos finos que aparecen en algunas muestras (CL, CH) corresponden a la fracción minoritaria y no modifican la naturaleza predominante de la unidad.

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 63. 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
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	19.4	φ′=30.2°, c′=5.0 kPa	22.0 / 0.3
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	19.3	φ′=28.3°, c′=4.7 kPa	6.6 / 0.3
Suelo Residual (Qsr)	18.5	φ′=29.6°, c′=0 kPa	8.4 / 0.28

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 64. 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)	23,1	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 SA-1 aporta el recobro (22–46 % en las maniobras de núcleo NQ) y el RQD (11–17 %), 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, con el mismo criterio aplicado en los tres sectores del estudio, 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 65. 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
Depósitos de Relleno Ingenieril (Qri)	Mohr-Coulomb	19,4	20,6	5,0	30,2	—	—	—	—	0,5	0
Depósitos de Relleno de Adecuación (Qra)	Mohr-Coulomb	19,3	20,4	4,7	28,3	—	—	—	—	0,5	0
Suelo Residual (Qsr)	Mohr-Coulomb (retroanálisis)	18,5	19,6	9,57	20,09	—	—	—	—	0,5	0
Formación Guaduas (K2E1gm)	Hoek-Brown	18,7	18,7	—	—	23100	0,0317	0,00000108	0,50	0,35	0
Formación Guaduas (K2E1gm)	Mohr-Coulomb equivalente (σn = 0,25 MPa)	18,7	18,7	57	21,0	—	—	—	—	0,35	0

Nota. γ = peso unitario total; γsat = peso unitario saturado; c′ y φ′ = parámetros de Mohr-Coulomb; σci, m y s = parámetros de Hoek-Brown. 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. El Ru = 0,5 de la Formación Guaduas corresponde a su posición bajo el nivel freático registrado a 6,00 m en SA-1. Los parámetros del Suelo Residual (Qsr) provienen del análisis retrospectivo del numeral 3.3.1.4.4 y no de la correlación con el N_{60}. 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 Arborizadora Alta, 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 — Arborizadora Alta

En el polígono de Arborizadora Alta se definieron cuatro secciones de análisis dispuestas en arreglo cruzado sobre el sector de la ladera. La sección A–A', de orientación noroeste–sureste y 121,1 m de longitud, se traza en la dirección de máxima pendiente y constituye la sección longitudinal principal. Las secciones B–B', C–C' y D–D', de orientación suroeste–noreste y longitudes entre 80,4 y 98,7 m, se disponen transversalmente a la ladera para caracterizar la geometría del talud a distintas cotas. El trazado se sustenta en los apiques APA-1 y APA-2, los barrenos BRA-1 y BRA-2 y el sondeo SA-1, localizados en la zona de intersección de las secciones, así como en la línea sísmica de refracción LSA-1 (115 m), dispuesta en sentido norte–sur para la caracterización del perfil de velocidades del sector.

ESPACIO DEJADO INTENCIONALMENTE

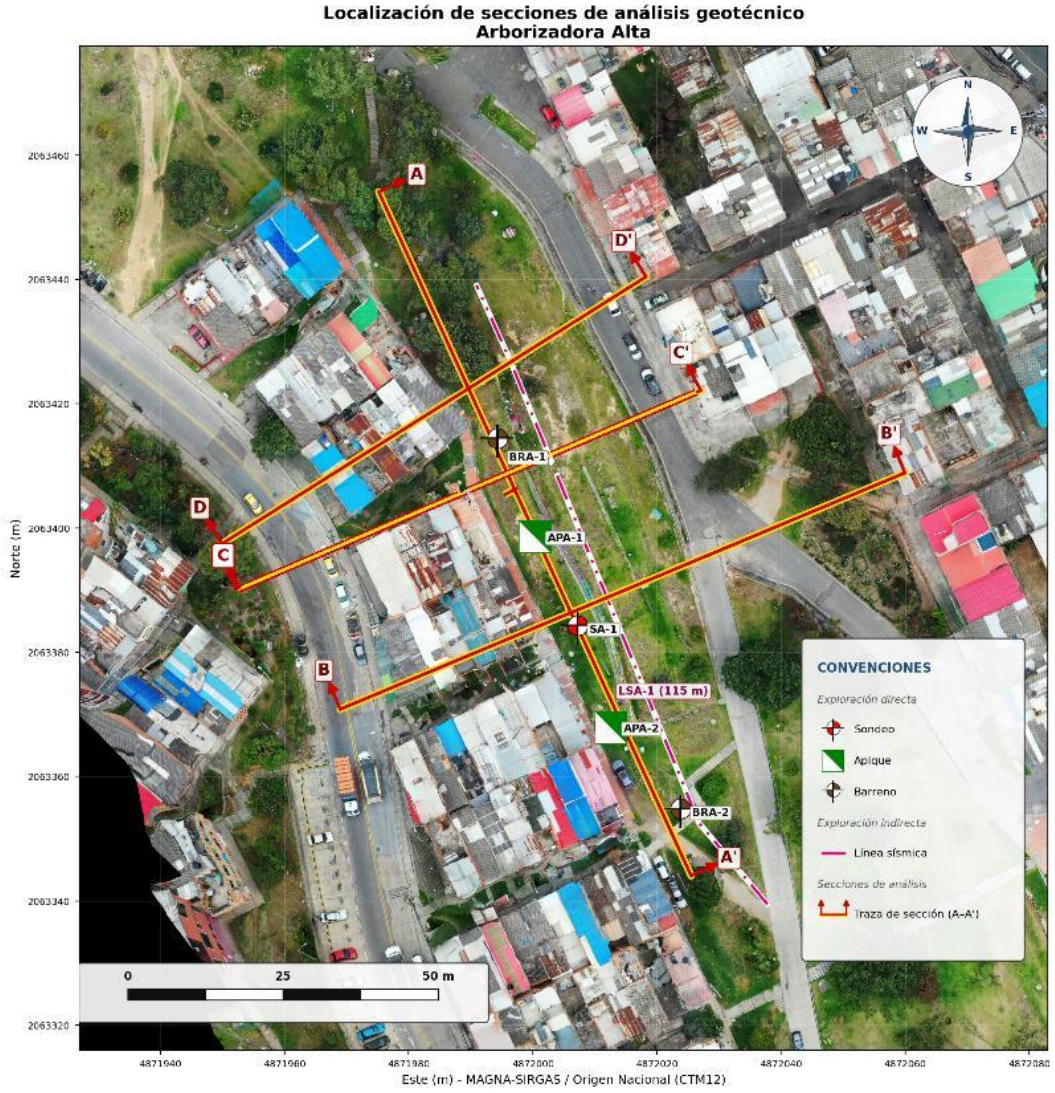


Figura 87. Localización de las secciones de análisis geotécnico sobre ortomosaico. Arborizadora Alta.

Tabla 66. Coordenadas de los extremos de las secciones de análisis. Arborizadora Alta.

Sección	Punto inicial (Este, Norte) [m]	Punto final (Este, Norte) [m]	Long. [m]	Orientación
A–A'	91.450,1 E ; 97.470,4 N	91.500,7 E ; 97.360,3 N	121,1	NW–SE
B–B'	91.444,1 E ; 97.387,0 N	91.535,1 E ; 97.425,2 N	98,7	SW–NE
C–C'	91.428,3 E ; 97.406,6 N	91.502,1 E ; 97.438,5 N	80,4	SW–NE

Sección	Punto inicial (Este, Norte) [m]	Punto final (Este, Norte) [m]	Long. [m]	Orientación
D–D'	91.425,0 E ; 97.413,7 N	91.493,3 E ; 97.456,8 N	80,7	SW–NE

Tabla 67. Exploración geotécnica directa de soporte. Arborizadora Alta.

Punto	Tipo de exploración	Este [m]	Norte [m]
SA-1	Sondeo	91.482,2	97.400,1
BRA-1	Barreno	91.469,3	97.430,2
BRA-2	Barreno	91.498,9	97.370,6
APA-1	Apique	91.475,5	97.414,8
APA-2	Apique	91.487,8	97.384,1

Tabla 68. Líneas sísmicas de refracción de soporte. Arborizadora Alta.

Línea	Long. [m]	Punto inicial (Este, Norte) [m]	Punto final (Este, Norte) [m]
LSA-1	115,0	91.513,0 E ; 97.355,7 N	91.465,9 E ; 97.455,4 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 Arborizadora Alta 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 Arborizadora Alta se localiza en la zona de respuesta sísmica Cerros, definida en el

Mapa 2 del Decreto 523 de 2010, consistente con su emplazamiento sobre relieves de ladera con roca somera.

Tabla 69. *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
Arborizadora Alta	4.572726	-74.154269	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 70. *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:

$$a_{max} = A_o = 0.18\ g$$

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 71. *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 72. *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 73. *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·Aa·Fa = 0.506 g.

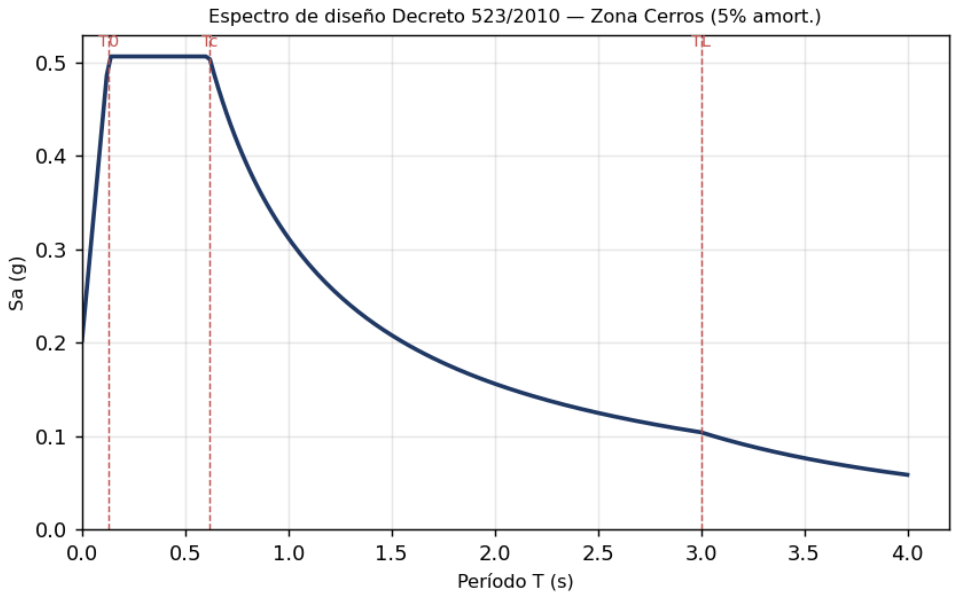


Figura 88. Espectro elástico de diseño de la zona Cerros (Decreto 523 de 2010, 5% de amortiguamiento).

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 5 – Arborizadora Alta se localiza en la Zona Geotécnica Cerros B. Geológicamente, esta unidad se caracteriza por secuencias litoestratigráficas dominadas por arcillolitas; desde la perspectiva geomorfológica corresponde a vertientes de moderada a alta pendiente conformadas por materiales arcillosos de consistencia blanda a media. En términos geomecánicos, estos materiales presentan una competencia moderada a baja y una alta susceptibilidad a la meteorización.

El marco regional es consistente con los resultados de la exploración de detalle del presente estudio: el basamento corresponde a la Formación Guaduas (K2E1gm) y el perfil de suelos está conformado por suelos residuales arcillosos de alta plasticidad, con potencial expansivo, y por rellenos antrópicos de adecuación, materiales típicos de la unidad Cerros B y determinantes del comportamiento geotécnico del sitio (numeral 3.3.1).

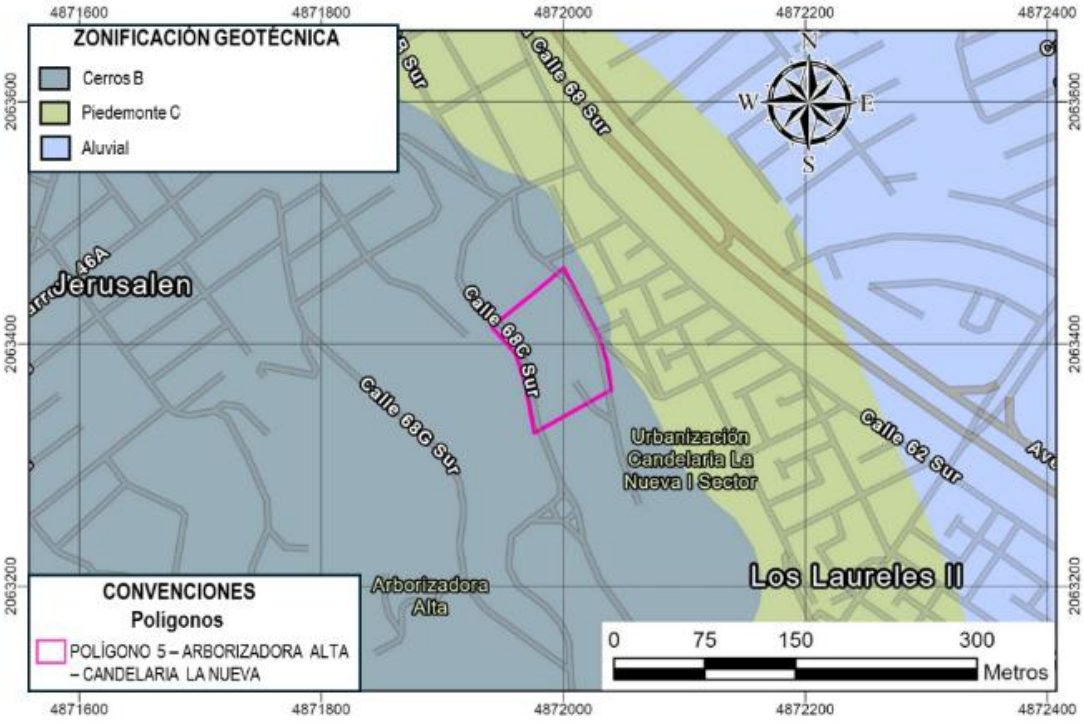


Figura 89. Ubicación del Polígono 5 – Arborizadora Alta en la Zona Geotécnica Cerros B (zonificación geotécnica regional).

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 tres zonas de comportamiento geotécnico homogéneo, cuya distribución espacial se presenta en la Figura 90 y cuyas características se sintetizan en la siguiente tabla:

Tabla 74. Zonificación geotécnica de detalle – Arborizadora Alta.

Zona	Materiales (unidades del modelo)	Espesores típicos	Comportamiento geotécnico
Zona I	Rellenos de adecuación (Qra) sobre suelo residual arcilloso de alta plasticidad y potencial expansivo (Qsr, CH), sobre la Formación Guaduas (K2E1gm)	Qra: 0,15–4,0 m; Qsr: 3,0–9,5 m	Materiales blandos y expansivos con proceso activo: asentamientos diferenciales y agrietamientos asociados al muro de contención existente; tramos con factores de seguridad inferiores a los umbrales normativos
Zona II	Rellenos ingenieriles y de adecuación delgados (Qri, Qra) y suelo residual (Qsr), sobre la Formación Guaduas (K2E1gm)	Qri: 0–2,0 m; Qsr: 3,0–9,5 m	Perfil sin procesos activos identificados; factores de seguridad superiores a los umbrales normativos a lo largo de las secciones
Zona III	Macizo rocoso de la Formación Guaduas (K2E1gm) aflorante, con cobertura de suelo delgada y discontinua	Roca subaflorante; cobertura < 1 m	Comportamiento controlado por el macizo rocoso y sus discontinuidades; cambio de tendencia estructural asociado al paso de una estructura geológica (falla)

Fuente: Elaboración propia.

La Zona I corresponde al sector oriental del predio, donde el perfil está conformado por rellenos de adecuación (Qra, 0,15–4,0 m) dispuestos sobre suelos residuales arcillosos de alta plasticidad y potencial expansivo (Qsr, 3,0–9,5 m, clasificación CH), derivados de la meteorización de la Formación Guaduas. La homogeneidad de la zona está dada por la continuidad de esta secuencia relleno–suelo residual y por la evidencia del proceso activo documentado en el inventario detallado (numeral 3.1): asentamientos diferenciales superiores a 30 cm hacia la cimentación del muro de contención existente y agrietamientos en su parte frontal. Los análisis del numeral 3.4 delimitaron tramos con factores de seguridad inferiores a los umbrales de la Resolución 111 de 2022, con anchos de amenaza alta de 35 m en la sección B–B’ y de 12 a 15 m en la sección C–C’, consistentes con la posición y extensión de esta zona.

La Zona II agrupa el resto del polígono de estudio, donde los rellenos ingenieriles y de adecuación son delgados (0–2,0 m) y el suelo residual conserva un comportamiento mecánico superior, sin evidencias de procesos morfodinámicos activos. En la sección D–D' no se identificaron tramos con factores de seguridad inferiores a los umbrales normativos, y en las secciones restantes los sectores por fuera de la envolvente crítica presentaron factores de seguridad superiores a los límites de amenaza alta, por lo cual la zona 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).

La Zona III se delimitó en el sector norte del polígono, donde aflora el macizo rocoso de la Formación Guaduas (K2E1gm) con una cobertura de suelo delgada y discontinua. En este sector se evidencia el paso de una estructura geológica (falla), puesta de manifiesto por el cambio en la tendencia estructural de las discontinuidades del macizo a uno y otro lado de su traza. El comportamiento geotécnico de la zona está controlado por la roca y por el arreglo de sus discontinuidades, y se diferencia del resto del polígono por la ausencia de la secuencia relleno–suelo residual que caracteriza a las Zonas I y II; su delimitación como zona independiente permite representar esta condición estructural en la cartografía de detalle y orientar la interpretación del modelo geológico-geotécnico (numerales 2.2 y 3.3.1).

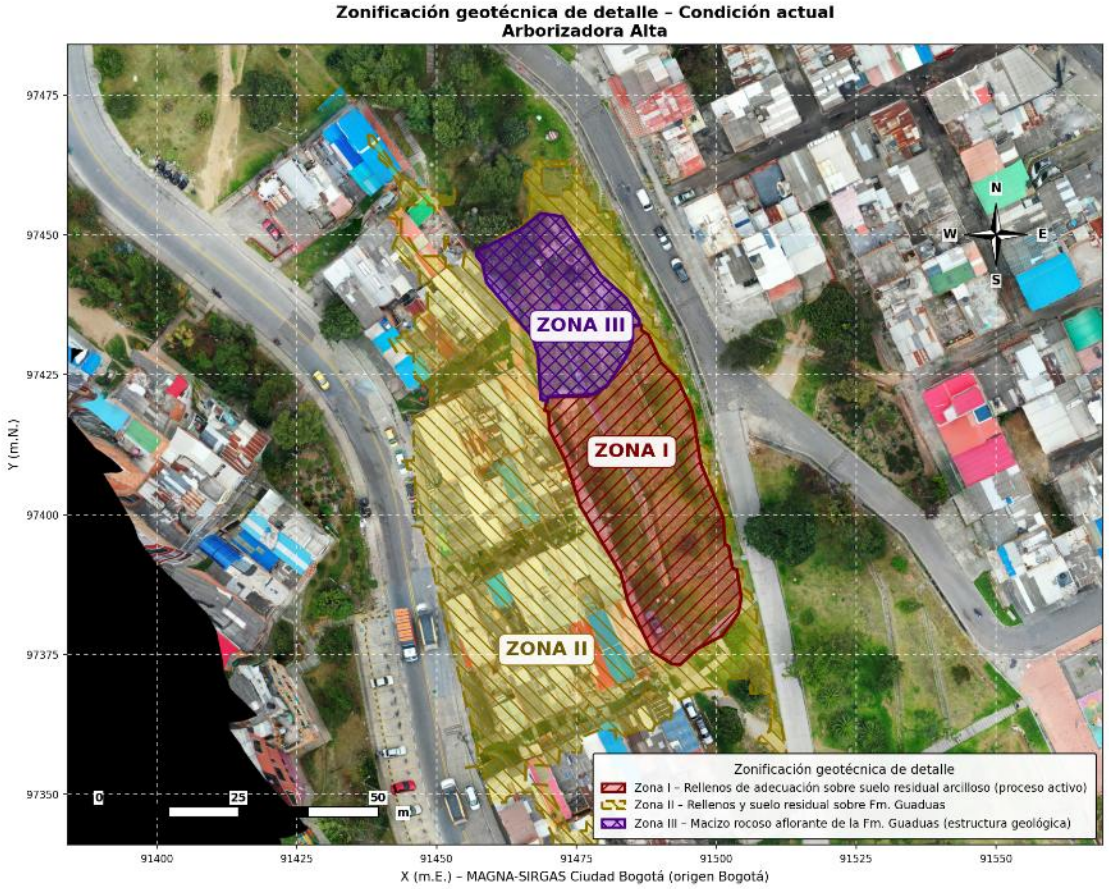


Figura 90. Zonificación geotécnica de detalle – condición actual, Arborizadora Alta. Fuente: Elaboración propia.

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. Por su parte, la Zona III, controlada por el macizo rocoso aflorante, corresponde a un sector de comportamiento geotécnico diferenciado, cuyo límite responde al cambio de tendencia estructural asociado al paso de la estructura geológica identificada. 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. De acuerdo con 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 la ventana de dicha cartografía sobre el área de estudio. Según esta información, el polígono se localiza predominantemente en amenaza media, con franjas de amenaza baja hacia los costados y sin sectores de amenaza alta en el interior del área. Esta condición precedente, de carácter indicativo y escala urbana, se precisa a escala 1:1.000 mediante los análisis de detalle que se presentan en los numerales siguientes.

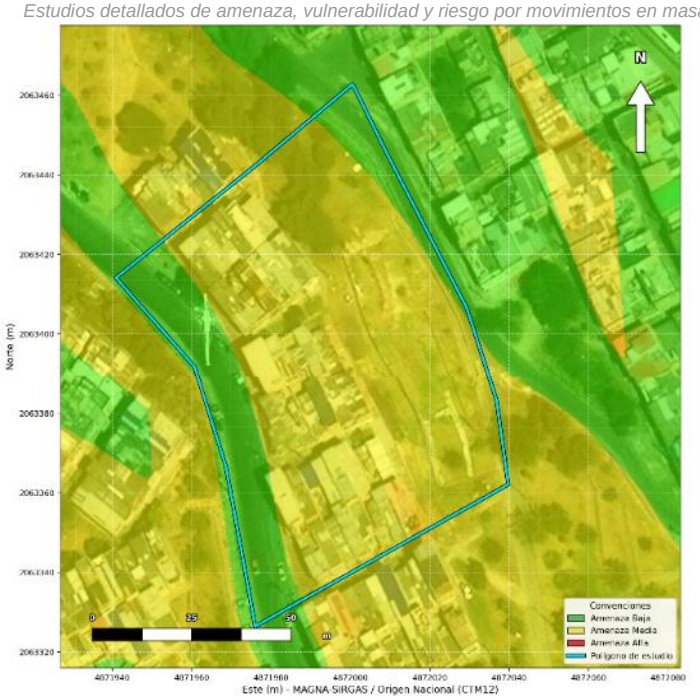


Figura 91. Amenaza por movimientos en masa urbano (cartografía oficial POT, IDIGER) sobre el área de estudio – Arborizadora Alta.
Fuente: Elaboración propia a partir del geoservicio Mapas Bogotá – capa "Amenaza movimientos en masa urbano" (IDIGER), consulta de julio de 2026.Verde: amenaza baja; amarillo: amenaza media; línea cian: delimitación del polígono de estudio Arborizadora Alta.

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 75.

Tabla 75. Descripción de las amenazas en Arborizadora Alta.

EVENTO	DESCRIPCION DEL EVENTO: MAGNITUD Y FRECUENCIA	DESCRIPCION DEL TIPO DE AMENAZA
Reptación y deformación progresiva de los depósitos superficiales, con componente rotacional y generación de empujes laterales sobre las estructuras de contención.	Movimiento lento asociado a la saturación de los depósitos superficiales y materiales arcillosos, con incremento de presiones de poros y reducción de la resistencia al corte. Se evidencian grietas y desplazamientos en el muro de contención, barandas y cimentaciones cercanas.	Amenaza por movimiento en masa lento, tipo reptación, con posible componente rotacional y afectación de viviendas e infraestructura.

Fuente: Elaboración propia.

Los procesos potenciales de inestabilidad asociados con los rellenos antrópicos y los suelos residuales se encuentran condicionados principalmente por su distribución espacial, espesor, propiedades geomecánicas y relación con la geometría del terreno. De acuerdo con la cartografía geológica de detalle y los resultados de la exploración del subsuelo, el espesor de estos materiales oscila entre 4 m rellenos antrópicos y 5.5 m de suelos residuales, encontrando el estrato competente (arenisca meteorizada) a 9.5 m de profundidad. Considerando que el mecanismo identificado corresponde principalmente a un proceso de reptación y deformación progresiva de baja velocidad, no se esperan desplazamientos rápidos ni distancias de viaje significativas más allá del sector delimitado por las superficies críticas de falla obtenidas en los análisis de estabilidad. 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 76. 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, conforme al proceso descrito en la tabla "*Descripción de las amenazas en Porvenir de la Estancia II*" 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 a los procesos de inestabilidad observados 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 B-B' (ejemplo ilustrativo), la franja de amenaza alta en condiciones normales se delimitó en un ancho aproximado de 35 m, entre las progresivas 30 m y 65 m, tal como se muestra en la figura y en el recuadro resaltado en color rojo.

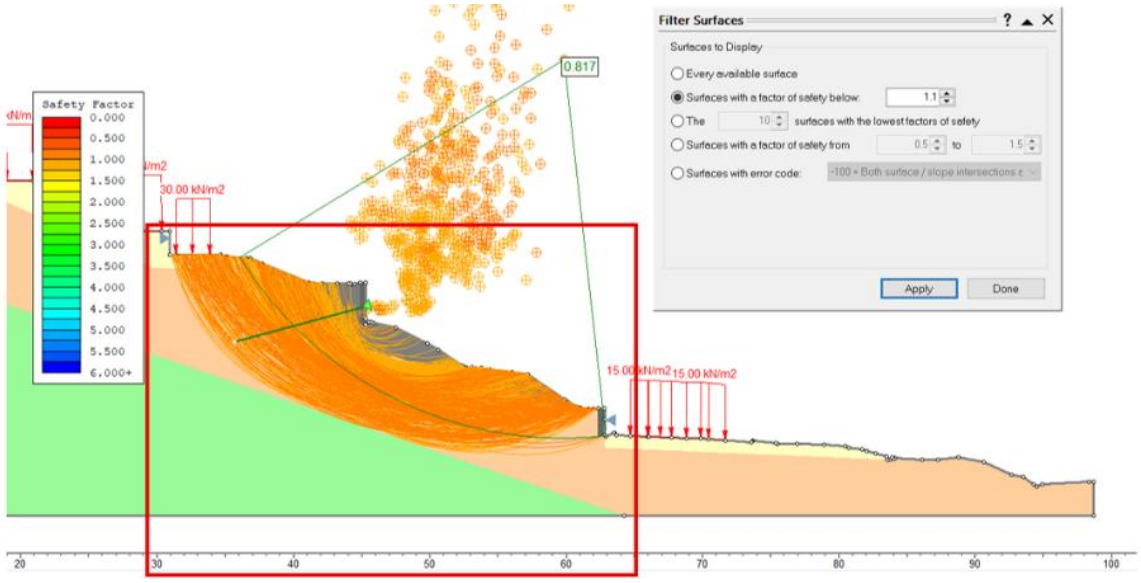


Figura 92. Análisis en condición estática – Sección B-B'.
Fuente: Elaboración propia.

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 figura.

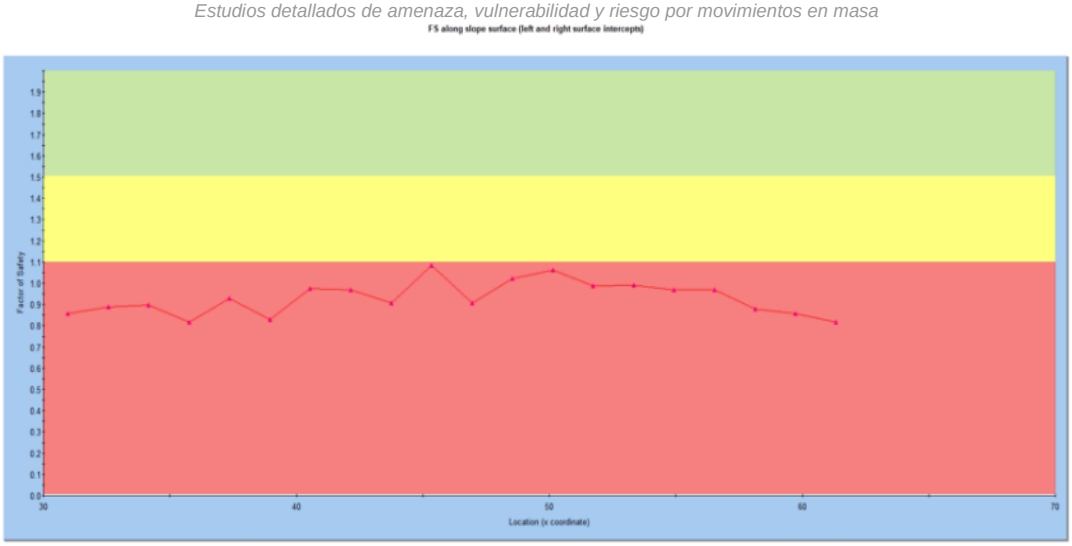


Figura 93. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición estática - Sección B-B'.
Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos, en la *Tabla 75* y *Tabla 78* se resumen las progresivas y los anchos estimados de las franjas de amenaza alta para las condiciones normal en las secciones analizadas.

Tabla 77. Anchos de franjas de amenaza alta para las condiciones normales.

Sección	Condiciones normales (actual)		
	Progresiva inicial	Progresiva final	Ancho estimado
B-B'	30 m	65 m	35 m
C-C'	45 m	57 m	12 m

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación se definió mediante la integración de: (i) los factores de seguridad obtenidos en los análisis de equilibrio límite; (ii) su variación a lo largo de las secciones, utilizada para delimitar franjas de comportamiento geotécnico homogéneo; y (iii) el inventario de procesos morfodinámicos y 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 94. 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 B-B’ (ejemplo ilustrativo), la franja de amenaza alta se delimitó en un ancho aproximado de 35 m, entre las progresivas 30 m y 65 m, tal como se muestra en la figura y en el recuadro resaltado en color rojo.

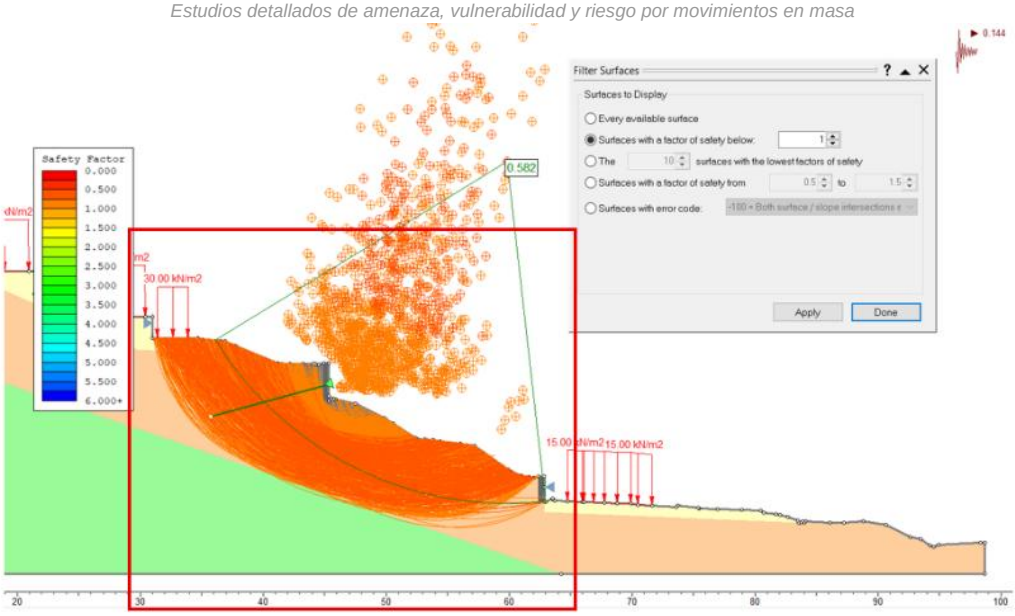


Figura 95. Análisis en condición pseudoestática – Sección B-B'
Fuente: Elaboración propia.

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 con 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 siguiente figura.

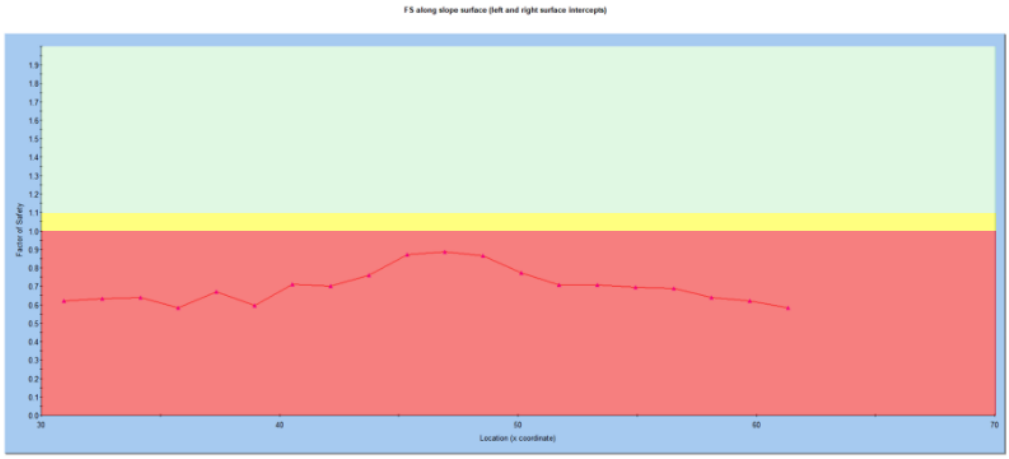


Figura 96. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición pseudoestática- Sección B-B'.
Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos, en la **Tabla 78** se resumen las progresivas y los anchos estimados de las franjas de amenaza alta para las condiciones extrema en las secciones analizadas.

Tabla 78. Anchos de franjas de amenaza alta para las condiciones extremas.

Sección	Condiciones pseudoestática (futura)		
	Progresiva inicial	Progresiva final	Ancho estimado
B-B’	30 m	65 m	35 m
C-C’	42 m	57 m	15 m

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación se definió mediante la integración de: (i) los factores de seguridad obtenidos en los análisis de equilibrio límite; (ii) su variación a lo largo de las secciones, utilizada para delimitar franjas de comportamiento geotécnico homogéneo; y (iii) el inventario de procesos morfodinámicos y 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 97. Análisis de estabilidad y evaluación de amenaza por movimientos en masa- condición extrema sin obra.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 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.

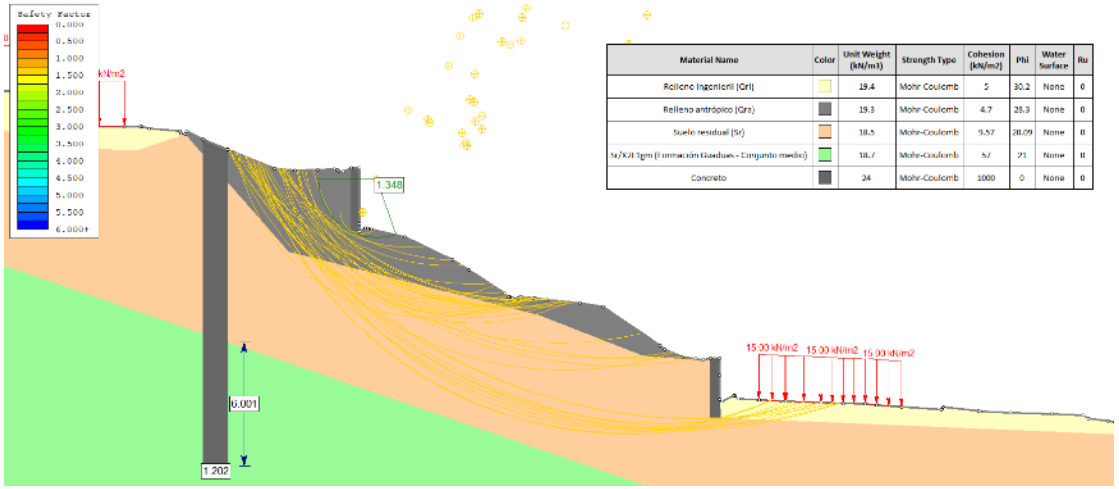


Figura 98. Análisis en condición normal (construcción) Sección B-B'
Fuente: Elaboración propia.

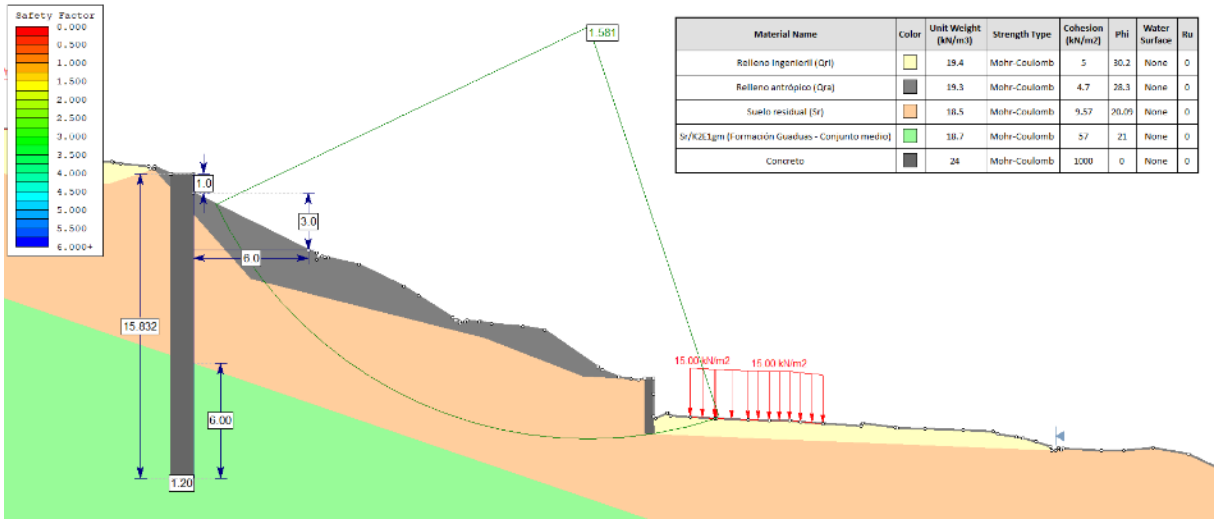


Figura 99. Análisis en condición normal (obra definitiva) Sección B-B'
Fuente: Elaboración propia.

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).

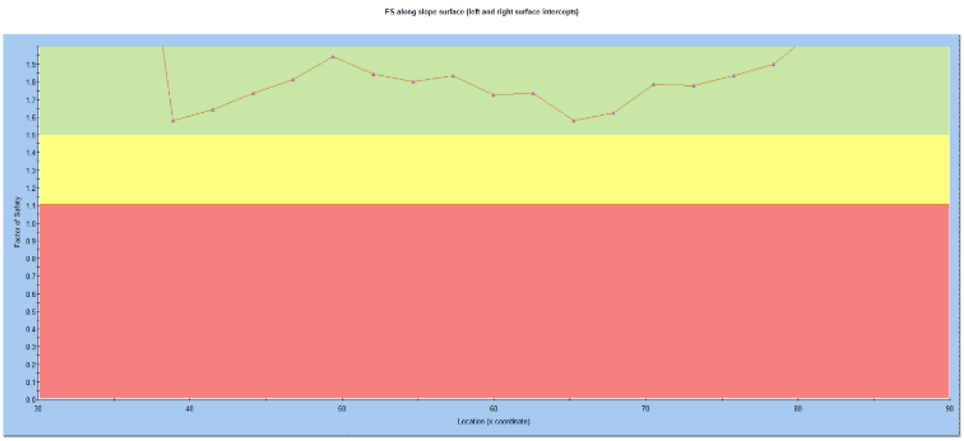


Figura 100. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición estática (Obra) - Sección B-B'
Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.4. AMENAZA CONDICIONES EXTREMAS CON OBRA

Para la condición extrema se incorporaron simultáneamente las condiciones hidrogeológicas más desfavorables razonablemente esperadas durante el periodo de exposición considerado y la acción sísmica de diseño, manteniendo en el modelo la geometría definitiva del talud y los elementos estructurales correspondientes a las obras de estabilización proyectadas.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las elevadas pendientes favorecen la evacuación de las aguas lluvias mediante escorrentía superficial, limitando la infiltración profunda y reduciendo la probabilidad de una saturación generalizada del macizo. En consecuencia, se prevé que la infiltración afecte principalmente los materiales superficiales de origen antrópico. Para representar esta condición en los análisis de estabilidad se adoptó un coeficiente de presión de poros ru = 0,10, valor que representa una condición de humedad elevada en los materiales superficiales sin alcanzar la saturación completa del perfil geotécnico. Adicionalmente, el diseño hidráulico contempla la implementación de cunetas de coronación y obras de conducción superficial, destinadas a interceptar y encauzar las aguas de escorrentía fuera de la zona de influencia del movimiento, reduciendo la posibilidad de infiltración y concentración de caudales sobre el talud.

No obstante, para garantizar las condiciones hidrogeológicas consideradas en los análisis, se recomienda realizar inspecciones y mantenimiento periódico de los drenes y de las estructuras de drenaje superficial proyectadas como parte de las obras definitivas de estabilización, asegurando su adecuada operación durante la vida útil del proyecto.

Los resultados obtenidos para la sección B-B′ indican que la implementación de las obras de estabilización incrementa de manera significativa los factores de seguridad respecto a la condición actual del terreno. En consecuencia, tanto para la condición extrema de agua considerada como para la condición sísmica de diseño, el sector alcanza valores de factor de seguridad compatibles con una categoría de amenaza baja, conforme a los criterios establecidos en la Resolución 111 de 2022 del IDIGER.

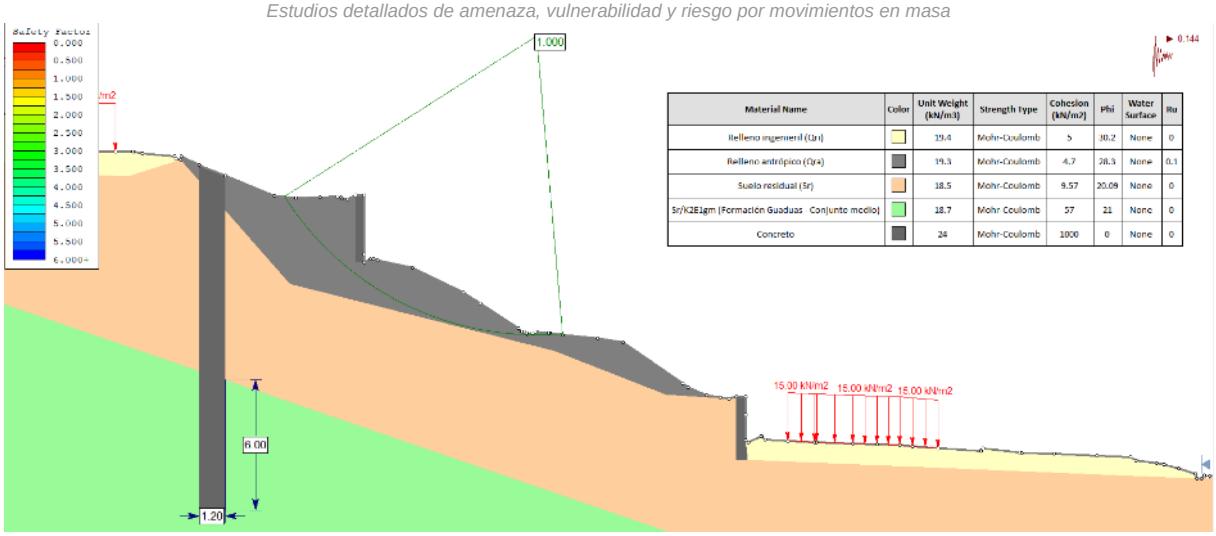


Figura 101. Análisis en condición extrema (construcción) Sección B-B'.
Fuente: Elaboración propia.

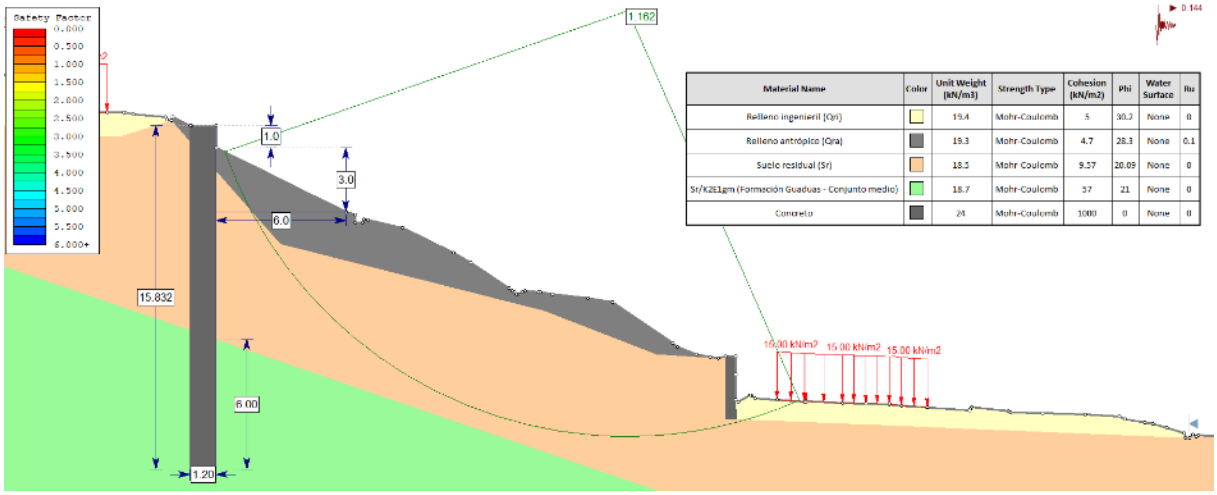


Figura 102. Análisis en condición extrema (Obra) - Sección B-B'
Fuente: Elaboración propia.

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.

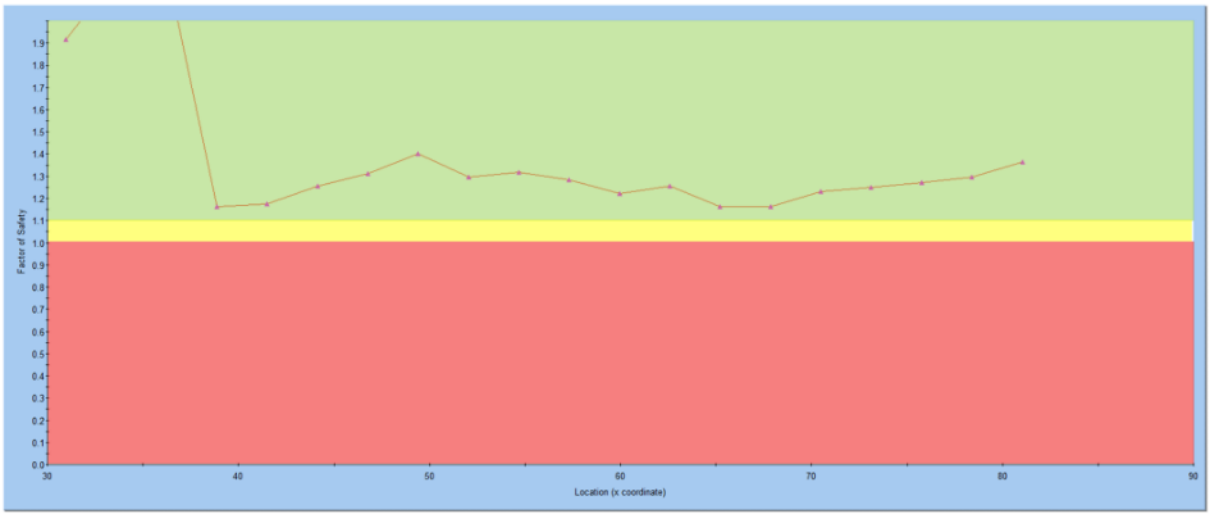


Figura 103. Factores de seguridad vs progresiva talud - condición extrema (Obra)- Sección B-B'.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 CATEGORIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA CON OBRA

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que las obras de mitigación proyectadas permiten controlar el mecanismo principal de inestabilidad asociado a los depósitos superficiales y materiales residuales presentes en el sector, alcanzando condiciones de amenaza baja tanto en condición normal como extrema, de conformidad con los criterios establecidos en la Resolución 111 de 2022 del IDIGER.

No obstante, las edificaciones existentes localizadas sobre rellenos antrópicos podrán continuar presentando susceptibilidad a deformaciones diferenciales relacionadas con las características propias de dichos materiales y con las condiciones particulares de sus sistemas de cimentación. Esta situación corresponde a una condición asociada a la vulnerabilidad física de las edificaciones existentes y no modifica la categorización de amenaza obtenida para el terreno estabilizado.

Por otra parte, las edificaciones localizadas sobre sectores afectados por estructuras geológicas previamente identificadas deberán mantener las restricciones, consideraciones y condicionamientos definidos en los análisis geológicos y geotécnicos correspondientes, independientemente de la reducción de amenaza obtenida mediante las obras de estabilización proyectadas.

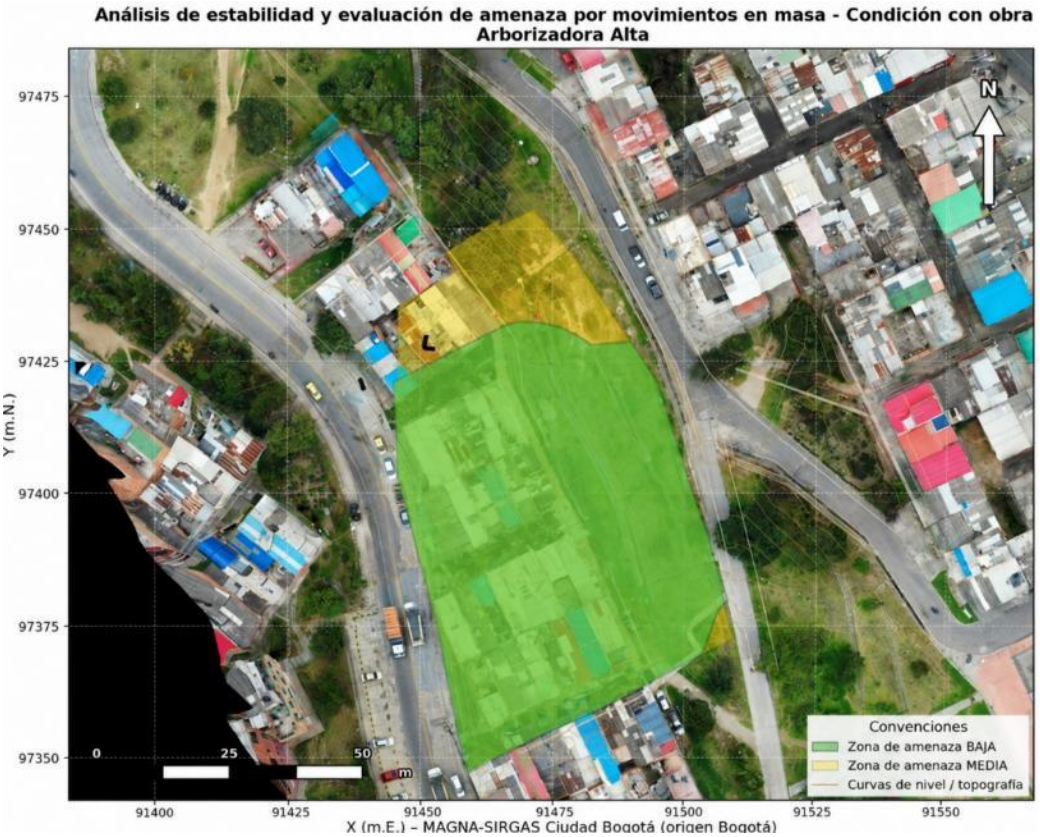


Figura 104. Categorización y zonificación de la amenaza con obra
Fuente: Elaboración propia.

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 FÍSICO - BARRIO LOS LAURELES II – ARBORIZADORA ALTA

Los **Laureles II** es un barrio de la Localidad 19 Ciudad Bolívar (sur de Bogotá), ubicado en la parte baja del sector de Arborizadora Alta. Comparte el código postal 111941 con barrios como Arborizadora Alta, Candelaria La Nueva, San Francisco, Juan José Rondón, Las Acacias, Las Manas, Cerro Colorado, El Satélite, Ronda y Villa. Se localiza en la zona asociada a las UPZ Jerusalén (UPZ 70) y/o adyacente a Arborizadora (UPZ 65) y San Francisco (UPZ 66), cercana a ejes como la Avenida Ciudad de Villavicencio.

Arborizadora Alta (sector al que pertenece la parte baja donde se ubica Los Laureles II) surgió en la década de 1980 a través del programa “Lotes con servicios” del Banco Interamericano de Desarrollo y el Acuerdo 11 de 1983 del Concejo de Bogotá, en el marco del Plan Ciudad Bolívar.

3.5.1.1 Características físicas e infraestructura

Topografía y gestión del riesgo: Se sitúa sobre un terreno de ladera con pendientes moderadas a tempranamente pronunciadas. De acuerdo con las evaluaciones del IDIGER, el sector se encuentra bajo monitoreo preventivo por riesgo de remoción en masa y fenómenos de escorrentía pluvial en temporadas invernales. En la zona, la Alcaldía Local de Ciudad Bolívar y la Unidad de Mantenimiento Vial (UMV) han ejecutado intervenciones para la mitigación del riesgo, tales como estabilización de taludes, muros de contención y canalización de aguas pluviales.

Estratificación y tipología habitacional: Corresponde predominantemente a estratos 1 y 2, típicos del sector de Arborizadora Alta y barrios aledaños. Desarrollo residencial con procesos de consolidación y legalización, combinando vivienda unifamiliar y multifamiliar. Su morfología urbana es resultado de procesos de autoconstrucción progresiva con viviendas de 2 a 4 pisos estructuradas mayoritariamente en mampostería, articuladas con programas de consolidación y legalización urbanística liderados por la

Secretaría Distrital de Planeación (SDP) y acompañamiento técnico de la Caja de Vivienda Popular (primer piso).

Malla vial y movilidad: Forma parte de la red vial local del sector Arborizadora Alta / San Francisco, con acceso a corredores que conectan con la Avenida Ciudad de Villavicencio. El sector cuenta con cobertura de rutas zonales del SITP que sirven la zona de Arborizadora Alta y barrios cercanos, facilitando el enlace con el sistema TransMilenio (Portal del Sur, Portal Tunal - TransMiCable y estaciones cercanas). Cuenta con vías locales y pasajes peatonales con niveles mixtos de pavimentación y adoquinado.

Servicios públicos y equipamientos: Cobertura de acueducto y alcantarillado (EAAB), energía eléctrica, gas natural y aseo urbano (UAESP), propia de barrios legalizados del sector. El entorno de Arborizadora Alta dispone de equipamientos importantes: Centro de Desarrollo Comunitario (CDC) Arborizadora Alta (Calle 70 Sur # 34-05), Biblioteca Pública Arborizadora Alta, Colegio Arborizadora Alta (IED) y la Manzana del Cuidado de Arborizadora Alta (cuarta en Ciudad Bolívar).

3.5.1.2 Características sociales

Perfil demográfico y socioeconómico: Población de estratos bajos a medios-bajos, coherente con el perfil de Arborizadora Alta y la UPZ Jerusalén. La Población Económicamente Activa se vincula a empleos del sector servicios, comercio local, construcción e informalidad, con mayor proximidad a zonas de actividad económica del sur de la ciudad. Muestra un predominio de familias en situación de vulnerabilidad socioeconómica e ingresos bajos.

Organización comunitaria: El sector de Arborizadora Alta y barrios aledaños cuenta con Juntas de Acción Comunal (JAC) reconocidas e inscritas ante el IDPAC y la Secretaría Distrital de Gobierno. La localidad de Ciudad Bolívar ha impulsado el fortalecimiento de JAC y salones comunales mediante Presupuestos Participativos y programas de la Alcaldía Local.

Seguridad y convivencia: Comparte los retos generales de convivencia y seguridad de la localidad de Ciudad Bolívar, atendidos mediante frentes de seguridad local, Policía Metropolitana y articulación interinstitucional de la Alcaldía Local y la Secretaría Distrital de Gobierno.

3.5.1.3 Estructura poblacional por edad y género

Composición por sexo: Registra una distribución coherente con el promedio de la localidad, donde entre el 50,5% y el 51,3% son mujeres y entre el 48,7% y el 49,5% son hombres.

Distribución etaria: Presenta una estructura poblacional mayoritariamente joven:

- Primera infancia e infancia (0 a 11 años): Representa aproximadamente el 21% al 23% de los habitantes.
- Juventud (12 a 28 años): Agrupa cerca del 26% al 29% de la población.
- Adultez (29 a 59 años): Constituye el grupo demográfico principal, abarcando entre el 39% y el 43%.
- Persona mayor (60 años o más): Representa entre el 8% y el 10% del total de residentes, con requerimientos crecientes de servicios sociales de cuidado y salud.

3.5.1.4 Tipología y Conformación de los Hogares

Tamaño promedio del hogar: En el sector, el tamaño del hogar oscila entre 3,5 y 3,9 personas, ubicándose por encima del promedio distrital de Bogotá

Estructura familiar:

- Hogares nucleares: Corresponden al 64% - 66% (parejas con o sin hijos).
- Hogares extensos: Constituyen entre el 20% y el 22%, modalidad frecuente para optimizar gastos residenciales mediante la convivencia multigeneracional.

Jefatura de hogar: Cercano al 42% de los hogares registran jefatura femenina, lo que evidencia la necesidad de programas enfocados en protección social y del Sistema Distrital de Cuidado.

3.5.1.5 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 95 %, con brechas residuales en adultos mayores. El sector cuenta con el Colegio Arborizadora Alta (IED) y oferta formativa del CDC Arborizadora Alta (cursos en alianza con SENA).

Nivel educativo alcanzado:

- Básica secundaria y media: Es el nivel educativo predominante en la población en edad de trabajar, abarcando entre el 40% y el 49%.
- Básica primaria: Representa entre el 29% y el 34%.
- Educación superior o técnica: Entre el 10% y el 15% de la población ha accedido a formación técnica, tecnológica o universitaria.
- Alfabetismo: La tasa de alfabetismo en personas mayores de 15 años supera el 94%, focalizándose los mayores retos en los adultos mayores.

3.5.1.6 Inclusión, Diversidad y Enfoque Diferencial

- **Población víctima del conflicto y desplazamiento**: El barrio es receptor de familias víctimas del conflicto armado y desplazamiento forzado interno o intraurbano.

- **Pertenencia étnica:** Cuenta con la presencia de comunidades afrodescendientes y núcleos familiares pertenecientes a pueblos indígenas reubicados en la localidad.

Afiliación al Sistema de Salud: Predomina ampliamente la afiliación al Régimen Subsidiado de salud a través del SISBÉN (grupos A y B), con atención canalizada mediante la oferta pública de la Subred Integrada de Servicios de Salud Sur E.S.E.

3.5.2 IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS

El sector de Arborizadora Alta se emplaza sobre el conjunto medio de la Formación Guaduas, constituido por arcillolitas y lodolitas de consistencia blanda a media con intercalaciones de areniscas, altamente meteorizadas y fracturadas, recubiertas por depósitos antrópicos heterogéneos de relleno (escombros y materiales no seleccionados) de baja consolidación y espesores variables entre 2 y 4 m. Geomorfológicamente corresponde a una ladera de contrapendiente (Slc), donde los estratos buzan en sentido contrario a la pendiente del terreno. Sobre este sustrato se desarrolla un proceso morfodinámico activo de reptación (deformación plástica lenta) con componente rotacional somera y empuje lateral, que involucra tanto los rellenos superficiales como el horizonte arcilloso del sustrato.

La dinámica se genera y se acelera por la alteración de los drenajes naturales derivada de la urbanización, las fugas de redes de servicios y la ausencia de sistemas de drenaje en el trasdós del muro de contención existente (construido hace aproximadamente 15 años con rellenos sin compactación adecuada). Estas condiciones provocan la saturación del horizonte arcilloso, el incremento de las presiones intersticiales y la drástica reducción de la resistencia al corte, lo que se traduce en empujes laterales excesivos sobre el muro, generación de grietas de tracción paralelas a la estructura, asentamientos diferenciales superiores a 30 cm en su cimentación y desplazamientos progresivos del terreno hacia la ladera.

Como consecuencia, el proceso representa una amenaza directa para las viviendas localizadas en la corona de la ladera (afectación de cimentaciones y agrietamientos en muros y puertas), para la infraestructura vial y peatonal (hundimientos, grietas y pérdida de soporte en andenes, escaleras y bordillos) y para las redes de servicios públicos (saturación y posibles roturas que retroalimentan el mecanismo de inestabilidad). El muro de contención de la Carrera 44 / Calle 68B Sur, ya superado por los empujes, constituye el elemento más crítico, cuya falla podría acelerar localmente el movimiento y amplificar los daños sobre todos los elementos expuestos. A continuación, se presenta una caracterización general de estos elementos expuestos:

- **Viviendas:** Corresponde a edificaciones de 1 a 5 pisos, en sistema resistente de muros cargueros en mampostería con confinamiento deficiente, ubicadas en el cuerpo del talud. Ver la siguiente fotografía:



Figura 105. Predios objeto de análisis de Vulnerabilidad

- **Vías:** La infraestructura de tránsito peatonal, de más o menos unos 8,00 metros de ancho la componen dos franjas o senderos peatonales a cada costado donde se ubican las viviendas, cada franja de más o menos unos 1,40 metros, y en medio una especie de eje ambiental, con algunas zonas verdes, en concreto y estructura de paso de agua tipo cuneta. Está conformada principalmente por aceras y plataformas de concreto, tramos de adoquines, y escaleras de concreto con peldaños de altura irregular cuyos bordes suelen estar pintados de rojo y blanco. Estas superficies presentan fisuras, grietas, desniveles, desprendimientos y parches de reparación, además de hierba que crece en las juntas y bordes. Los caminos se adaptan a la pendiente del terreno mediante rampas continuas de concreto y escaleras, delimitados en varios tramos por bordillos de concreto o muros en piedra pegada o ciclópeos.

El estado general muestra deterioro por uso intensivo, con obstáculos como piedras sueltas, escombros y maleza que invaden los bordes, reduciendo la superficie útil. En algunos puntos el espacio se estrecha hasta convertirse en canaletas de drenaje estrechas entre muros y bordillos. Estas vías peatonales

permiten el acceso a las entradas de las viviendas a través de descansillos o plataformas de concreto, aunque presentan riesgos de tropiezo por irregularidades y falta de elementos de accesibilidad como pasamanos o rampas universales.



Figura 106. Infraestructural vial peatonal.

- **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. 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 y metálicos de aproximadamente 9 metros de altura, junto con iluminación pública perimetral en las manzanas.

  - Acueducto (agua potable): Según la información secundaria, el suministro se realiza mediante tubería de asbesto-cemento de 3 pulgadas de diámetro.

  - Gas natural y telecomunicaciones: Ambas redes se encuentran presentes en el sector.



Figura 107. Sector inspeccionado.

3.5.3 CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS

A continuación, se presenta la Caracterización de los Elementos Expuestos con base en la matriz de evaluación de vulnerabilidad y riesgo. Se evaluaron **33 predios**, todos de tipo particular, estrato 1, localizados en cuerpo de ladera, con acceso peatonal pavimentado y servicios públicos prácticamente completos.

Predios objeto de levantamiento de daños (8 predios):

Predio 13
NO_REG: 13 | Dirección: KR 43C 68B 19S | Código Lote: 0 02531751100000000
CHIP: AAA0025FCCX
Tipo: Particular · Tenencia: Propietario.
Construcción: 100 % – 4 niveles · Áreas: Lote 42 m² · Construida 130,20 m².
Uso: Residencial · Ocupado · 2 apartamentos · 2 familias · 5 residentes.
Edad construcción: 35 años.
Servicios: Todos presentes.
Ingresos: 1 SMMLV · Enseres $40.000.000 · Inmueble $250.000.000 · Peligro MM: SI.
Estado de conservación: 2 · Daño por MM: Sí · Exposición: Deslizamientos · Daño: Ligera.
Tipología: C · Recomendación: Eliminación Peligro Local.

Predio 15
NO_REG: 15 | Dirección: KR 43C 68B 11 SUR | Código Lote: 0 02531750900000000
CHIP: AAA0025FCAF.
Tipo: Particular · Tenencia: Propietario.
Construcción: 100 % – 4 niveles · Áreas: Lote 42 m² · Construida 162,30 m².
Uso: Residencial · Ocupado · 1 apartamento · 1 familia · 3 residentes.
Edad construcción: 5 años.
Servicios: Todos presentes.
Ingresos: 1 SMMLV · Enseres $40.000.000 · Inmueble $200.000.000 · Peligro MM: NO.
Estado de conservación: 2 · Daño por MM: Sí · Exposición: Deslizamientos · Daño: Ligera.
Tipología: D · Recomendación: Eliminación Peligro Local.

Predio 17
NO_REG: 17 | Dirección: CL 68B SUR 43C 07 | Código Lote: 0 02531750700000000
CHIP: AAA0025FBYN.
Tipo: Particular · Tenencia: Propietario.
Construcción: 100 % – 3 niveles · Áreas: Lote 42 m² · Construida 88,20 m².
Uso: Residencial · Ocupado · 2 apartamentos · 2 familias · 2 residentes.
Edad construcción: 30 años.
Servicios: Todos presentes.
Ingresos: 1 SMMLV · Enseres $20.000.000 · Inmueble $180.000.000 · Peligro MM: SI.
Estado de conservación: 2 · Daño por MM: Sí · Exposición: Deslizamientos · Daño: Ligera.
Tipología: D · Recomendación: Eliminación Peligro Local.

Predio 20
NO_REG: 20 | Dirección: KR 43C 68B 24 S | Código Lote: 0 02531740400000000
CHIP: AAA0025FBBS
Tipo: Particular · Tenencia: Propietario
Construcción: 100 % – 2 niveles · Áreas: Lote 42 m² · Construida 36,40 m²
Uso: Residencial · Ocupado · 1 apartamento · 1 familia · 5 residentes
Edad construcción: 35 años
Servicios: Todos presentes
Ingresos: 1 SMMLV · Enseres $12.000.000 · Inmueble $180.000.000 · Peligro MM: SI
Estado de conservación: 2 · Daño por MM: Sí · Exposición: Deslizamientos · Daño: Ligera
Tipología: D · Recomendación: Eliminación Peligro Local
Predio 23
NO_REG: 23 | Dirección: KR 43C 68B 12 S | Código Lote: 0 02531740700000000
CHIP: AAA0025FBEP.
Tipo: Particular · Tenencia: Arrendatario.
Construcción: 100 % – 4 niveles · Áreas: Lote 42 m² · Construida 153,30 m².
Uso: Residencial · Ocupado · 4 apartamentos · 4 familias · 8 residentes.
Edad construcción: 35 años.
Servicios: Todos presentes.
Ingresos: 3 SMMLV · Enseres $10.000.000 · Inmueble $280.000.000 · Peligro MM: NR.
Estado de conservación: 2 · Daño por MM: Sí · Exposición: Deslizamientos · Daño: Ligera.
Tipología: D · Recomendación: Eliminación Peligro Local.

Predio 24
NO_REG: 24 | Dirección: KR 43C 68B 08 S | Código Lote: 0 02531740800000000
CHIP: AAA0025FBFZ.
Tipo: Particular · Tenencia: Propietario.
Construcción: 100 % – 2 niveles · Áreas: Lote 42 m² · Construida 42,00 m².
Uso: Residencial · Ocupado · 1 apartamento · 1 familia · 2 residentes.
Edad construcción: 20 años.
Servicios: Acueducto, alcantarillado, energía y gas presentes; voz/datos: No.
Ingresos: 1 SMMLV · Enseres $16.000.000 · Inmueble $130.000.000 · Peligro MM: SI.
Estado de conservación: 3 · Daño por MM: Sí · Exposición: Deslizamientos · Daño: Fuerte.
Tipología: D · Recomendación: Eliminación Peligro Local.

Predio 25
NO_REG: 25 | Dirección: KR 43C 68B 04 SUR | Código Lote: 0 02544200900000000
CHIP: AAA0266PULF.
Tipo: Particular · Tenencia: Propietario.
Construcción: 100 % – 3 niveles · Áreas: Lote 42 m² · Construida 119,01 m².
Uso: Residencial · Ocupado · 2 apartamentos · 3 familias · 6 residentes.

Edad construcción: 30 años.
Servicios: Todos presentes.
Ingresos: 1 SMMLV · Enseres $10.000.000 · Inmueble $150.000.000 · Peligro MM: SI.
Estado de conservación: 4 · Daño por MM: Sí · Exposición: Deslizamientos · Daño: Moderada.
Tipología: D · Recomendación: Eliminación Peligro Local.

Predio 26
NO_REG: 26 | Dirección: KR 43B 68B 03 SUR | Código Lote: 0 02531741000000000
CHIP: AAA0025FBJZ.
Tipo: Particular · Tenencia: Propietario.
Construcción: 100 % – 3 niveles · Áreas: Lote 42 m² · Construida 149,90 m².
Uso: Residencial · Ocupado · 4 apartamentos · 10 familias · 20 residentes.
Edad construcción: 13 años.
Servicios: Todos presentes.
Ingresos: 4 SMMLV · Enseres $20.000.000 · Inmueble $200.000.000 · Peligro MM: SI.
Estado de conservación: 3 · Daño por MM: Sí · Exposición: Deslizamientos · Daño: Ligera.
Tipología: D · Recomendación: Eliminación Peligro Local.

Predios con información parcial (25 predios)

Tipo: Particular.
Estrato: 1.
Construcción: 100 % construido.
Uso predominante: Residencial (uno de ellos con uso comercio puntual – Predio 12).
Niveles: 2 a 4.
Área lote: 42–54 m² (mayoría 42 m²).
Área construida: 42–246,77 m².
Edad reportada (campo 12. EDAD C): 25 años en la mayoría.
Servicios: Todos presentes (excepto un caso sin voz/datos).
Localización: Cuerpo de la Ladera.
Acceso: Peatonal pavimentado.
Tipología: D (salvo Predio 11, tipología C).

Resumen:

- Total de predios evaluados: 33
- Tipo de predio: 100 % Particular (ningún predio de cesión pública).
- Estrato 1.
- Tipología constructiva: 31 predios Tipología D (93,9 %) y 2 predios Tipología C (6,1 %). No se registran tipologías G (lotes vacíos).
- Niveles: 20 predios de 3 niveles, 10 de 4 niveles y 3 de 2 niveles.
- Áreas: Lote promedio ≈ 42,7 m² (rango 42–54 m²). Área construida promedio ≈ 119 m² (rango 36,4–246,8 m²).
- Uso: Predominantemente residencial; un predio con uso comercio puntual.
- Servicios públicos: Acueducto, alcantarillado, energía y gas presentes en el 100 % de los predios. Voz/datos ausentes solo en 1 predio.
- Localización y acceso: Todos en cuerpo de la ladera con acceso peatonal pavimentado.
- Edad de las edificaciones: Campo de edad reportado mayoritariamente en 25 años; en los predios con datos detallados oscila entre 5 y 35 años.

- Daños reportados (solo en los 8 predios con información completa): Todos presentan daño por movimientos en masa (deslizamientos). Daño predominante: Ligera (6 casos), Moderada (1) y Fuerte (1).
- Peligro por movimientos en masa: Reportado como “SI” en 6 de los 8 predios detallados.
- Valores reportados (solo predios ocupados con datos): Inmuebles entre $130 y $280 millones; enseres entre $10 y $40 millones; ingresos entre 1 y 4 SMMLV.
- **Recomendación técnica** (en predios detallados): Eliminación de peligro local.

El sector se caracteriza por una edificación continua de 2 a 4 niveles, predominantemente de tipología D, con alta vulnerabilidad estructural y exposición a amenazas por movimientos en masa (deslizamientos) en cuerpo de ladera. La configuración general corresponde a un sector consolidado de aproximadamente 25–35 años de antigüedad, con ocupación residencial densa en los predios encuestados en detalle y valores de inmuebles concentrados entre $150 y $250 millones aproximadamente.

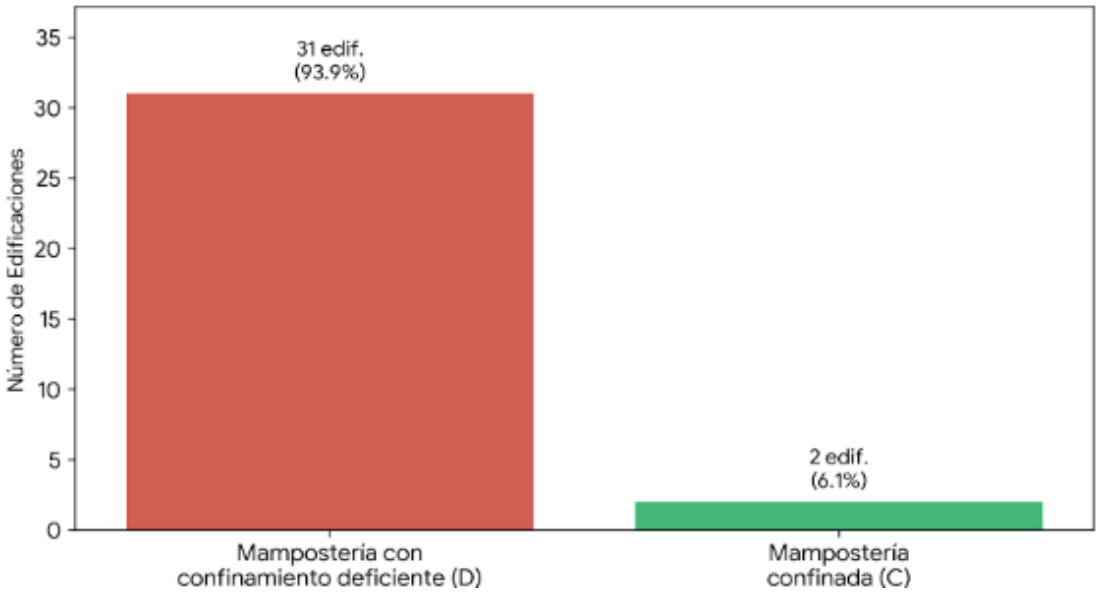


Figura 108. Tipologías de las construcciones D y C.

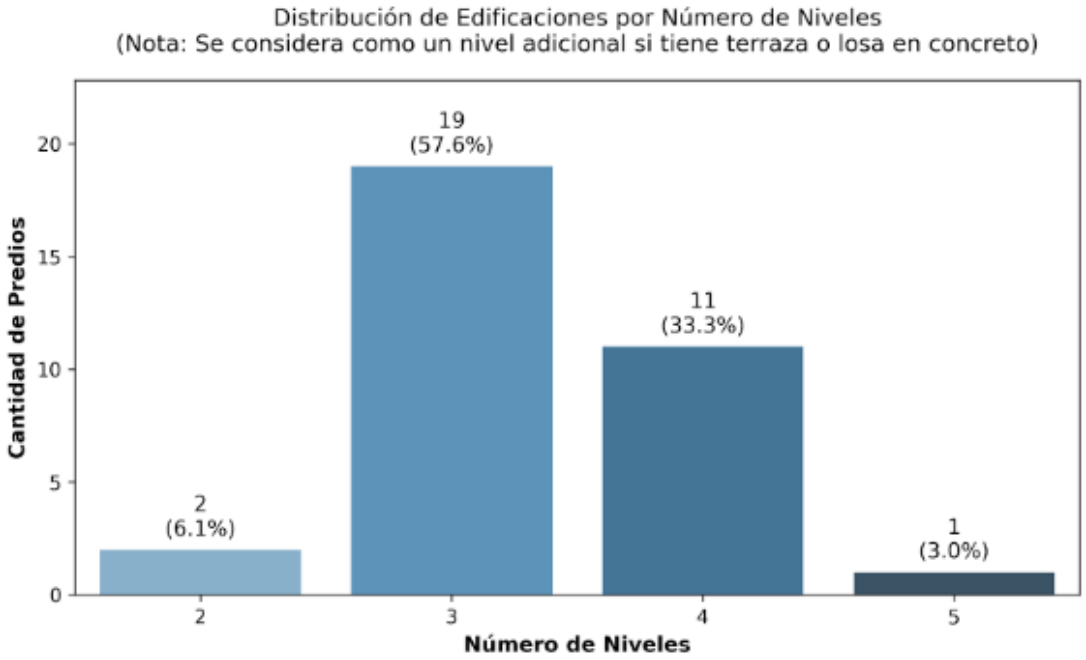


Figura 109. Número de Niveles.

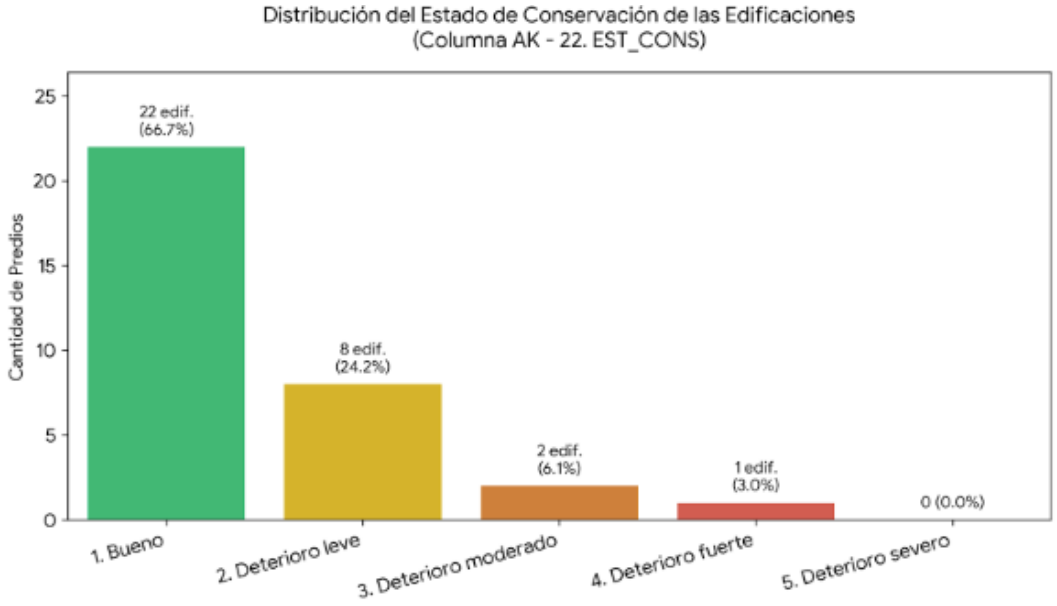


Figura 110. Estado de Conservación de las edificaciones

El análisis conjunto de los predios evaluados evidencia un sector con una alta vulnerabilidad estructural intrínseca, donde el 93.94% de las estructuras corresponde a mampostería con confinamiento deficiente (Tipología D) y exhibe un desarrollo vertical considerable concentrado en edificaciones de 3 a 4 niveles (90.9% acumulado), llegando a alcanzar hasta 5 pisos tras incluir cubiertas en losa y terrazas. No obstante, esta fragilidad ante eventos sísmicos o geotécnicos contrasta con el estado de conservación físico, donde

el 90.91% de la muestra se mantiene entre bueno (66.67%) y deterioro leve (24.24%). Esta combinación indica que, aunque el deterioro estético o superficial actual sea bajo, la vulnerabilidad global del sector es elevada debido al peso de las cargas por altura apoyadas sobre sistemas de confinamiento deficientes.

3.5.4 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.

3.5.4.1 Fragilidad de las Edificaciones

En la guía se definen las tipologías de vivienda como se presenta a continuación.

Tabla 79 Tipologías de edificaciones.

CÓDIGO	TIPO DE EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
A	Edificaciones con reforzamiento especial	Edificaciones de concreto y acero diseñadas y construidas con requerimientos superiores a los convencionales o con la exigencia máxima de los códigos de diseño. Se incluyen las edificaciones de los grupos de importancia III y IV, definidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10, que se construyeron después de 1998, con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc.
B	Edificaciones reforzadas	Edificaciones con estructura en concreto y acero de los grupos de importancia I y II construidas con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc. También se incluyen aquellas del grupo A construidas antes de 1998.
C	Mampostería reforzada	Aquellas edificaciones que tienen un sistema estructural de mampostería con elementos de refuerzo (barras, láminas, pernos, platinas, etc.). También se incluyen las edificaciones en mampostería confinada.
D	Estructuras con confinamiento deficiente y estructuras híbridas	Edificaciones con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado (mampostería no reforzada). También hace referencia a aquellas construcciones de las categorías A, B y C que poseen elementos de otros materiales no competentes, como por ejemplo mampostería no reforzada, adobe, bahareque, madera, tapia pisada, etc., con mayor componente de elementos de los grupos A, B y C
E	Estructuras ligeras	Edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad, con un sistema estructural de muros cargueros. Dentro de esta tipología se incluyen las edificaciones construidas con materiales como adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas.

CÓDIGO	TIPO DE EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
F	Construcciones simples	Edificaciones que no poseen una estructura definida, de carácter improvisado, generalmente construidas utilizando materiales precarios o de recuperación. Entre estas se incluyen las edificaciones en proceso de construcción y las construidas en materiales de recuperación, pórticos y paneles de madera, y pórticos de madera y paneles en otros materiales. Son ejemplo de este tipo de Edificaciones tugurios, ranchos, campamentos, carpas, etc.
G	Lotes vacíos	

Fuente: SGC. 2015

En función de la tipología, la altura, el estado de conservación y la edad de la construcción se determina el factor de fragilidad de la estructura, teniendo en cuenta como limitante que la altura en el caso de desprendimiento de material o caída de bloques puede ser una condición más favorable, contrario a lo propuesto en la Guía del SGC respecto a los deslizamientos, toda vez que la solicitación del primer caso son impactos y en el segundo caso son empujes o desplazamientos verticales.
La ecuación usada para determinar el factor de fragilidad es la siguiente:

$$S_e = 1 - (1 - S_{tip})(1 - S_{alt})(1 - S_{con})(1 - S_{ed})$$

En donde:

S_e: factor de fragilidad.
S_{tip}: Factor por tipología.
S_{alt}: Factor por altura.
S_{con}: Factor por estado de conservación
S_{ed}: Factor de edad de la construcción respecto su vida útil o de servicio.

Esta ecuación es propuesta por el Manual del Servicio Geológico Colombiano, y a continuación se presentan las tablas para determinar los factores relacionados en la ecuación.

Tabla 80 Factor de fragilidad en función de la Tipología de la Construcción.

TIPOLOGÍA	FRAGILIDAD	S_{tip}
A - Edificaciones con reforzamiento especial	Extremadamente Baja	0,10
B - Edificaciones reforzadas	Muy Baja	0,30
C - Mampostería reforzada	Baja	0,50
D - Estructuras con confinamiento deficiente y estructuras híbridas	Media	0,70
E - Estructuras ligeras	Alta	0,90
F - Construcciones simples	Muy Alta	1,00

Fuente: SGC. 2015

Como se presentó en la, si el factor esta entre 0 y 0,50, la fragilidad es Baja, si el factor esta entre 0,50 y 0,90 es Media y si esta entre 0,90 y 1,00 es Alta.

Respecto a la Altura de la edificación:

Tabla 81 Factor de fragilidad en función de la Altura de la Construcción.

TIPOLOGÍA	Número de pisos	S_{alt}
E y/o F	≥ 2	0,90
D	≥ 4	0,90
C	≥ 4	0,60
D	2 a 3	0,60
Demás Tipologías y Alturas		0.05

Fuente: SGC. 2015

Para el factor de estado de conservación:

Tabla 82 Factor de fragilidad en función del estado de conservación de la Construcción.

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN GRIETAS (mm)	S_{con}
Muy Bueno	No se observan deformaciones, agrietamiento o envejecimiento.	0	0,00
Bueno	Solo se observan daños superficiales leves en los acabados	0 a 0,5	0,05
Deformaciones Leves	Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales.	0,5 a 1,0	0,25
Deformaciones medias	Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera de él (pandeo).	1,0 a 5,0	0,50
Deformaciones graves	Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical.	5,0 a 10,0	0,75
Deformaciones muy graves	Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento. Concreto con fallas por aplastamiento.	≥ 10,0	1,00

Fuente: SGC. 2015

Como se puede apreciar en la caracterización la mayoría de las edificaciones tienen un estado de conservación bueno (67%).

Ahora bien, para el factor por edad es necesario determinar la vida útil de las edificaciones, con base en la siguiente tabla podemos determinarla:

Tabla 83 Vida Útil de la edificación en función de la tipología.

TIPOLOGÍA	VIDA ÚTIL
A y B	50 años
C y D	30 años
E	15 años
F	2 años

Fuente: SGC. 2015.

Por tanto, el factor de edad se determina por la edad de la construcción y su vida útil:

Tabla 84 Factor de fragilidad en función de la edad de la construcción.

EDAD DE LA EDIFICACIÓN / VIDA ÚTIL	S_{ed}
≤ 0,1	0,05
0,1 – 0,4	0,10

EDAD DE LA EDIFICACIÓN / VIDA ÚTIL	S_{ed}
0,4 – 0,6	0,30
0,6 – 0,8	0,50
0,8 – 1,0	0,70
1,0 – 1,2	0,80
> 1,2	1,00

Fuente: SGC. 2015.

En conclusión, el 100% de las edificaciones son altamente frágiles a movimientos en masa, y el 100% estan expuestas al proceso:

3.5.4.2 Fragilidad de las Líneas Vitales

De conformidad con la Guia del Servicio Geológico Colombiano, para las líneas vitales expuestas se tiene lo siguiente:

- **Vía:** Las Carreras 43B, 43C, 44 y 44 BIS, entre las calles 68B Sur y 68C Sur, son senderos peatonales, donde su ancho efectivo por costado es de 1,40 metros, por consiguiente: S_{ancho} = 3,0 /W_{via} = 3/2.8 = 1,07 (fragilidad alta), esto en la medida que pierde su movilidad al ser impactada.

- **Tubería de Acueducto:** La red, de conformidad con la base de datos del EAAB, es de 3 pulgadas, lo que se traduce en una fragilidad baja de conformidad con lo referido en la guía del SGC.

- **Tubería de Alcantarillado:** La fragilidad la determina el material, siendo una fragilidad media al ser una tubería en concreto simple.

- **Redes eléctricas y de telecomunicaciones:** está dada por los postes, y para el caso de estudio en función de la Guia es Alta, postes en concreto de 9 metros de altura.

3.5.5 INTENSIDAD DEL EVENTO

Una vez conocida la fragilidad del elemento, se define su grado de exposición frente al evento, en donde todos los elementos se localizan en la ladera, en el cuerpo, emplazada sobre llenos confinados por muros que pueden cimentarse sobre el suelo residual y/o la roca, en otras palabras todas las edificaciones están expuestas a los procesos de remoción en masa, falla del lleno, principalmente por la ocurrencia del sismo, en este sentido se determina para cada una de las edificaciones que la solicitación que puede afectarla es el desplazamiento vertical, por causa del desconfinamiento del lleno.

De igual manera se determina la tasa de daño en función del índice de daño o intensidad de daño que está directamente relacionado con el modo de daño y la posible área afectada. Ejemplo: Una vez se presente el volcamiento del muro de contención del lleno donde se emplaza la edificación, aparecerá una fuerza o solicitación, en este caso asociada al desplazamiento vertical, lo que conlleva al colapso total o parcial de la estructura, en nuestro caso parte del suelo residual y roca mantienen la estructura en pie, en ese orden de ideas, los desplazamientos verticales DV, se les asocia un modo de daño severo, colapso, y la intensidad de daño es “V” lo que arroja un índice de daño del 90% al 100%, sin embargo el área de afectación es aproximadamente el 30% por ende la tasa de daño asociado al evento se asume del 30%.

Una vez se determina la tasa de daño, en función de esta y la fragilidad del elemento se determina la vulnerabilidad física estructural de la misma.

Con base en las siguientes tablas se determina lo expuesto:

Tabla 85 Intensidad de daño en edificaciones (Índice de Daño). Tomada de Leone, 1996

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	ÍNDICE DE DAÑO (%)
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada	0,01 – 0,1
II	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes	0,2 – 0,3
III	Deformaciones importantes, fisuras en elementos estructurales	0,4 –0,6
IV	Fracturación de la estructura, evacuación inmediata	0,7 – 0,8
V	Derrumbe parcial o total de la estructura	0,9 – 1,0

Dependiendo la tipología de la edificación y el tipo de solicitación, amenaza, se determina la intensidad de daño conforme lo propone Leone, 1996.

Tabla 86 Matriz de intensidades de daños para viviendas. Leone, 1996. Adaptada en función del Manual del SGC. 2015.

SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN					
	A	B	C	D	E	F
Desplazamientos verticales	V	V	V	V	V	V
Empujes	II	II	III	III	IV	V
Impactos	II	III	III	IV	V	V

También se puede estimar la intensidad del evento conforme la Guia del SGC, que para calcular la Intensidad de los movimientos en masa se tiene en cuenta lo siguiente

En caso de que ocurriese un proceso de remoción en masa, este podría considerarse como lento, velocidad baja, esto conforme la clasificación de Varnes (1978).

Tabla 87 Significado del potencial destructivo de un movimiento con relación a su velocidad

DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD (MM/SEG.)	TIPO VELOCIDAD	SIGNIFICADO DEL POTENCIAL DESTRUCTIVO
Extremadamente rápido	5x103	5 m/s	Catástrofe de orden superior, estructuras destruidas por impacto del material desplazado, muchas muertes, difícilmente se puede escapar.
Muy rápido	5*101	3 m/min.	Algunas pérdidas de vidas, de velocidad alta, pero permite evacuación de personas.
Rápido	5*10-1	1,8 m/h	Posible evacuación estructuras, posesiones y equipos destruidos.
Moderado	5*10-3	13 m/mes	Permanencia en pie temporalmente de estructuras livianas, de baja resistencia.
Bajo	5*10-5	1,6 m/año	Medidas correctivas pueden ejecutasen durante el movimiento. Las estructuras livianas pueden ser rehabilitadas periódicamente si el movimiento no lo es suficientemente continuo en una de sus fases de desplazamiento. En la medida que se presenten las diferentes fases del movimiento se requiere de la

DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD (MM/SEG.)	TIPO VELOCIDAD	SIGNIFICADO DEL POTENCIAL DESTRUCTIVO
			evacuación preventiva de algunas estructuras, especialmente aquellas que se localicen en la línea de agrietamiento.
Muy Bajo	5*10-7	1-6 mm/año	Algunas estructuras permanentes no sufren daño por el movimiento.
Extremadamente bajo			Imperceptible solo con instrumentos, las construcciones son posibles, pero con precauciones.

Fuente: Adaptado de Morgenstern 1985, y por lo citado por Cruden y Varnes, 1996.

Durante el ejercicio del desarrollo del proyecto se evidencio un desplazamiento del muro existente, de más o menos unos 30 centímetros en los 4 meses de ejecución, eso significa que las velocidades del movimiento oscilan alrededor de 1,00 m/año, entre bajo a muy bajo.
Sin embargo, en las modelaciones, con el escenario de agua y sismo, estas velocidades pueden ser mayores, en consecuencia, a se determina que la velocidad del movimiento puede ser rápida.

La intensidad de este tipo de movimiento, escenario de alta velocidad de deformación o movimientos rápidos, conforme la Guía del Servicio Geológico Colombiano en su numeral 4.5.2 está dado por la intensidad de la presión y la profundidad de la superficie de falla, en especial por la presión sobre los elementos expuestos.

$$I_{rap} = 1 - (1 - I_{f\text{-}pre})(1 - I_{f\text{-}prof})$$

Donde:

I_{rap} Parámetro de intensidad para escenarios rápidos
$I_{f\text{-}pre}$: Parámetro de intensidad debido a la presión y se estima a partir de la relación entre la presión de impacto del deslizamiento y la presión límite soportada por la estructura.
$I_{f\text{-}prof}$: Parámetro de intensidad por profundidad de la masa deslizada.

Para hallar el impacto de presión se usa la ecuación:

$$P = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Donde:

P: Presión de impacto, en kPa
ρ: densidad de la masa movida en kg/m^3, que para el material analizado es 2400 kg/m^3
v: velocidad del deslizamiento en m/s, que para nuestro caso se toma como rápido 1.8 m/h o 0.0005 m/s

$$P = \frac{1}{2} x \left(2400 \frac{Kg}{m^3}\right) * \left(0.0005 \frac{m}{s}\right)^2 = 0.000003\ kPa$$

La presión de falla para las edificaciones en función de la tipología está dada por la tabla 4-22 de la Guía del Servicio Geológico colombiano.

Tabla 88 Presión de falla según tipología de estructura

TIPOLOGÍA		PRESIÓN LÍMITE DE LA ESTRUCTURA (kPa)
F	Construcciones simples	1,0

TIPOLOGÍA		PRESIÓN LÍMITE DE LA ESTRUCTURA (kPa)
E	Estructuras ligeras	5,0
D	Estructuras con confinamiento	8,0
C	Mampostería reforzada	11,0
B	Edificaciones reforzadas	18,0
A	Edificaciones con reforzamiento especial	20,0

Fuente: SGC 2015

Por tanto, al realizar la relación entre la presión de impacto y la presión límite de la estructura, tomando la tipología D como crítica, da una relación $^{0.000003\ kPa}/_{8{,}0\ kPa} = 3{,}75\ e^{-7}$, por lo tanto, el parámetro de intensidad por presión de impacto es considerablemente bajo.

Tabla 89 Parámetro presión de impacto de deslizamiento, relación presión de impacto/presión límite de la estructura

RELACIÓN ALTURA EDIFICACIÓN/PROFUNDIDAD DEL DESLIZAMIENTO	IF – PRE
<0,10	0,05
0,10 – 0,20	0,20
0,20 – 0,40	0,40
0,40 – 0,70	0,70
0,70 – 1,00	0,90
>1,00	1,00

Fuente: SGC 2015

De acuerdo con la recomendación de la tabla 4-23 de la Guía del Servicio Geológico, el parámetro de presión equivale a 0.05.

Para calcular el parámetro de intensidad por relación entre altura de la edificación y profundidad del deslizamiento, se toma una superficie de falla a 9.0 m debajo del nivel del suelo. Ipro=1.

Tabla 90 Parámetro de intensidad relación profundidad/altura de la estructura

RELACIÓN ALTURA EDIFICACIÓN/PROFUNDIDAD DEL DESLIZAMIENTO	IF - PROF
<0,20	**0,10**
0,20 – 0,40	**0,30**
0,40 – 0,60	**0,50**
0,60 – 0,80	**0,70**
0,80 – 1,00	**0,90**
>1,00	**1,00**

Fuente: SGC 2015

Por lo anterior el I_{rap}=1, y en consecuencia se espera que, de ocurrir el evento, en zonas de categoría de amenaza alta, las edificaciones colapsen, y en categoría media sufran deformación o severas afectaciones.

3.5.6 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA

3.5.6.1 Evaluación de la vulnerabilidad física de edificaciones

El índice de vulnerabilidad se expresa como:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{I}{1-S}\right)^2 \qquad I \leq 1-S$$

o

$$1-\frac{1}{2}\left(\frac{1-I}{S}\right)^2 \qquad I > 1-S$$

Donde I es la intensidad del evento y S el factor de fragilidad.

Como la Intensidad del evento es I=1, el índice de vulnerabilidad tiende a ser 1, una vez se remplace en la formula, donde el facto de intensidad siempre va a ser mayor a 1-S.

Ahora bien, se tiene en cuenta los porcentajes de afectación conforme la categorización de la amenaza, esto con el fin de determinar la exposición y grado de exposición de los elementos. Una vez se determina el factor de fragilidad, referido en la **Matriz de Evaluación de la Vulnerabilidad y Riesgo por MM.**

3.5.6.2 Evaluación de la vulnerabilidad física vial.

"parámetro de intensidad de la amenaza para redes viales se define a partir del ancho de vía invadido u ocupado por la masa deslizada".

$$\text{Idist} = \frac{L_p}{W_{aisl} + W_{efec}}$$

Donde:

L_p es la distancia de viaje medida desde la pata del talud.

W_{aisl} es el ancho de los elementos que se encuentran entre la calzada y la pata del talud, tales como bermas, andenes, zonas verdes, lotes vacíos, etc.

W_{efect} es el ancho de la calzada útil para el tránsito de vehículo

La vulnerabilidad de las vías es ALTA en la medida que su obstrucción seria total, y cualquier daño afectaría la movilidad y accesibilidad. Sin embargo, la recuperación y habilitación de la vía es un proceso relativamente rápido y económico.

3.5.6.3 Evaluación de la vulnerabilidad física en redes de servicios públicos

En cuanto a las redes de servicios públicos domiciliarios, acueducto y alcantarillado de aguas servidas, se trata de redes locales.
En consecuencia, a lo expuesto anteriormente, la infraestructura de servicios públicos se encuentra enterrada de forma superficial y en muchas zonas se encuentra expuesta. Considerando que, si se genera un daño, este sería localizado y únicamente comprometería el suministro de la vivienda afectada, por lo tanto, no se compromete la estabilidad global y la vulnerabilidad es media a baja.

Caso contrario sucede con los pozos de inspección, los cuales pueden permitir la infiltración de aguas en la ladera, provocar saturación y conllevar a procesos de movimiento en masa, afectando la estabilidad del muro existente.
Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda a la Alcaldía realizar una mesa interinstitucional con la empresa de servicios de acueducto y alcantarillado, de forma que la instalación de las tuberías cumpla con los requisitos normativos y el suministro del servicio sea constante y eficiente.

3.5.7 CATEGORIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

A continuación, se presenta el análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos frente a movimientos en masa, discriminado por tipología estructural, con base en la matriz de evaluación (33 predios).

3.5.7.1 Tipología D – Mampostería no confinada o con confinamiento deficiente (31 predios – 93,9 %)

Esta tipología concentra la mayor fragilidad estructural del sector. Los 31 predios de tipología D presentan fragilidad elevada (rango 0,958 – 0,996; media ≈ 0,976) y exposición uniforme de 1,00 (alta). Como resultado, la totalidad de estos predios se clasifica en vulnerabilidad **ALTA**.

Tabla 91 Vulnerabilidad Tipología D

Vulnerabilidad	Cantidad	% tipología D	Características predominantes
ALTA	31	100 %	Fragilidad alta (0,958–0,996) + Exposición Alta (1,00)
MEDIA	0	0 %	—
BAJA	0	0 %	—

Relación clave observada: En la tipología D, la combinación de fragilidad estructural elevada (media 0,976) con exposición máxima (1,00) produce de forma consistente valores de vulnerabilidad numérica entre 0,733 y 0,753, todos clasificados como ALTA.

3.5.7.2 Tipología C – Mampostería confinada (2 predios – 6,1 %)

La mampostería confinada presenta una fragilidad menor que la tipología D (valores 0,865 y 0,929; media ≈ 0,897). Aun así, al combinarse con exposición alta (1,00), ambos predios resultan en categoría de vulnerabilidad **ALTA**, aunque con valores numéricos de vulnerabilidad inferiores a los de tipología D (0,672 y 0,716 frente a la media de 0,743 de tipología D).

Tabla 92 Vulnerabilidad Tipología C

Vulnerabilidad	Cantidad	% tipología C	Características
ALTA	2	100 %	Fragilidad media-alta (0,865–0,929) + Exposición = 1,00
MEDIA	0	0 %	—
BAJA	0	0 %	—

Aunque la tipología C muestra una fragilidad estructural inferior a la tipología D, en este sector la exposición uniforme de 1,00 (alta) es suficiente para que ambos predios alcancen la categoría ALTA. No se observan casos de tipología C con vulnerabilidad MEDIA o BAJA.

3.5.7.3 Panorama general de las edificaciones

El análisis de vulnerabilidad se aplica al 100 % de los predios (33 construcciones):

Tabla 93 Vulnerabilidad de las edificaciones

Categoría	Cantidad	% de construcciones
ALTA	33	100 %
MEDIA	0	0 %
BAJA	0	0 %
Total construcciones	**33**	**100 %**

La vulnerabilidad no depende únicamente de la fragilidad estructural. La exposición actúa como un multiplicador crítico. En este sector, la exposición es uniforme e igual a 1,00 (alta) para todos los predios, lo que, combinado con fragilidades estructurales elevadas (especialmente en tipología D), genera que el 100 % de las edificaciones se clasifique en vulnerabilidad ALTA. La tipología C, aunque con menor fragilidad, no logra reducir la categoría por debajo de ALTA bajo estas condiciones de exposición.

Sin embargo, otro tipo de evento, como el sismo, podría afectar gravemente las edificaciones por sus condiciones estructurales, independientemente de la exposición a movimientos en masa.

3.5.7.4 Conclusión

- El 100 % de las construcciones presenta vulnerabilidad ALTA frente a movimientos en masa.
- La totalidad de los casos de vulnerabilidad ALTA corresponde tanto a tipología D (31 predios) como a tipología C (2 predios), todos con exposición alta (1,00).
- No se registran predios de tipología G (lotes); el 100 % de los elementos expuestos son edificaciones.
- La tipología D concentra la mayor fragilidad (media 0,976) y, en consecuencia, los valores numéricos de vulnerabilidad más altos (media ≈ 0,743).
- La tipología C presenta fragilidad inferior (media ≈ 0,897), pero bajo exposición alta también alcanza la categoría ALTA, con valores numéricos algo menores (0,672–0,716).
- El análisis de vulnerabilidad por movimientos en masa evidencia una fuerte interacción entre la tipología estructural, la fragilidad y la exposición.
- Dado que la exposición es alta y uniforme en todo el sector, no se observan casos de vulnerabilidad MEDIA o BAJA.

3.6 ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA.

3.6.1 DEFINICIÓN DEL RIESGO

Conceptualmente definimos la Vulnerabilidad y Riesgo como:

V = **E**xposición **/ (S)** resistencia del elemento, entonces:

$$R = A \times (E / S)$$

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.

3.6.2 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR EL RIESGO

Para verificar los niveles de riesgo, se usa el criterio semáforo cruzando los resultados de la categoría de amenaza y vulnerabilidad como se muestra en la matriz de riesgo, soportado en la relación directamente proporcional con la amenaza y la vulnerabilidad, adicional al análisis económico en función de las pérdidas económicas anuales esperadas.

Tabla 94 Matriz de Riesgo.

Amenaza	**Vulnerabilidad**		
	Alta	Media	Baja
Alta	Alto	Alto	Medio
Media	Alto	Medio	Medio
Baja	Medio	Bajo	Bajo

Fuente: Elaboración propia – criterio de experto

Para las pérdidas económicas, se considera lo dispuesto por la Guia del SGC, 2015:

El daño asociado a las edificaciones se puede relacionar a un porcentaje del costo aproximado de daño, el cual posee valores entre 0-200%., así como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 95 Estimación del costo aproximado de daño

COSTO APROXIMADO DE DAÑO (%) VALOR INDICATIVO	DESCRIPCIÓN
200	Estructura completamente destruida o con daños a gran escala que requieren trabajos de ingeniería para recuperación. Pueden causarse daños importantes en propiedades adyacentes.
60	Daños extensivos en la mayoría de la estructura o se extiende más allá de los límites del sitio que requieren obras significativas de recuperación. Se pueden causar por lo menos consecuencias considerables a estructuras adyacentes.
60 20	Daños moderados en alguna parte de la estructura o parte significativa que requiere grandes trabajos de recuperación. Se puede causar por lo menos consecuencias menores a propiedades adyacentes.
20	Daños limitados en parte de la estructura que requieren algún trabajo para restablecer su funcionalidad.
0	Daños menores (para eventos de alta probabilidad, esta categoría se puede subdividir a un límite entre valores de 0 y 1 %).

Fuente: SGC. 2015.

Para explicar lo presentado en el anterior párrafo se presenta el siguiente ejemplo. Una vez se materializa el evento se presenta la pérdida total o parcial de la edificación. Sin embargo, lo que queda en pie debe demolerse por la condición estructural de la edificación y para la implantación debida del lleno (100% costos del elemento - edificación) y adicionalmente se suman los valores correspondientes a la adecuación del terreno para dejarlo en condiciones aceptables y los costos de reubicación o de reconstrucción de las viviendas (100% o mayor costo del elemento), lo que se traduce en costos aproximados de daño que ampliamente superan el 200%.

Ahora bien, se calcula unas pérdidas económicas totales, y el porcentaje de perdida por cada predio y edificación en función de la pérdida económica total estimada; y también se calcula el porcentaje frente al valor individual de cada predio, así se tiene un riesgo relativo y otro total.

Con lo anterior, se estima el riesgo por movimientos en masa.

3.6.3 EVALUACIÓN DE RIESGO

En conclusión, de llegarse a materializar, al tiempo, los movimientos en masa conforme los análisis de amenaza, se calculan pérdidas económicas en infraestructura cercana a los 7.000 millones de pesos, ver tabla de valor totales por predio, donde en enseres y bienes puede llegar al orden de los 700 millones, en pérdidas intangibles asociado a ruptura de actividades sociales más o menos 800 millones y en atención de la emergencia y recuperación (incluyendo las obras de atención y recuperación, no de mitigación) alrededor de los 2000 millones. Para un total de más o menos 10.500 millones de pérdidas económicas esperadas. Ver el **Anexo de Matriz de Evaluación de la Vulnerabilidad y Riesgo.** En consecuencia, y estimando la gestión predial (7000 millones) y la ejecución de la obra de mitigación (2110 millones), la relación es del 497%, considerando el riesgo ALTO.

Tabla 96 Estimación del costo total por gestión predial

PREDIO	VALOR TOTAL TERRENO Y CONST	DAÑO EMERGENTE (Gastos notariales y de registro)	COSTO TOTAL
1	$ 223.450.000	$ 5.167.505	$ 228.617.505
2	$ 139.290.000	$ 3.221.221	$ 142.511.221
3	$ 248.631.000	$ 5.749.841	$ 254.380.841
4	$ 141.594.000	$ 3.274.503	$ 144.868.503
5	$ 184.380.000	$ 4.263.972	$ 188.643.972
6	$ 215.390.000	$ 4.981.109	$ 220.371.109
7	$ 400.601.000	$ 9.264.299	$ 409.865.299
8	$ 224.070.000	$ 5.181.843	$ 229.251.843
9	$ 167.346.000	$ 3.870.044	$ 171.216.044
10	$ 176.190.000	$ 4.074.570	$ 180.264.570
11	$ 121.800.000	$ 2.816.747	$ 124.616.747
12	$ 298.876.000	$ 6.911.806	$ 305.787.806
13	$ 184.380.000	$ 4.263.972	$ 188.643.972
14	$ 144.690.000	$ 3.346.101	$ 148.036.101
15	$ 213.270.000	$ 4.932.082	$ 218.202.082
16	$ 146.580.000	$ 3.389.809	$ 149.969.809
17	$ 194.460.000	$ 4.497.082	$ 198.957.082
18	$ 333.521.000	$ 7.713.007	$ 341.234.007
19	$ 184.380.000	$ 4.263.972	$ 188.643.972
20	$ 99.960.000	$ 2.311.675	$ 102.271.675
21	$ 171.780.000	$ 3.972.584	$ 175.752.584
22	$ 205.170.000	$ 4.744.761	$ 209.914.761
23	$ 205.170.000	$ 4.744.761	$ 209.914.761
24	$ 105.000.000	$ 2.428.230	$ 107.428.230
25	$ 234.513.000	$ 5.423.348	$ 239.936.348
26	$ 274.670.000	$ 6.352.018	$ 281.022.018
27	$ 184.371.000	$ 4.263.764	$ 188.634.764
28	$ 122.640.000	$ 2.836.173	$ 125.476.173
29	$ 122.640.000	$ 2.836.173	$ 125.476.173
30	$ 172.968.000	$ 4.000.058	$ 176.968.058
31	$ 168.630.000	$ 3.899.737	$ 172.529.737
32	$ 174.921.000	$ 4.045.223	$ 178.966.223
33	$ 226.076.000	$ 5.228.234	$ 231.304.234
TOTAL	**$ 6.411.408.000**	**$ 148.270.221**	**$ 6.559.678.221**

Fuente: elaboración propia. – Gestion Predial.

La zonificación del riesgo se presenta en los mapas correspondientes, ver **Anexo Mapas de Riesgo.**

3.7 ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO ENFOCADAS A MEDIDAS DE MITIGACIÓN

El presente informe tiene como objetivo evaluar técnica, económica, ambiental, social y urbanísticamente tres alternativas de estabilización y mitigación del riesgo por movimientos en masa en el sector crítico de Arborizadora, Localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. La zona presenta categorización de riesgo alto, haciendo prioritaria la ejecución de una obra que garantice la protección de la vida, la infraestructura y el espacio público.

3.7.1 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS

3.7.1.1 Alternativa 1: muro de contención en concreto reforzado

Consiste en la construcción de una cortina o pantalla de caissons de concreto reforzado, de aproximadamente 1,20 m de diámetro, dispuestos con una separación de 3,00 m entre ejes. La profundidad de los caissons es variable: alcanza 15,50 m en la zona central de la obra y disminuye progresivamente hacia los extremos laterales hasta longitudes de entre 7,00 y 8,00 m.

Los caissons se construyen mediante excavación manual, ejecutada por tramos sucesivos de profundidad limitada (generalmente no superior a 1,00–1,50 m por etapa). Inmediatamente después de cada avance de excavación se procede al encamisado o revestimiento temporal/permanente con anillos de concreto vaciados in situ, utilizando encofrados circulares y malla de refuerzo. Este procedimiento de excavación por etapas y encamisado progresivo garantiza la estabilidad de las paredes del pozo, evita movimientos o desprendimientos del terreno circundante y protege al personal que labora en el interior.

Una vez alcanzada la cota de diseño de cada caisson, se limpia e inspecciona el fondo, se coloca la armadura estructural principal y se realiza el vaciado del concreto del fuste (generalmente de forma continua, con método tremie si hay presencia de agua).

Sobre la cabeza de los caissons se construye una viga cabezal de concreto reforzado que los rigidiza y los hace actuar como un elemento monolítico continuo. Esta viga mejora significativamente la respuesta estructural del conjunto frente a los empujes del terreno, contribuye a la estabilización general del sector y sirve, a su vez, como elemento de apoyo y conformación de las cunetas destinadas al manejo de las aguas de escorrentía superficiales.

En conjunto, la pantalla de caissons con viga cabezal constituye una solución de contención profunda que incrementa la estabilidad del talud o del sector, controla los desplazamientos del terreno y permite el adecuado drenaje superficial, mejorando las condiciones de seguridad del área de Arborizadora. Esta alternativa garantiza la estabilidad hasta la línea 5 de edificaciones, en general del sector, con respecto al movimiento global (no de los llenos de implantación).

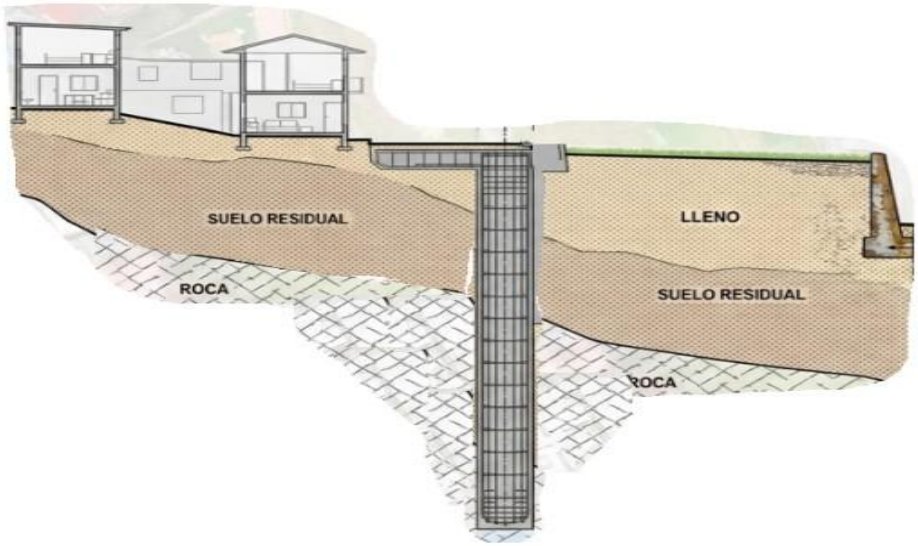


Figura 111. Alternativa 1. Pantalla o cortina de caissons de concreto reforzado con viga cabezal, cimentada en roca.

3.7.1.2 Alternativa 2: muros sucesivos y urbanismo escalonado

Propone la instalación de anclajes activos (torones) de 30 metros de longitud total (con longitud libre/by-pass de 13 m), de 4 pulgadas de diámetro, con capacidad de 17 toneladas, dispuestos cada 5,00 m centro a centro sobre el muro de contención existente. Incluye drenes horizontales de 3” con longitud de 15,00 m, inclinación de 5° y separación de 5,00 m.

Esta alternativa requiere el desalojo preventivo de las edificaciones aledañas, lo que conlleva mayores costos por gestión predial, así como las reparaciones de las viviendas que se vean impactadas por la vibración durante la perforación e instalación de los anclajes. Solo garantiza la estabilidad de las primeras 2 a 3 líneas de edificaciones, no del sector en su conjunto frente a un movimiento global.

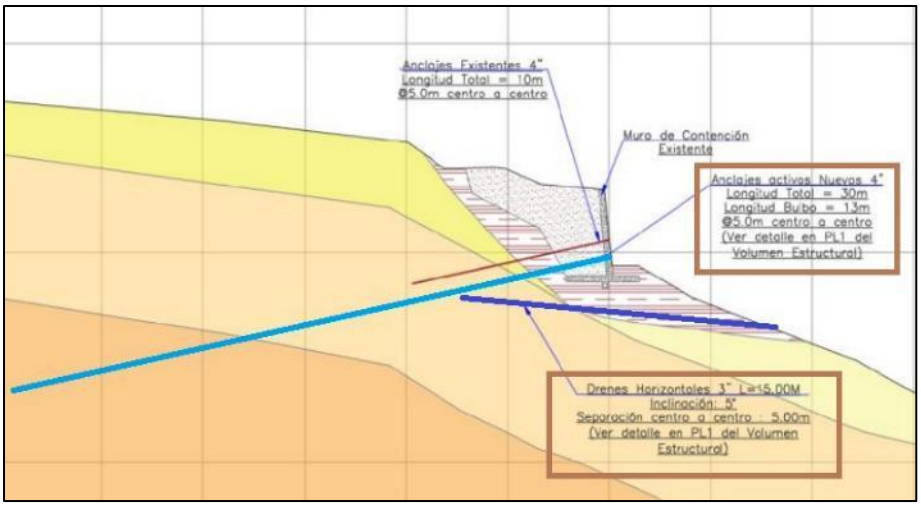


Figura 112. Alternativa 2. Anclajes activos nuevos de 30 m sobre el muro de contención existente, con drenes horizontales.

3.7.1.3 Alternativa 3: muro en tierra armada (suelo reforzado)

Plantea el refuerzo del muro de contención existente mediante la construcción de contrafuertes de concreto reforzado. Para ello se implanta una zapata de aproximadamente 4 metros de ancho a lo largo del muro (62 metros de longitud), apoyada en pilotines de 40 cm de diámetro (en pareja), anclados a la roca, con longitudes de aproximadamente 7 metros cada uno.

Al igual que la Alternativa 2, esta solución solo garantiza la estabilidad de las primeras 2 a 3 líneas de edificaciones y no controla el movimiento global del sector. Requiere intervenciones localizadas sobre el muro existente y puede generar afectaciones temporales durante la construcción de zapatas y pilotines.

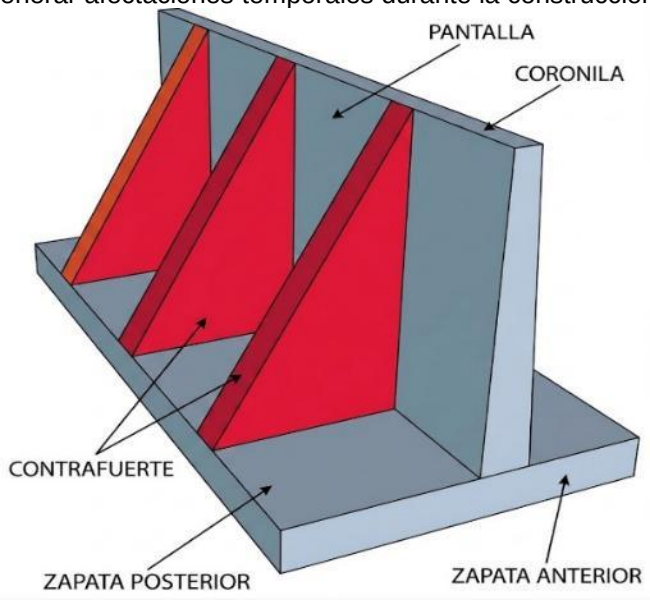


Figura 113. Alternativa 3. Contrafuertes de concreto sobre muro existente, con zapata posterior/interior y pilotines anclados a roca.

3.7.2 ANÁLISIS COMPARATIVO POR CRITERIOS

Se evalúan las alternativas bajo cinco dimensiones fundamentales:

- **Criterio Técnico y Constructivo:** La Alternativa 1 es altamente confiable por tratarse de una contención profunda (caissons de hasta 15,50 m) que controla el movimiento global del sector hasta la línea 5 de edificaciones y se apoya en estratos competentes. La Alternativa 2 presenta complejidad por la perforación de anclajes de 30 m, vibraciones y necesidad de desalojo preventivo. La Alternativa 3 es constructivamente viable pero de alcance limitado (2-3 líneas) y requiere zapatas y pilotines adicionales.

- **Criterio Económico:** Los presupuestos directos calculados (según Anexo de Presupuesto de Alternativas) son: Alt. 1: $1.130 millones; Alt. 2: $3.865 millones (incluye adquisición de vivienda y demoliciones); Alt. 3: $1.329 millones. Aunque la Alt. 1 tiene un costo intermedio, ofrece la mayor cobertura de estabilidad. La Alt. 2 es significativamente más costosa por la gestión predial asociada al desalojo. (ver Anexo Presupuesto Alternativas)

- **Criterio Ambiental:** Las tres alternativas generan intervenciones en el talud. La Alt. 1, al ser una pantalla profunda, concentra la intervención en una franja limitada y permite el manejo adecuado de aguas superficiales mediante la viga cabezal y cunetas. Las Alt. 2 y 3 actúan sobre el muro existente con menor volumen de excavación en algunos tramos, pero requieren perforaciones y obras auxiliares que también generan escombros y afectaciones temporales.

- **Criterio Urbanístico:** La Alt. 1 permite la reconformación del espacio superior y el manejo de escorrentías, habilitando zonas más seguras para futuros desarrollos. Las Alt. 2 y 3 mantienen en mayor medida la configuración actual del muro, con menor transformación del paisaje inmediato, aunque no resuelven de manera integral la estabilidad del sector.

- **Criterio Social:** La Alt. 1 brinda la percepción de máxima seguridad al controlar el movimiento global y proteger hasta la línea 5. Requiere gestión predial focalizada. La Alt. 2 exige desalojo preventivo de edificaciones y puede generar impactos por vibración y reparaciones, aumentando la sensación de inseguridad temporal y los costos sociales. La Alt. 3 tiene impactos intermedios, pero su alcance limitado (2-3 líneas) no genera la misma confianza de seguridad integral.

3.7.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación, se presenta la matriz de calificación, ponderando cada criterio de 1 (Menos Favorable) a 5 (Más Favorable).

Tabla 97 Matriz de análisis y selección de alternativas

Criterio	Ponderación (%)	Alt 1 (Caissons)	Alt 2 (Anclajes)	Alt 3 (Contrafuertes)
Técnico / Constructivo (Estabilidad)	30%	5 (1.50)	3 (0.90)	3 (0.90)
Económico (Presupuesto e Inversión)	25%	4 (1.00)	1 (0.25)	3 (0.75)
Urbanístico (Espacio y Paisaje)	15%	4 (0.60)	3 (0.45)	3 (0.45)
Ambiental	15%	3 (0.45)	3 (0.45)	4 (0.60)
Social (Percepción seguridad y predios)	15%	5 (0.75)	2 (0.30)	3 (0.45)
PUNTAJE TOTAL	100%	4.30	2.35	3.15

3.7.4 CONCLUSIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN

Tras la ponderación de los criterios, la Alternativa 1 (Pantalla o Cortina de Caissons de Concreto Reforzado) es la opción seleccionada. A pesar de que la Alternativa 3 presenta un costo de ejecución moderado ($1.329 millones) y la Alternativa 2 un costo significativamente mayor ($3.865 millones, por inclusión de adquisición de vivienda), la Alternativa 1 ($1.130 millones) ofrece la máxima garantía de estabilidad geotécnica al constituir una contención profunda que controla el movimiento global del sector hasta la línea 5 de edificaciones.

Además, la Alternativa 1 minimiza la necesidad de desalojos masivos preventivos en comparación con la Alternativa 2 y proporciona una solución estructural definitiva y monolítica (viga cabezal + caissons) con manejo integral de drenajes. Finalmente, representa el mejor balance entre viabilidad económica, alcance de protección y seguridad estructural definitiva para mitigar el riesgo alto presente en el sector de Arborizadora, habilitando condiciones más seguras para el espacio público y futuros desarrollos.

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, con el caisson, corte 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 = 0,35 a la Formación Guaduas; en la condición seca, Ru = 0 en todos los materiales. La sobrecarga superficial es q = 15 kPa, sobrecarga por edificaciones es q = 30 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 98. 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	0,35	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	0,35	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 99. Modelos de análisis de las etapas durante la construcción y con obras.

Etapa	Escenario	Condición	FS requerido
Durante construcción	5	Estático seco	1,25

Etapa	Escenario	Condición	FS requerido
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 100. Factores de seguridad - Condición actual.

Escenario	Condición	FS obtenido	FS requerido	Cumple
1	Estático seco	1.375	1.5	No cumple
2	Estático saturado	0.798	1.5	No cumple
3	Pseudoestático seco	0.99	1.1	No cumple
4	Pseudoestático saturado	0.57	1.1	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

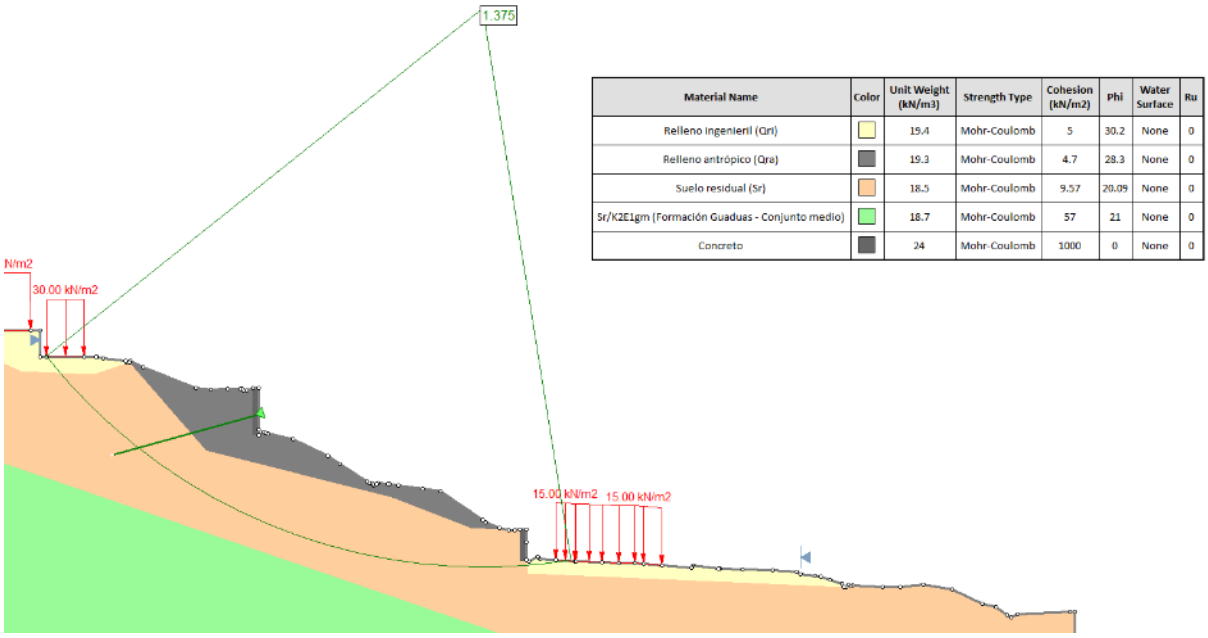
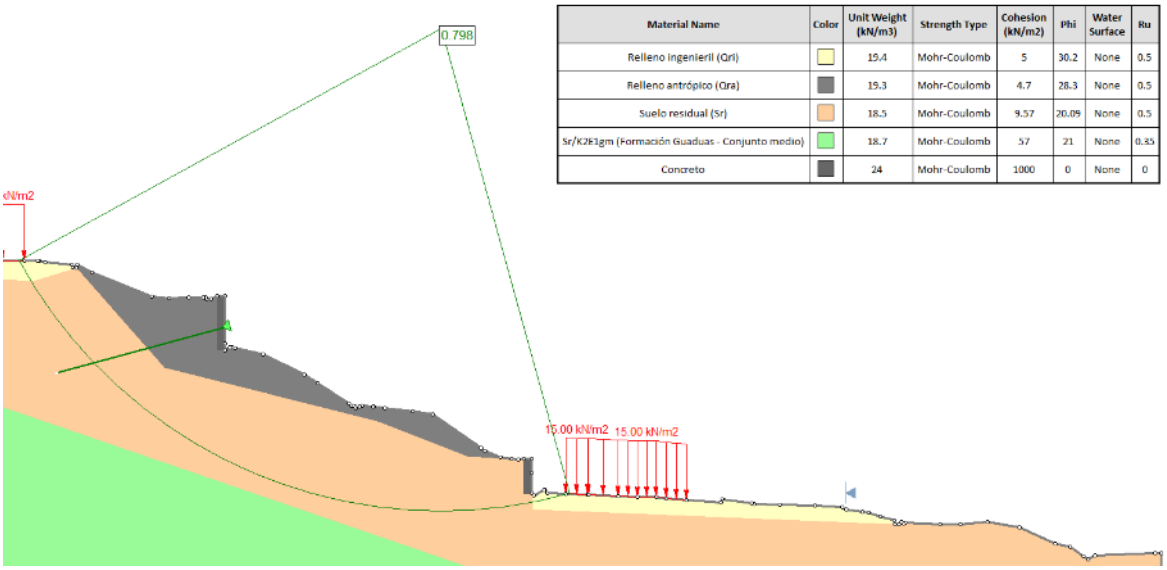
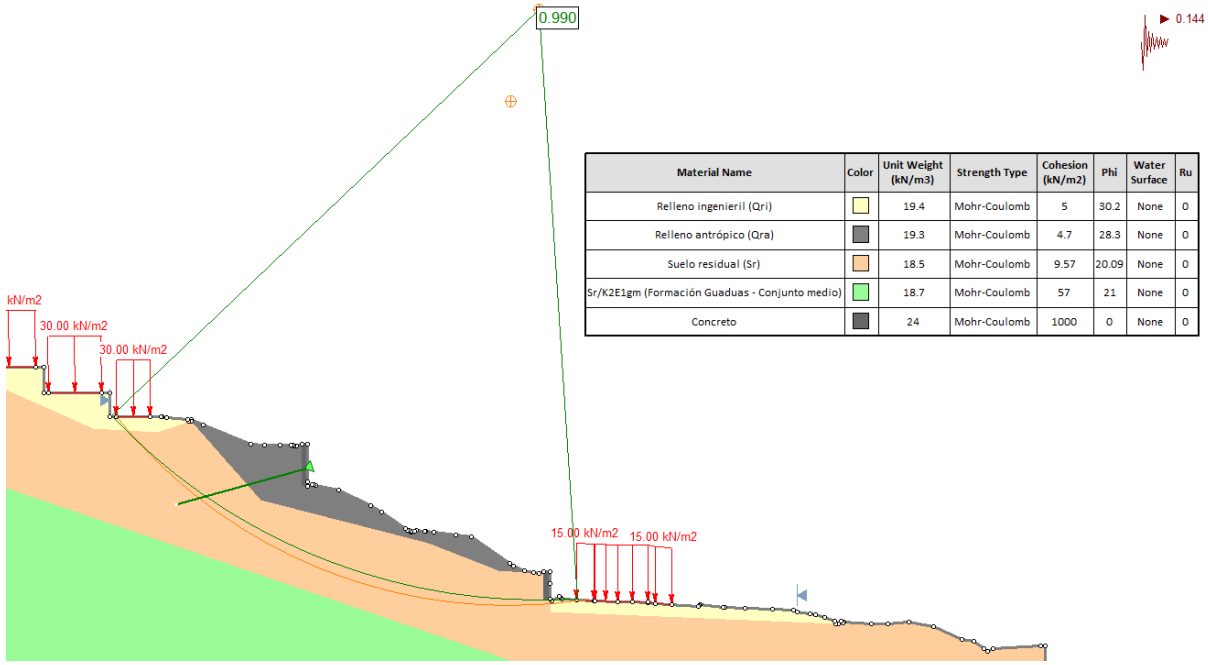


Figura 114. Análisis de estabilidad - Estático seco
Fuente: Elaboración propia.



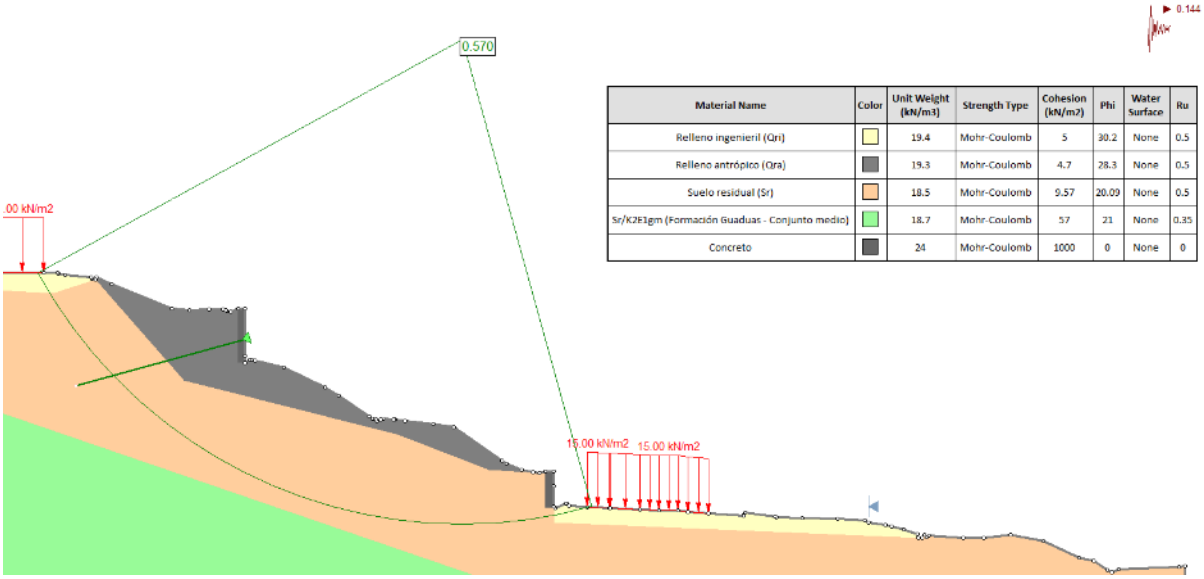
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
Relleno ingenieril (Qri)		19.4	Mohr-Coulomb	5	30.2	None	0.5
Relleno antrópico (Qra)		19.3	Mohr-Coulomb	4.7	28.3	None	0.5
Suelo residual (Sr)		18.5	Mohr-Coulomb	9.57	20.09	None	0.5
Sr/K2E1gm (Formación Guaduas - Conjunto medio)		18.7	Mohr-Coulomb	57	21	None	0.35
Concreto		24	Mohr-Coulomb	1000	0	None	0

Figura 115. Análisis de estabilidad - Estático saturado
Fuente: Elaboración propia.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
Relleno ingenieril (Qri)		19.4	Mohr-Coulomb	5	30.2	None	0
Relleno antrópico (Qra)		19.3	Mohr-Coulomb	4.7	28.3	None	0
Suelo residual (Sr)		18.5	Mohr-Coulomb	9.57	20.09	None	0
Sr/K2E1gm (Formación Guaduas - Conjunto medio)		18.7	Mohr-Coulomb	57	21	None	0
Concreto		24	Mohr-Coulomb	1000	0	None	0

Figura 116. Análisis de estabilidad - Pseudoestático seco
Fuente: Elaboración propia.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
Relleno ingenieril (Qri)		19.4	Mohr-Coulomb	5	30.2	None	0.5
Relleno antrópico (Qra)		19.3	Mohr-Coulomb	4.7	28.3	None	0.5
Suelo residual (Sr)		18.5	Mohr-Coulomb	9.57	20.09	None	0.5
Sr/K2E1gm (Formación Guaduas - Conjunto medio)		18.7	Mohr-Coulomb	57	21	None	0.35
Concreto		24	Mohr-Coulomb	1000	0	None	0

Figura 117. Análisis de estabilidad - Pseudoestático saturado
Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 ETAPA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

La etapa de construcción corresponde a la condición analizada de acuerdo con la configuración definida en el proceso constructivo. Esta contempla la estabilización del sector mediante la implementación de caissons cimentados en la roca perteneciente a la Formación Guaduas, garantizando una penetración mínima equivalente a tres (3) veces el diámetro del elemento. Considerando un diámetro de diseño de 1,20 m, se requiere una longitud de empotramiento no inferior a 3,60 m dentro del estrato rocoso. No obstante, de acuerdo con las proyecciones de diseño de la obra, se prevé que los caissons alcancen una profundidad aproximada de 6,0 m en roca.

Adicionalmente, la solución contempla la instalación de drenes con una inclinación de 15° respecto a la horizontal, así como el corte y desmonte de los anclajes existentes que interfieren con la nueva configuración estructural. Los resultados obtenidos del análisis de estabilidad se presentan en la tabla siguiente, mientras que la geometría modelada para esta condición se ilustra en la figura correspondiente.

Tabla 101. Factores de seguridad – etapa durante la construcción.

Escenario	Condición	FS obtenido	FS requerido	Cumple
5	Estático seco (Ru = 0)	1.35	1,25	Cumple
6	Pseudoestático seco (Ru = 0)	1.06	1,00	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

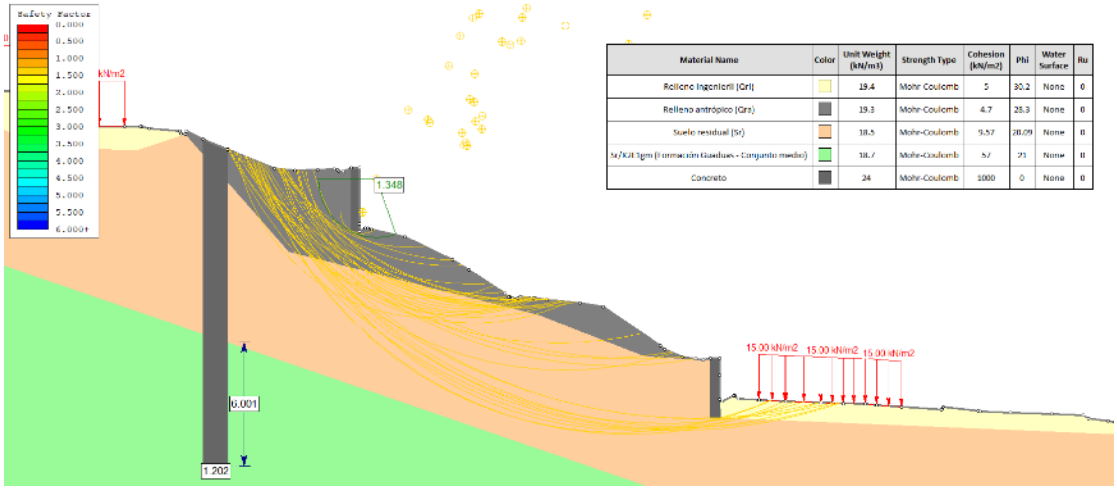


Figura 118. Análisis de estabilidad – etapa durante la construcción (Estático seco (Ru = 0))
Fuente: Elaboración propia.

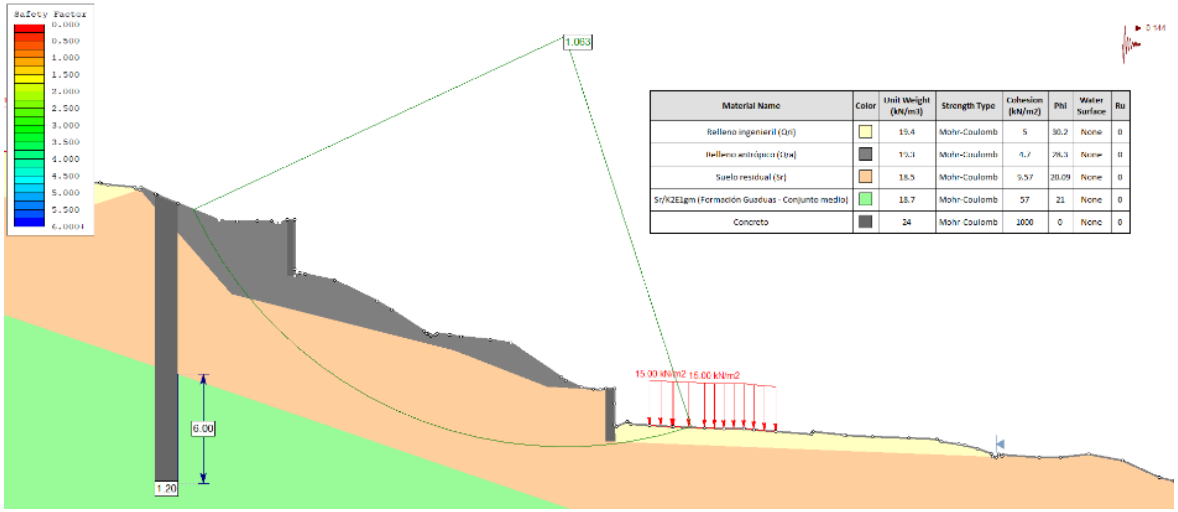


Figura 119. Análisis de estabilidad – etapa durante la construcción (Pseudoestático seco (Ru = 0))
Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 ETAPA CON OBRAS

La etapa con obras definitivas corresponde a la condición final del proyecto, una vez ejecutadas las medidas de estabilización previstas, incluyendo la construcción de los caissons y la implementación del sistema de drenaje. Alcanzada la estabilidad global del movimiento principal y una vez que los caissons desarrollen la resistencia de diseño especificada, se procederá con la demolición del muro existente.

Posteriormente, se realizará la conformación de un talud con una pendiente de 2H:1V en el sector actualmente ocupado por dicha estructura. Esta intervención tiene como objetivo reducir las cargas gravitacionales actuantes sobre la parte superior del talud, disminuyendo las fuerzas desestabilizadoras y,

en consecuencia, la probabilidad de deformaciones y desplazamientos asociados a procesos de inestabilidad.

La configuración planteada busca complementar la estabilización del mecanismo principal de falla y mejorar las condiciones de estabilidad del sector adyacente a la vía. Para esta etapa se verifica el cumplimiento de los factores de seguridad establecidos en la Resolución 111 de 2022 del IDIGER, los cuales constituyen el criterio de aceptación para la medida de mitigación propuesta. Los resultados del análisis para esta condición se presentan en la tabla siguiente y la modelación correspondiente se ilustra en la figura respectiva.

Tabla 102. 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)	1.14	1,10	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

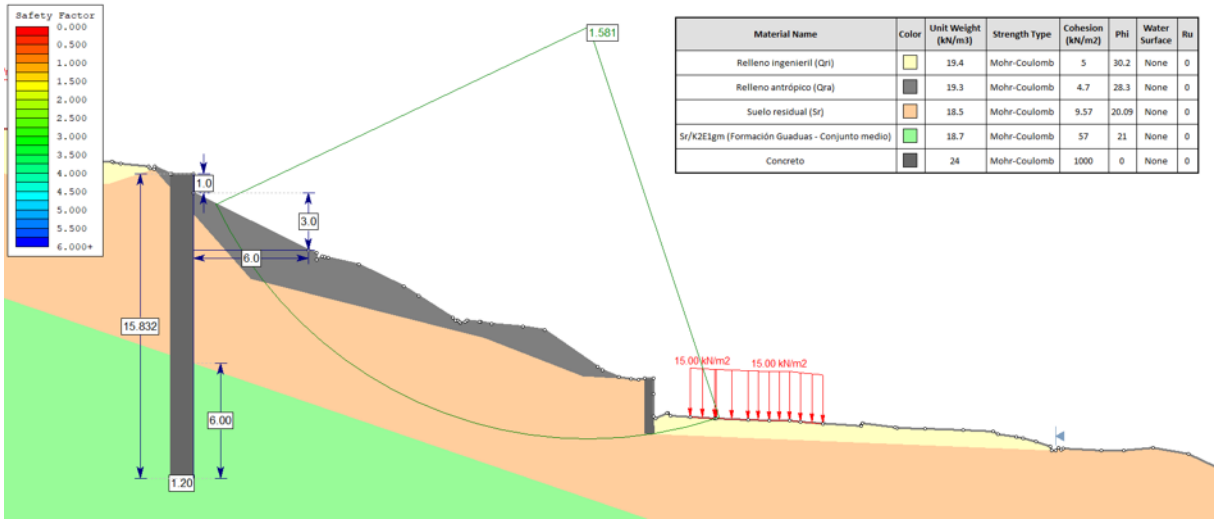


Figura 120. Análisis de estabilidad – obra (Estático seco (Ru = 0))
Fuente: Elaboración propia.

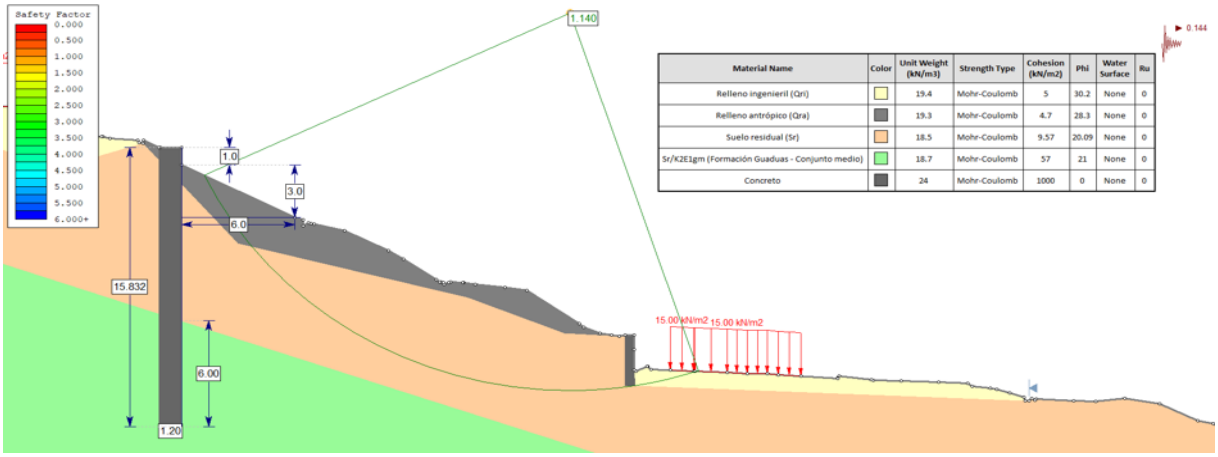


Figura 121. Análisis de estabilidad – obra (Pseudoestático seco (Ru = 0))
Fuente: Elaboración propia.

4.2 OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO

4.2.1 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Los parámetros geotécnicos son extraídos del estudio de geotecnia de la siguiente manera:

Suelo a contener

Tabla 103. Parámetros geotécnicos del suelo a contener.

Estrato	Prof. (m)	N_{60}	γ (kN/m³)	ϕ′ (°)	Su (kPa)	ν	Es (kPa)
Qra (relleno)	0,0 – 4,0	22	19,3	28,3	—	0,30	6 600
Residual 1	4,0 – 5,5	12	18,5	24	60	0,30	8 400
Residual 2	5,5 – 9,5	31	18,5	26	150	0,30	8 400

Fuente: Pavimentos y Geotécnia

Macizo Rocoso

Tabla 104. Parámetros geotécnicos del macizo rocoso

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
qu roca intacta (qci)	23,1 MPa	Constante mb	0,877
GSI	17 (muy pobre)	Constante s	$9{,}9 \times 10^{-5}$
mi	17	Exponente a	0,553
γ roca (kN/m³)	18,7	Módulo Em	500 MPa

Fuente: Pavimentos y Geotécnia

Datos sísmicos

Tabla 105. Parámetros sísmicos para la zona cerros de la Microzonificación Sísmica de Bogotá.

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

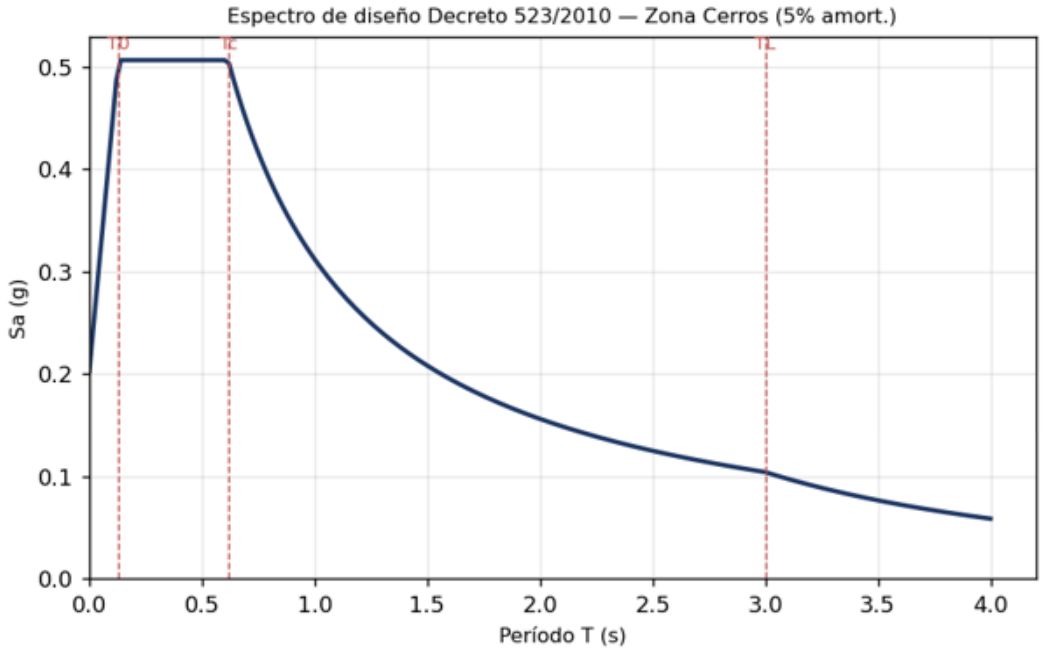


Figura 122. Espectro de diseño para la zona de cerros D523 MZSB.

4.2.2 MODELO MATEMÁTICO

Se realiza un modelo matemático con elementos tipo “frame” para la viga cabezal y los pilotes. La interacción del suelo con el “caisson” se simula con las constantes ks “springs” de acuerdo a lo módulo de reacción del suelo que se consigna en los parámetros geotécnicos del estudio de suelos elaborados por la firma Pavimentos y Geotecnia.

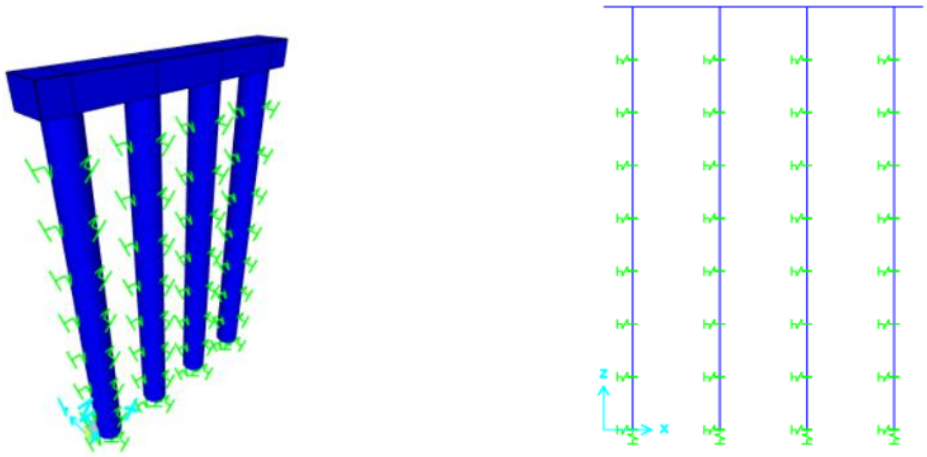


Figura 123. Modelo matemático del muro pantalla para el sector 1.

Propiedades geométricas

Tabla 106. Propiedades geométricas del modelo matemático.

	SectionName Text	Material Text	Shape Text	t3 m	t2 m	Area m2	TorsConst m4	I33 m4	I22 m4
▶	PILOTE	4000Psi	Circle	1,2		1,130973	0,203575	0,101788	0,101788
	V140X100	4000Psi	Rectangular	1	1,4	1,4	0,261222	0,116667	0,228667

Constante de los resortes

Tabla 107. Módulos de reacción para pilotes

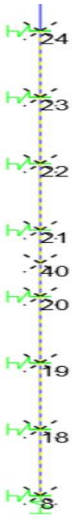
Prof. (m)	Estrato	Es (kPa)	v	Kh — Vesić (kN/m³) Ø0,80	Ø1,00	Ø1,20	Ø1,50	Kv — Bowles (kN/m³) Ø0,80	Ø1,00	Ø1,20	Ø1,50
0,5	Qra	6600	0,30	3868	3095	2579	2063	9066	7253	6044	4835
1,0	Qra	6600	0,30	3868	3095	2579	2063	9066	7253	6044	4835
1,5	Qra	6600	0,30	3868	3095	2579	2063	9066	7253	6044	4835
2,0	Qra	6600	0,30	3868	3095	2579	2063	9066	7253	6044	4835
2,5	Qra	6600	0,30	3868	3095	2579	2063	9066	7253	6044	4835
3,0	Qra	6600	0,30	3868	3095	2579	2063	9066	7253	6044	4835
3,5	Qra	6600	0,30	3868	3095	2579	2063	9066	7253	6044	4835
4,0	Qra	6600	0,30	3868	3095	2579	2063	9066	7253	6044	4835
4,5	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
5,0	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
5,5	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
6,0	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
6,5	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
7,0	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
7,5	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154

8,0	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
8,5	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
9,0	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
9,5	Residual	8400	0,30	5023	4019	3349	2679	11538	9231	7692	6154
10,0	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
10,5	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
11,0	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
11,5	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
12,0	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
12,5	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
13,0	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
13,5	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
14,0	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
14,5	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
15,0	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556
15,5	Roca	500000	0,25	407978	326383	271986	217588	666667	533333	444444	355556

Fuente: Pavimentos y Geotécnia

Tabla 108. Constantes de los resortes Kh para el modelo matemático

	Joint Text	CoordSys Text	U1 Tonf/m	U2 Tonf/m	U3 Tonf/m
▶	8	Local	33270	33270	51239
	18	Local	66540	66540	0
	19	Local	66540	66540	0
	20	Local	66540	66540	0
	21	Local	820	820	0
	22	Local	820	820	0
	23	Local	630	630	0
	24	Local	630	630	0



4.2.3 AVALÚO DE CARGAS

Empuje de Tierras (EH)

Coeficiente de empujes activos de tierras Ko= 0.59 (véase estudio de suelos)

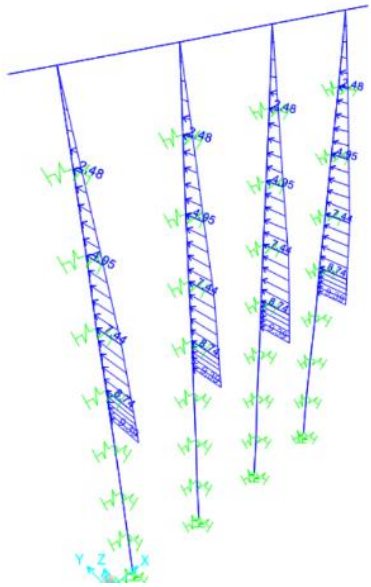


Figura 124. Empuje de tierras (EH) 9.39 Tn/m2 abajo. Ko=0.59.

Los últimos 3.5 metros se toma el g suelo sumergido (g-1)

Empuje por sobrecarga (LS)

Se toma una sobrecarga de W=15 KPa. Luego el empuje es: Ko*W

LS=0.59*15KPa= 8.85 KPa/m (0.89 Ton/m^2/m*1.2m)=1.06 Ton/m

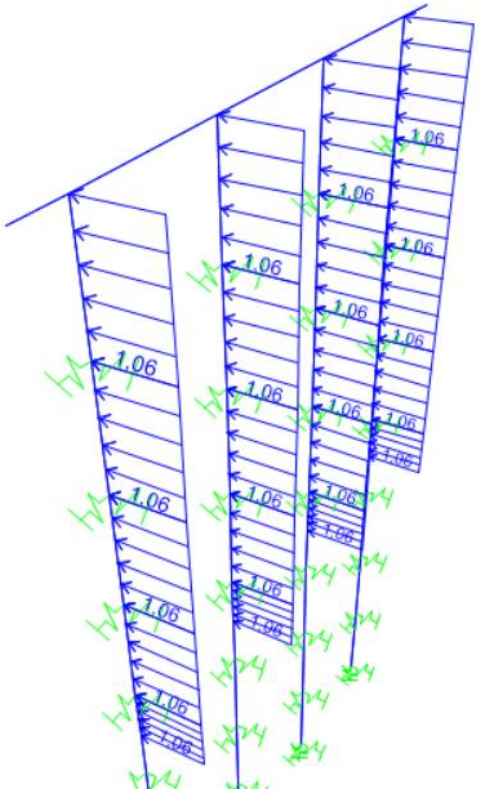


Figura 125. Sobrecarga vehicular (LS). 1.06 Tn/m.

Empuje hidrostático por nivel freático (WA)

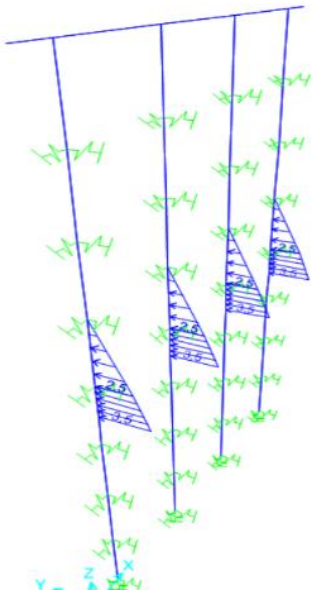


Figura 126. Empuje hidrostático por nivel freático (WA). 3.5 Ton/m2 abajo.

Carga de sismo

Sismo por empuje de tierra (Pae)

Kdinámico=0.11

EQy= 0.11*2.1ton/m^3* 9.5m= 2.19 ton/m^2/m

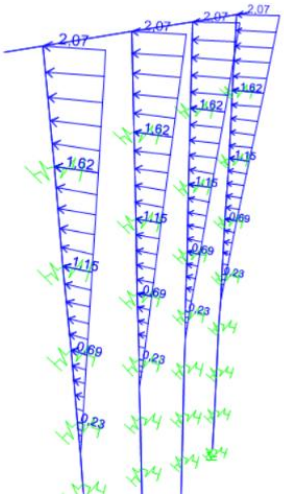
Sismo por fuerza inercial (Pir)

Se toma el peso de la viga cabezal y los dos primeros metros de la sección del “caisson”

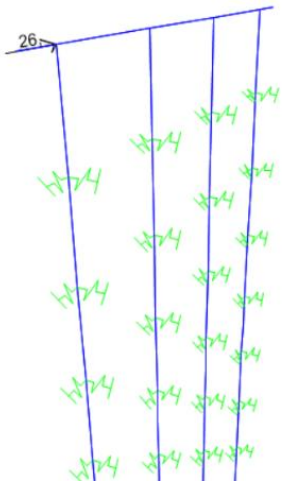
W =(1.13m^2*2m*4+(1.4m*1.0m*9m))*2.4Ton/m^3=52 Tonf

Sa=2.5*0.15*1.35=0.506g

Vs=0.506*52=26 Tonf



EQy= Sismo por empuje de tierras (Pae)



EQx= Sismo por fuerza inercial (Pir)

Figura 127. Cargas por sismo EQx, EQy.

Carga viva sobre viga cabezal (L)

Carga= 0.2 Tn/m^2; w=0.2tn/m^2*1.4m= 0.28 Tn/ml

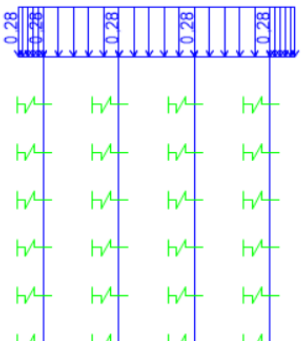


Figura 128. Distribución de carga viva sobre viga cabezal (L)= 0.28 Tn/ml.

4.2.4 COMBINACIONES DE CARGA

Tabla 109. Según B.2.4 NSR-10.

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
1.2D+1.6EH+1.6LS+1.6L	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1,2
1.2D+1.6EH+1.6LS+1.6L			Linear Static	EH	1,6
1.2D+1.6EH+1.6LS+1.6L			Linear Static	LS	1,6
1.2D+1.6EH+1.6LS+1.6L			Linear Static	L	1,6
0.9D+1.6EH+1.6LS+1.6L	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	0,9
0.9D+1.6EH+1.6LS+1.6L			Linear Static	EH	1,6
0.9D+1.6EH+1.6LS+1.6L			Linear Static	LS	1,6
0.9D+1.6EH+1.6LS+1.6L			Linear Static	L	1,6
1.0D+1.0LS+1.0L+1.0EH	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1
1.0D+1.0LS+1.0L+1.0EH			Linear Static	EH	1
1.0D+1.0LS+1.0L+1.0EH			Linear Static	L	1
1.0D+1.0LS+1.0L+1.0EH			Linear Static	LS	1
1.2D+1.5EH+1.0EQy+0.3EQx	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1,2
1.2D+1.5EH+1.0EQy+0.3EQx			Linear Static	EH	1,6
1.2D+1.5EH+1.0EQy+0.3EQx			Linear Static	EQy	1
1.2D+1.6EH+0.3EQy+1.0EQx	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1,2
1.2D+1.6EH+0.3EQy+1.0EQx			Linear Static	EH	1,6
1.2D+1.6EH+0.3EQy+1.0EQx			Linear Static	EQy	0,3
1.2D+1.6EH+0.3EQy+1.0EQx			Linear Static	EQx	0,2
1.4D+1.4WA	Linear Add	No	Linear Static	DEAD	1,4
1.4D+1.4WA			Linear Static	WA	1,4
ENVOLULT	Envelope	No	Response Combo	1.2D+1.6EH+1.6LS+1.6L	1
ENVOLULT			Response Combo	0.9D+1.6EH+1.6LS+1.6L	1
ENVOLULT			Response Combo	1.2D+1.5EH+1.0EQy+0.3EQx	1
ENVOLULT			Response Combo	1.2D+1.6EH+0.3EQy+1.0EQx	1
ENVOLULT			Response Combo	1.4D+1.4WA	1

4.2.5 COEFICIENTES DE SEGURIDAD PARA LA RESISTENCIA

- Flexión y tracción en concreto reforzado = 0.9
- Cortante y torsión en concreto de densidad normal = 0.9
- Compresión en elementos con espirales =0.75
- Flexión y tracción en acero = 0.9

4.2.6 SOLICITACIONES

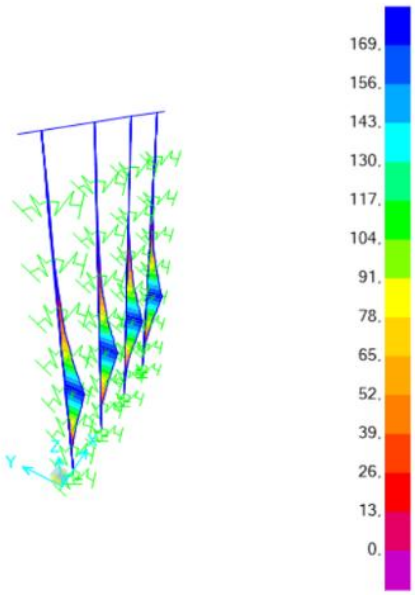


*Figura 129. Momento pilote M2-2. (Tn*m) ENVOLULT.*

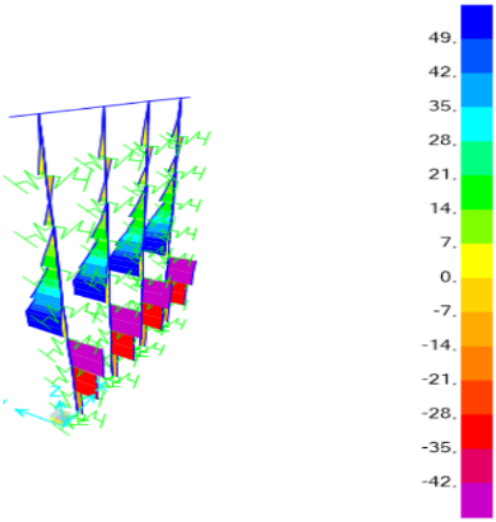
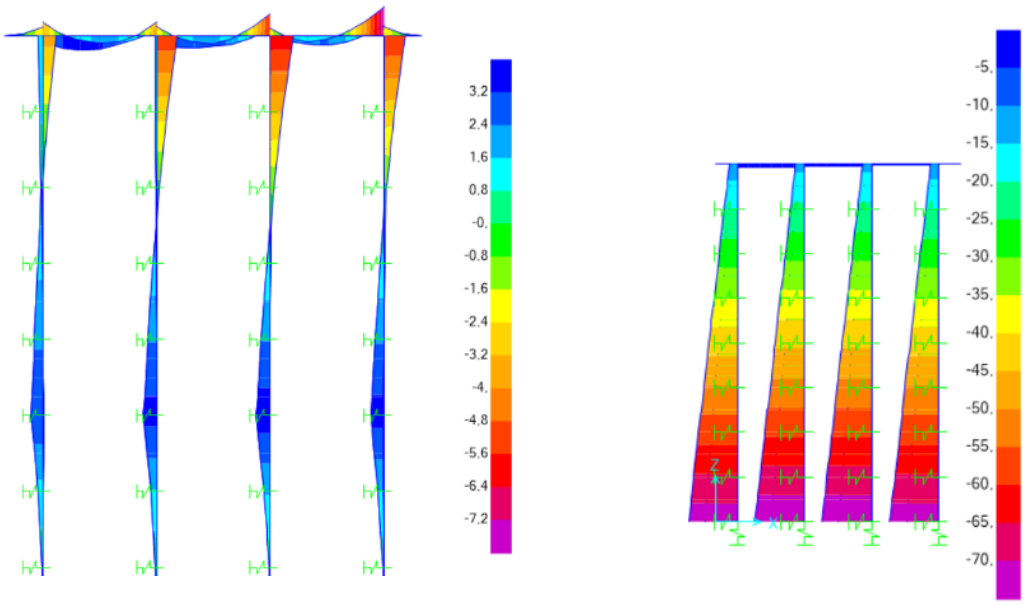


Figura 130. Diagrama de cortante V3-3 pilote (Tonf)-ENVOLULT.



M3-3 máximo 6.4 Tonf*m

P máximo 70 Tonf

*Figura 131. Diagrama M33 y P en "caisson". ENVOLULT. Tonf*m.*

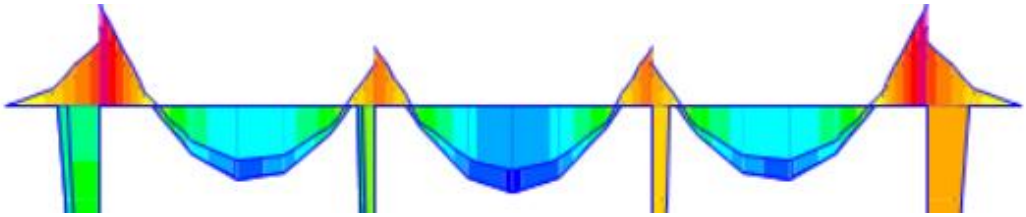


Figura 132. Diagrama M3-3 y V en viga cabezal. ENVOLULT. Tonf.

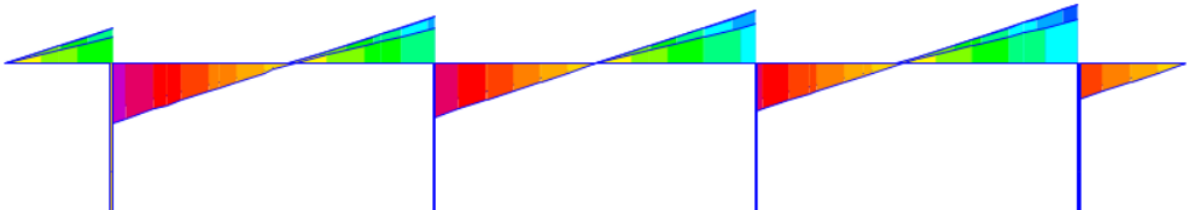


Figura 133. Diagrama de momentos y cortante viga cabezal.

4.2.7 DEFLEXIONES

Deflexión en el sentido Y (Dirección del empuje del terreno)= 13.4 mm en la punta. Corresponde a una relación de L/1160.

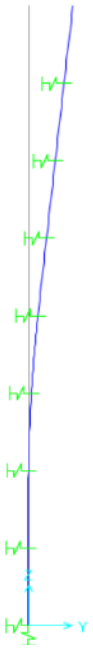
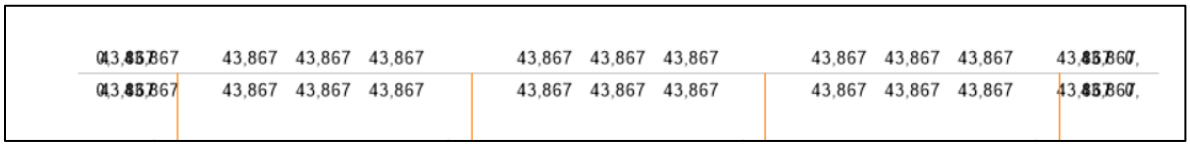


Figura 134. Deflexión en la punta del sistema. 13.4 mm (L/1160).

4.2.8 DISEÑO ELEMENTOS ESTRUCTURALES

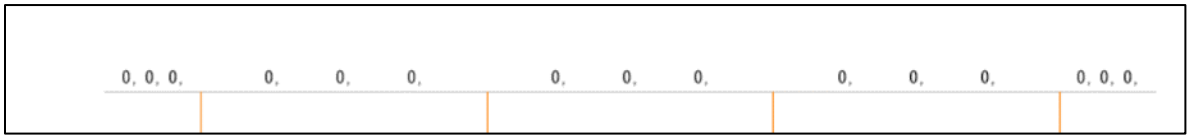
4.2.8.1 Viga cabezal

Flexión (cm^2)



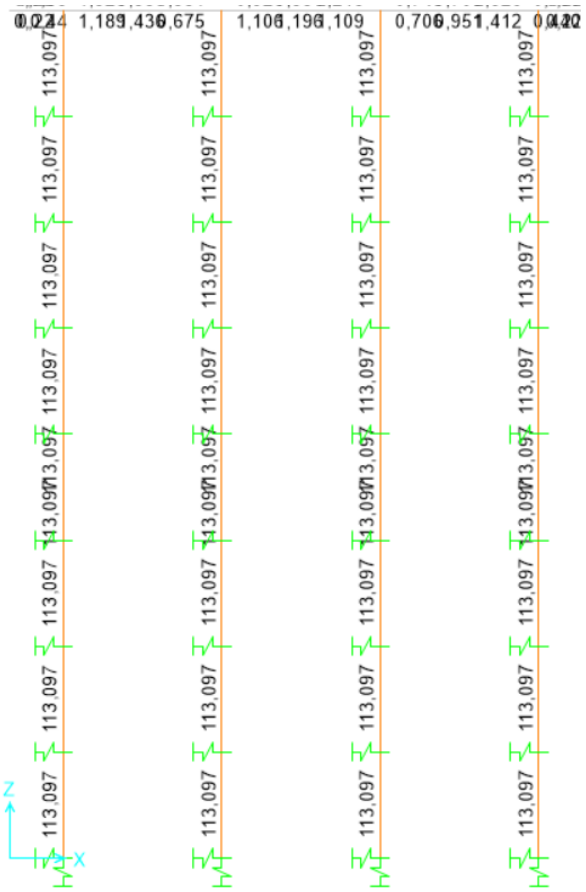
As=43.8 cm^2 : Usar 14 No7

Cortante



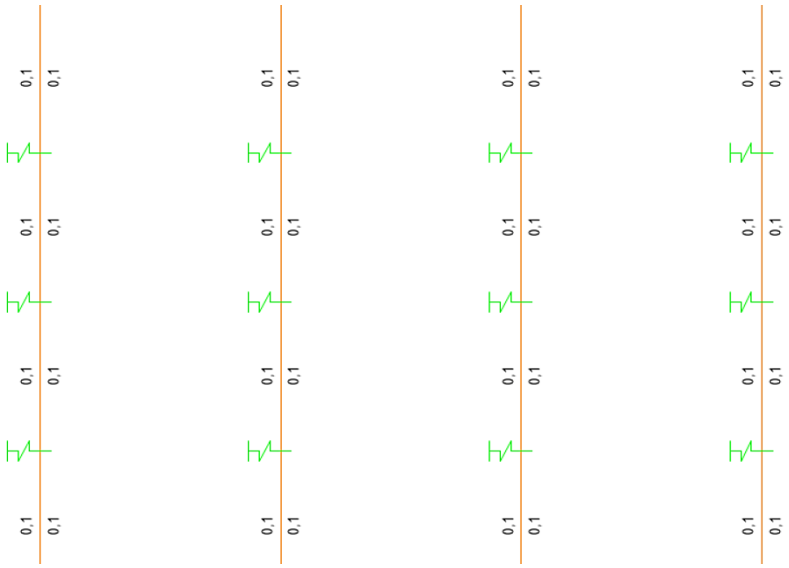
Usar refuerzo a cortante con flejes dobles No 4 cada 30 cm

4.2.8.2 "Caisson"



As=113 cm². Usar 24 No 8

Cortante



4.2.8.3 Verificación a cortante

DISEÑO DE PILOTES

CAIMALITO

DATOS:

- **Materiales**

- Concreto

f'c =	280	kg/cm^2
ϕ max. Agr. Grueso	0,8	"
E =	250998,0	kg/cm^2

- Acero de refuerzo

fy transv.=	4200	kg/cm^2
fy long.=	4200	kg/cm^2
ϕ barra =	0,6	"
d =	0,1	m.

d : Recubrimiento del Refuerzo

- **Estructurales**

- Sección y Nº de pilotes

ϕ Diámetro =	1,2	m.
Nº =	1,0	

- Solicitaciones

F_x =	1,0	ton.
F_y =	49,0	ton.

F : Fuerza de corte última

- **Geotécnicos**

K Modulo de Reaccion del suelo	0,5	kg/cm^3

CALCULOS: DISEÑO A CORTANTE

- **Refuerzo transversal**

- Cuantía Volumétrica

Según Ordinal (d) del Numeral A.7.24.4.1

$$\rho_S = 0.45\left[\frac{A_g}{A_c} - 1\right]\frac{f'_c}{f_{yh}} \quad o, \quad \rho_S = 0.12\,\frac{f'_c}{f_{yh}}$$

Ag =	1,131	m^2	
Ac =	0,882	m^2	
Ag/Ac =	1,28		
ρ_{s1} =	0,0084		
ρ_{s2} =	0,0080	Usar ρ_s =	**0,0084**

s =	8,84	cm.	
s_{max} =	7,50	cm.	
s_{min} =	2,53	cm.	Usar s = **7,50** cm.

- **Verificación de resistencia a cortante**

F_x =	1,00 ton.	
F_y =	49,00 ton.	
F_r =	49,01 ton.	F_r : Resultante por pilote
v_u=	6,53 kg/cm^2	v_u : Esfuerzo Cortante Ultimo Actuante
v_c=	8,87 kg/cm^2	v_c : Esfuerzo Cortante Resistido por el Concreto

$s_{req.}$= Cuant.Volum

4.2.9 CONCLUSIONES

1. Se desarrolló el análisis y diseño estructural de la pantalla de contención conformada por caissons de 1,20 m de diámetro, vinculados mediante una viga cabezal de 1,40 × 1,00 m, como solución para la estabilización del sitio inestable localizado en el barrio Arborizadora en la localidad de ciudad Bolívar
2. El modelo estructural fue elaborado mediante elementos tipo *frame*, representando la interacción suelo-estructura mediante resortes equivalentes (modelo de viga sobre fundación elástica), cuyas rigideces fueron definidas a partir de los módulos de reacción horizontal (Kh) suministrados en el estudio geotécnico. Esta metodología permite representar adecuadamente el comportamiento de los caissons sometidos a cargas laterales.
3. En el análisis se consideraron las acciones provenientes del empuje activo de tierras, la sobrecarga vehicular, Presiones hidrostáticas por nivel freático, sismo por empuje de tierras y fuerzas inerciales y el peso propio de la estructura, utilizando las combinaciones de carga establecidas en el reglamento de construcciones sismo resistentes NSR-10 para los estados límite de resistencia y de servicio.
4. Los resultados del análisis permitieron determinar las solicitaciones máximas de momento flector, fuerza cortante, carga axial y torsión que gobiernan el diseño de los caissons y de la viga cabezal, a partir de las envolventes obtenidas para las diferentes combinaciones de carga.
5. Con base en dichas solicitaciones, se definió el refuerzo requerido para los caissons y la viga cabezal, verificándose que los elementos estructurales presentan capacidad suficiente para resistir las acciones de diseño, cumpliendo con los requisitos en la NSR-10.
6. El diseño estructural presentado es técnicamente viable para las condiciones de carga y parámetros geotécnicos considerados. No obstante, su desempeño está condicionado a que durante la construcción se mantengan las propiedades geotécnicas adoptadas en el estudio de estabilidad y mitigación, las dimensiones de los elementos, la calidad de los materiales y los procedimientos constructivos especificados en el proyecto.
7. Cualquier modificación de las condiciones geotécnicas identificadas durante la excavación o la construcción deberá ser evaluada conjuntamente por los especialistas en geotecnia y estructuras, con el fin de verificar la validez de los parámetros de diseño y, de ser necesario actualizar el análisis estructural.

4.3 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

4.3.1 PLAN DE MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE ARBORIZADORA ALTA

El presente numeral desarrolla el plan de monitoreo e instrumentación geotécnica del sector de Arborizadora Alta (Polígono 5), 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.

4.3.1.1 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.

4.3.1.2 Fundamento técnico: mecanismo a monitorear y variables de control

El proceso corresponde a un movimiento lento asociado a la saturación de los depósitos superficiales y de los materiales arcillosos, con incremento de las presiones de poros y reducción de la resistencia al corte, desarrollado sobre el contacto entre el suelo residual y el macizo rocoso. La evidencia de campo es inequívoca: el muro de contención existente presenta grietas y desplazamientos, y se registró un asentamiento diferencial superior a 30 cm hacia su cimentación, además de afectaciones en barandas y cimentaciones cercanas. El monitoreo debe, por tanto, cumplir simultáneamente dos funciones: cuantificar la cinemática del movimiento activo y verificar el desempeño de la pantalla de caissons una vez construida.

La medida estructural proyectada corresponde a una pantalla de caissons de 1,20 m de diámetro, empotrada 6,0 m en el macizo rocoso de la Formación Guaduas, destinada a contener el paquete de relleno y suelo residual que se extiende desde la superficie hasta aproximadamente 9,5 m de profundidad, complementada con las obras de drenaje previstas. El sondeo de referencia SA-1 registró rechazo del ensayo SPT entre 9,0 y 9,5 m, que corresponde al techo de roca, y nivel freático a 6,0 m de profundidad al finalizar la perforación. Conforme al plano E-01 ARBORIZADORA v2 (avance de implantación, junio de

2026), la pantalla se desarrolla en diez (10) módulos de 6,00 m, para una longitud total de 60,0 m con veinte (20) caissons de 15,5 m de longitud, dispuesta 6,0 m aguas arriba del muro en concreto existente.

El sector corresponde a un desarrollo urbano consolidado sobre ladera, con viviendas de uno a tres pisos localizadas inmediatamente aguas arriba del muro existente, vías de acceso vehicular en la corona y senderos peatonales en la ladera baja. Las edificaciones afectadas por el asentamiento diferencial constituyen elementos expuestos prioritarios del programa de 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.

4.3.1.3 Instrumentos propuestos

La red propuesta para Arborizadora Alta está conformada por 7 elementos, distribuidos según se relaciona en la siguiente tabla.

Tabla 110. Composición de la red de instrumentación propuesta. Arborizadora Alta.

Instrumento	Cantidad	Identificadores
Inclinómetro	2	IPA-1, IPA-2
Piezómetro de tubo abierto	2	PZA-1, PZA-2
Punto de control topográfico	3	PTA-1, PTA-2, PTA-3

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3.1 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 contacto suelo–roca situado a 9,5 m y se empotre no menos de 10 m en el macizo de la Formación Guaduas, holgura que garantiza que el fondo del instrumento permanezca fijo aun si la superficie de deformación resulta más profunda que la supuesta. 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.

La siguiente figura presenta las partes del instrumento y la forma en que se obtiene el perfil de desplazamiento acumulado.

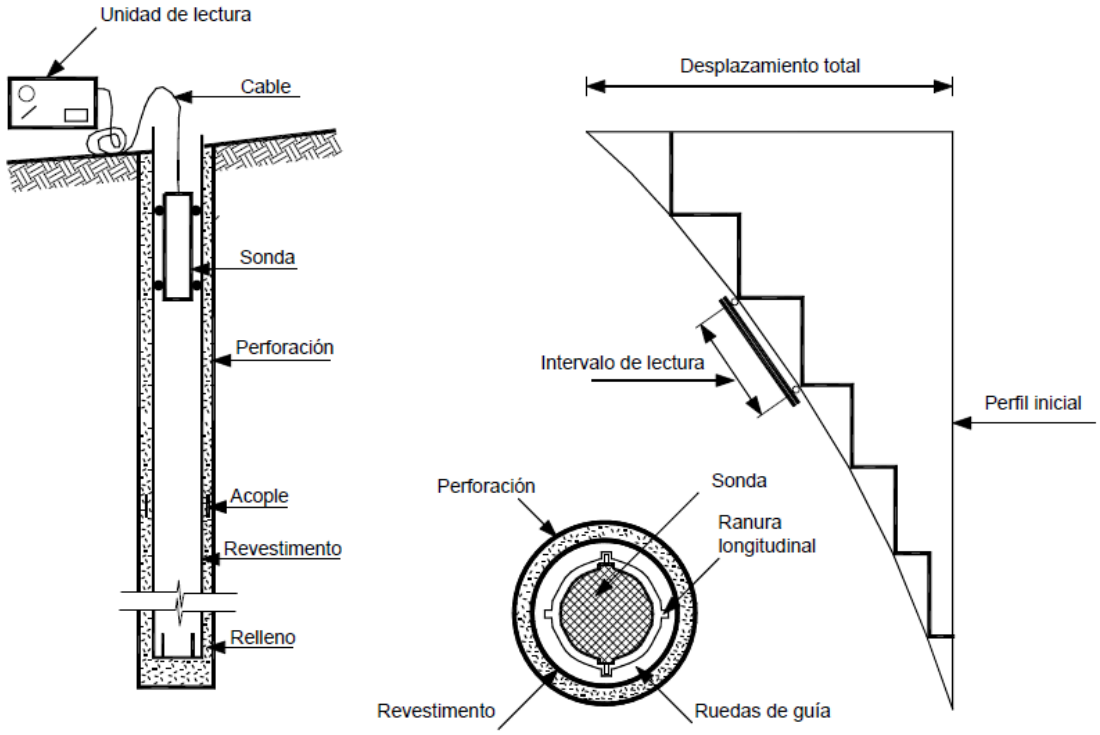


Figura 135. Esquema de partes del inclinómetro y de la medición del desplazamiento acumulado.
Fuente: Hanna (1985).

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.

4.3.1.3.2 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 15,0 m, con tramo filtrante que abarque el nivel freático registrado a 6,0 m en SA-1 y su oscilación estacional. 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.

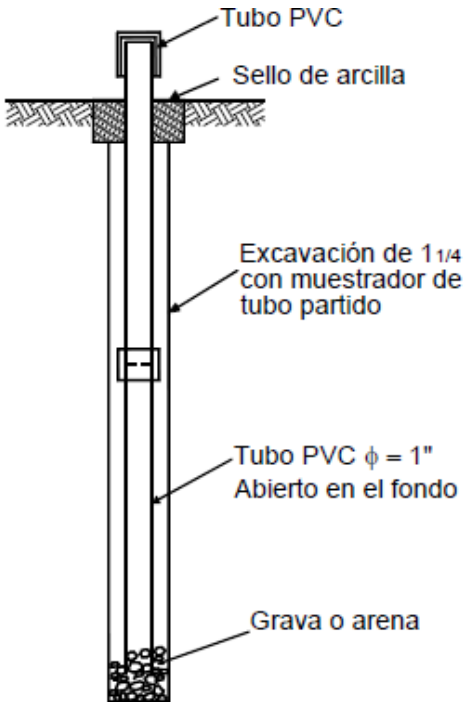


Figura 136. Esquema de un piezómetro de tubo abierto.
Fuente: Suárez (1998).

4.3.1.3.3 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, la continuidad del movimiento lento que afecta hoy al muro existente, el desplazamiento de la viga cabezal una vez construida la pantalla, el asentamiento del terreno en el andén y la vía de acceso, y las deformaciones diferenciales que puedan comprometer las edificaciones vecinas, algunas de las cuales acusan ya asentamientos superiores a 30 cm.

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 consignados en el cuadro de coordenadas del plano E-01 ARBORIZADORA v2, localizados fuera de la zona de movimiento, y cerrarse sobre ellos. La tolerancia de cierre debe ser inferior al umbral del nivel naranja; 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.

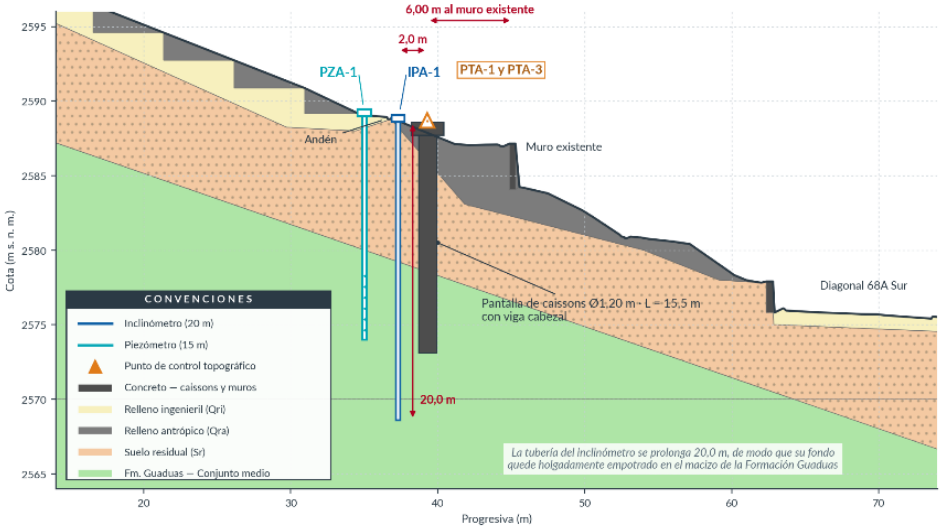


Figura 137. Modelo geológico-geotécnico con la disposición del inclinómetro, del piezómetro y de los puntos de control respecto de la obra proyectada. Arborizadora Alta.

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo geológico-geotécnico del sector (numeral 3.3) y del plano E-01 ARBORIZADORA v2.

El punto PTA-2 se materializa como mojón en el andén, de modo que ofrezca control superficial desde la línea base, mientras que PTA-1 y PTA-3 son placas sobre la viga cabezal, destinadas al seguimiento de la obra terminada. El esquema, trazado sobre el perfil representativo del sector, muestra que el inclinómetro se dispone aguas arriba del eje de la pantalla, de modo que registre el movimiento de la masa retenida sin interferir con la excavación de los caissons, y que su punta queda holgadamente empotrada en el macizo por debajo del contacto suelo–roca. El piezómetro se sitúa aguas arriba del inclinómetro, con el tramo filtrante abarcando el nivel freático registrado en SA-1.

4.3.1.4 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 *Figura 138* presenta la disposición propuesta sobre el ortomosaico del sector, junto con la zona de implantación de la obra proyectada, y la *Tabla 111* relaciona las coordenadas de cada elemento. El eje de la pantalla de caissons dibujado en la figura reproduce el desarrollo de 60,0 m del plano E-01 ARBORIZADORA v2, ajustado en planta a 6,0 m aguas arriba del muro en concreto existente. PTA-1 y PTA-3 se disponen sobre la viga cabezal, en los extremos del eje, y PTA-2 como mojón en terreno natural a 4,5 m al suroccidente, por fuera de la franja de excavación de los caissons.

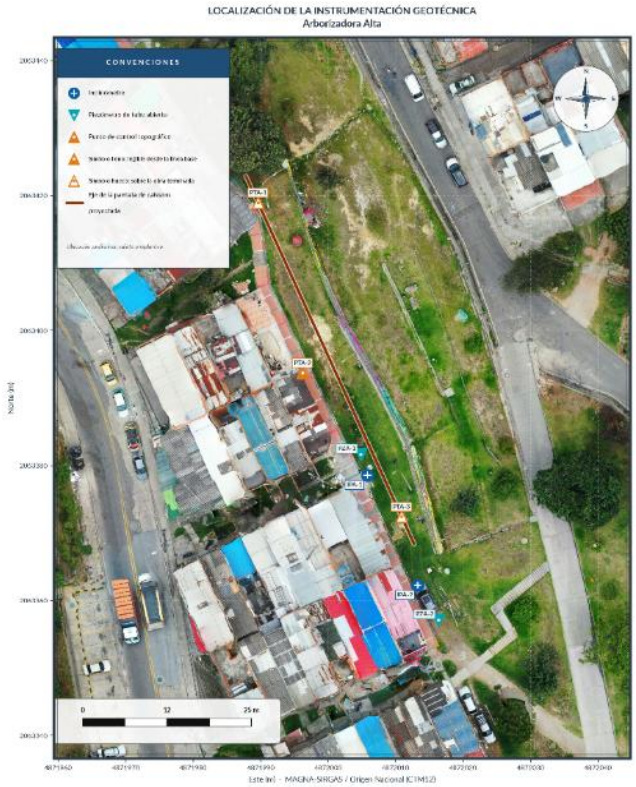


Figura 138. Localización de la instrumentación geotécnica propuesta sobre ortomosaico. Arborizadora Alta.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 111. Coordenadas y características de los instrumentos propuestos. Arborizadora Alta.

ID	Instrumento	Este [m]	Norte [m]	Prof. [m]	Lectura desde	Localización
IPA-1	Inclinómetro	91.480,96	97.394,81	20,0	Línea base	2,0 m al suroccidente del eje de la pantalla, sector sur (K0+048)
IPA-2	Inclinómetro	91.488,46	97.378,49	20,0	Línea base	2,0 m al suroccidente del eje, 5,8 m más allá del extremo sur de la pantalla
PZA-1	Piezómetro de tubo abierto	91.479,94	97.397,90	15,0	Línea base	Contiguo a IPA-1, control del nivel freático (6,0 m en SA-1)
PZA-2	Piezómetro de tubo abierto	91.491,51	97.373,36	15,0	Línea base	Contiguo a IPA-2, en la prolongación sur de la pantalla
PTA-1	Punto de control topográfico	91.464,64	97.435,22	N. A.	Recibo de obra	Placa sobre la viga cabezal, extremo norte del eje (K0+004)
PTA-2	Punto de control topográfico	91.471,28	97.409,99	N. A.	Línea base	Mojón en terreno natural, 4,5 m al suroccidente del eje (K0+030)
PTA-3	Punto de control topográfico	91.486,01	97.388,70	N. A.	Recibo de obra	Placa sobre la viga cabezal, extremo sur del eje (K0+056)

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.

4.3.1.5 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 112. 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.

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 112*. Hasta ese momento el control superficial del sector recae en los puntos de terreno natural.

La campaña de línea base tiene aquí un valor diagnóstico particular: el muro existente presenta grietas y un asentamiento diferencial superior a 30 cm, de modo que las tres primeras lecturas de los inclinómetros y de los puntos de control permiten establecer si el movimiento se encuentra activo antes de intervenir el sector, y con ello si la excavación de los caissons debe ejecutarse con restricciones adicionales de longitud de frente abierto.

4.3.1.6 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 113. Precisión de lectura y umbrales de alerta. Arborizadora Alta.

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**

Dispositivo y precisión	Magnitud	Verde (leve)	Naranja (moderado)	Rojo (alto)	Negro (muy alto)
± 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.

4.3.1.7 Niveles de alerta y acciones asociadas

A cada nivel 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 114. 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.

Nivel de alerta	Comportamiento observado	Acción inmediata	Acción programada
Negro (muy alto)	Movimientos críticos con tendencia acelerada, o nivel piezométrico próximo a la superficie o artesiano. Apertura de grietas nuevas en el muro existente o en las viviendas de la corona.	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.

4.3.1.8 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 de la Tabla 4, el pronunciamiento del especialista geotécnico sobre la tendencia observada y, cuando corresponda, la constancia de las acciones ejecutadas conforme a la Tabla 5. La base de datos debe mantenerse en formato abierto y entregarse actualizada con cada informe.

4.3.1.9 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 de la Tabla 4 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.

La red cuenta con dos (2) inclinómetros de 20,0 m y dos (2) piezómetros de 15,0 m, dispuestos 2,0 m al suroccidente del eje de la pantalla, de modo que registren el movimiento de la masa retenida sin interferir con la excavación de los caissons. Ambas parejas se concentran en el tercio sur del eje y en su prolongación inmediata, desde la abscisa K0+045 hasta unos 6 m más allá del extremo sur, que es el sector donde el muro existente presenta el mayor deterioro y donde interesa verificar si el movimiento continúa por fuera de la pantalla; en contrapartida, el extremo norte queda controlado únicamente por superficie, mediante PTA-1. Tampoco se contempla tubería inclinométrica embebida en el caisson, de

modo que la deflexión del elemento estructural no se mide de forma directa y debe inferirse del inclinómetro del trasdós.

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.

4.3.1.10 Anexos asociados

Tabla 115. Anexos asociados al numeral.

Código	Denominación	Contenido
E.5	Mapas	Plano de localización de la instrumentación geotécnica, escala 1:1.000

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 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 construcción de los caissons constituye la medida principal de estabilización del movimiento identificado; por lo tanto, cualquier actividad que implique excavación, descarga de la corona o modificación de la geometría del terreno deberá realizarse únicamente después de que estos elementos hayan alcanzado las condiciones de resistencia y desempeño previstas en el diseño.

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.
- No se permitirá el almacenamiento de materiales, maquinaria pesada o material producto de excavación sobre la corona del talud ni dentro de la zona de influencia del movimiento.
- 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.

4.3.2.1 Etapa 0: actividades preliminares

Esta etapa comprende las actividades necesarias para garantizar las condiciones de seguridad y control requeridas antes de iniciar las obras de estabilización.

1. Localización topográfica y replanteo de los ejes de los caissons, 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.

4.3.2.2 Etapa 1: construcción de los caissons (escenario durante construcción)

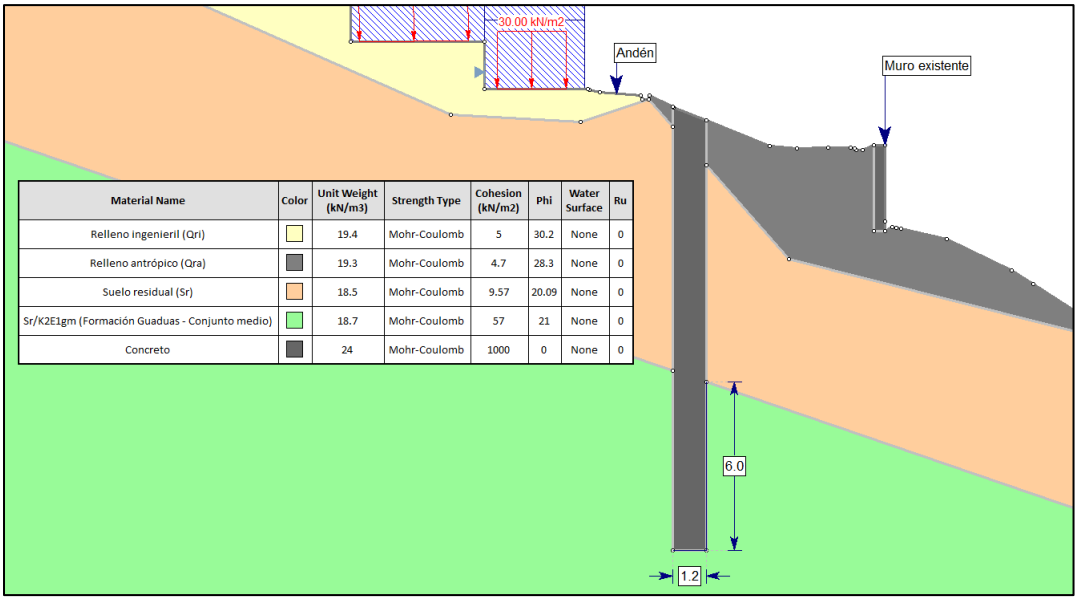
La primera actividad de estabilización corresponde a la ejecución de los caissons proyectados. Estos elementos deberán construirse antes de cualquier intervención que implique retiro de soporte o descarga significativa del talud. Los caissons tendrán un diámetro de diseño de 1,20 m y deberán empotrarse en la roca de la Formación Guaduas. La profundidad mínima de empotramiento en roca será de 3,60 m; sin embargo, el diseño contempla una penetración aproximada de 6,00 m con el fin de garantizar la movilización de la resistencia requerida y la adecuada transferencia de esfuerzos hacia el estrato competente.

Los caissons deberán ubicarse de manera que se minimice la interferencia con los anclajes o tensores asociados al muro de contención existente. No obstante, debido a la incertidumbre inherente a la localización exacta de estos elementos, durante las excavaciones podría requerirse el corte parcial o total de algunos tensores. Considerando que esta situación puede generar redistribuciones de carga, deformaciones locales o incluso pérdida súbita de estabilidad del muro existente, se deberá implementar vigilancia permanente durante el proceso constructivo, incluyendo inspección visual continua y seguimiento topográfico de posibles desplazamientos del muro y del terreno adyacente. En caso de

presentarse deformaciones anómalas, apertura de grietas o movimientos no previstos, los trabajos deberán suspenderse inmediatamente y la condición deberá ser evaluada por el especialista geotécnico. La secuencia constructiva recomendada es la siguiente:

1. Replanteo topográfico individual de cada caisson.
2. Excavación mediante procedimientos mecánicos o manuales, garantizando la estabilidad temporal de las paredes de la excavación.
3. Verificación geológica y geotécnica del material encontrado en el fondo de cada excavación para confirmar la presencia de roca competente.
4. Continuación de la excavación hasta alcanzar la profundidad establecida en los planos.
5. Limpieza del fondo y de las paredes del caisson.
6. Instalación del acero estructural.
7. Vaciado continuo del concreto estructural hasta la cota de diseño.
8. Curado y protección del concreto.
9. Verificación de la resistencia especificada antes de permitir actividades que modifiquen la geometría del talud.

El avance de excavaciones adyacentes o la demolición de estructuras existentes no deberá realizarse hasta que los caissons hayan alcanzado la resistencia mínima especificada en el diseño estructural.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
Relleno ingenieril (Qri)		19.4	Mohr-Coulomb	5	30.2	None	0
Relleno antrópico (Qra)		19.3	Mohr-Coulomb	4.7	28.3	None	0
Suelo residual (Sr)		18.5	Mohr-Coulomb	9.57	20.09	None	0
Sr/K2E1gm (Formación Guaduas - Conjunto medio)		18.7	Mohr-Coulomb	57	21	None	0
Concreto		24	Mohr-Coulomb	1000	0	None	0

Figura 139. Sección típica de la etapa inicial- sección B-B'.
Fuente: Diseño del proyecto (dimensiones en metros).

Una vez finalizada la construcción de los caissons, se deberá verificar el cumplimiento de la resistencia especificada del concreto y confirmar el adecuado comportamiento de los elementos ejecutados antes de iniciar actividades complementarias de drenaje o modificación de la geometría del terreno.

4.3.2.3 Etapa 2: instalación de los drenes subhorizontales

Una vez construidos los caissons y alcanzadas las condiciones mínimas de estabilidad requeridas para la continuidad de las obras, se procederá con la instalación del sistema de drenaje profundo previsto en el diseño geotécnico. El objetivo de esta intervención es reducir las presiones de poros dentro del macizo, interceptar flujos subterráneos y mejorar las condiciones de estabilidad del talud.

Los drenes subhorizontales se ejecutarán con una inclinación de 15° respecto a la horizontal, una longitud de 15 m y una distribución en tresbolillo con espaciamiento de 2,0 m en sentido horizontal y vertical. 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.

4.3.2.4 Etapa 3: corte y conformación del talud (escenario con obras)

Una vez construidos los caissons y comprobada su resistencia de diseño, así como la correcta operación del sistema de drenaje, se procederá con la demolición del muro existente y la conformación definitiva del

talud. La excavación deberá ejecutarse en forma controlada y por tramos, evitando la generación de sobreexcavaciones o geometrías diferentes a las analizadas.

La secuencia recomendada es:

1. Demolición controlada del muro existente.
2. Retiro total de escombros y elementos residuales.
3. Excavación gradual del terreno localizado detrás del muro.
4. Conformación progresiva del talud con pendiente final 2H:1V.
5. Verificación topográfica permanente de la geometría proyectada.
6. Retiro y disposición adecuada del material sobrante.
7. Implementación de medidas de protección superficial y control de erosión.
8. Conformación final del terreno y limpieza del área intervenida.

La ejecución del corte tiene como finalidad reducir la carga actuante en la corona del movimiento, disminuyendo las fuerzas desestabilizadoras asociadas al mecanismo de falla identificado durante los análisis.

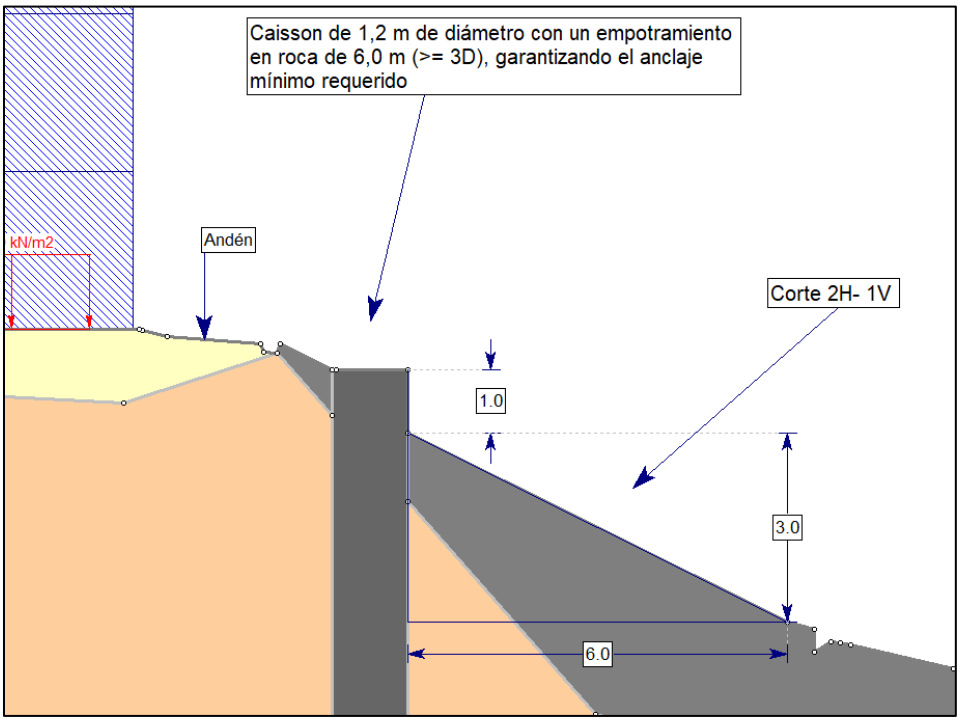


Figura 140. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A'.
Fuente: Diseño del proyecto (dimensiones en metros).

4.3.2.5 Etapa 4. Protección vegetal del talud y control de erosión

Una vez finalizada la conformación del talud con pendiente 2H:1V y verificada la estabilidad de la condición definitiva de diseño, se ejecutarán las obras de protección vegetal del talud, de conformidad con el Artículo 810 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras INVÍAS 2022. Estas actividades

tendrán como finalidad reducir la erosión superficial inducida por la escorrentía, favorecer el establecimiento de una cobertura vegetal permanente y contribuir a la sostenibilidad de la medida de estabilización implementada.

La protección vegetal comprenderá la preparación de la superficie expuesta, la colocación de una capa de suelo orgánico apto para el desarrollo de vegetación y la revegetalización mediante hidrosiembra con especies nativas o adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas de la zona. Cuando las condiciones de pendiente o susceptibilidad a la erosión lo requieran, la hidrosiembra podrá complementarse con biomantos o mantos para control de erosión.

La secuencia constructiva recomendada será la siguiente:

1. Limpieza y retiro de materiales sueltos de la superficie del talud conformado.
2. Perfilado final de la superficie para eliminar irregularidades que favorezcan la concentración de escorrentías.
3. Extensión de una capa uniforme de suelo orgánico con características adecuadas para el establecimiento vegetal.
4. Aplicación de hidrosiembra empleando una mezcla de semillas, fertilizantes, agua y agentes fijadores, según las especificaciones del proveedor y las condiciones particulares del proyecto.
5. Instalación de biomantos o mantos de control de erosión en los sectores donde se requiera protección adicional frente a la escorrentía superficial.
6. Ejecución de riegos de establecimiento y mantenimiento durante la etapa inicial de crecimiento.
7. Reposición de las áreas que presenten deficiencias de germinación o cobertura vegetal insuficiente.
8. Seguimiento y mantenimiento de la cobertura vegetal hasta alcanzar un cubrimiento uniforme y estable del talud.

Se deberán utilizar preferiblemente especies nativas o adaptadas a las condiciones locales, evitando el empleo de especies invasoras o que puedan generar afectaciones ambientales. La cobertura vegetal deberá alcanzar un porcentaje de establecimiento que garantice la protección efectiva de la superficie expuesta frente a los procesos de erosión superficial y socavación asociados a la acción de las aguas de lluvia.

Esta etapa constituye una medida complementaria a los caissons y al sistema de drenaje profundo, orientada al control de la erosión superficial y a la conservación de la condición de estabilidad del talud considerada en los análisis geotécnicos de diseño.

4.3.2.6 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.

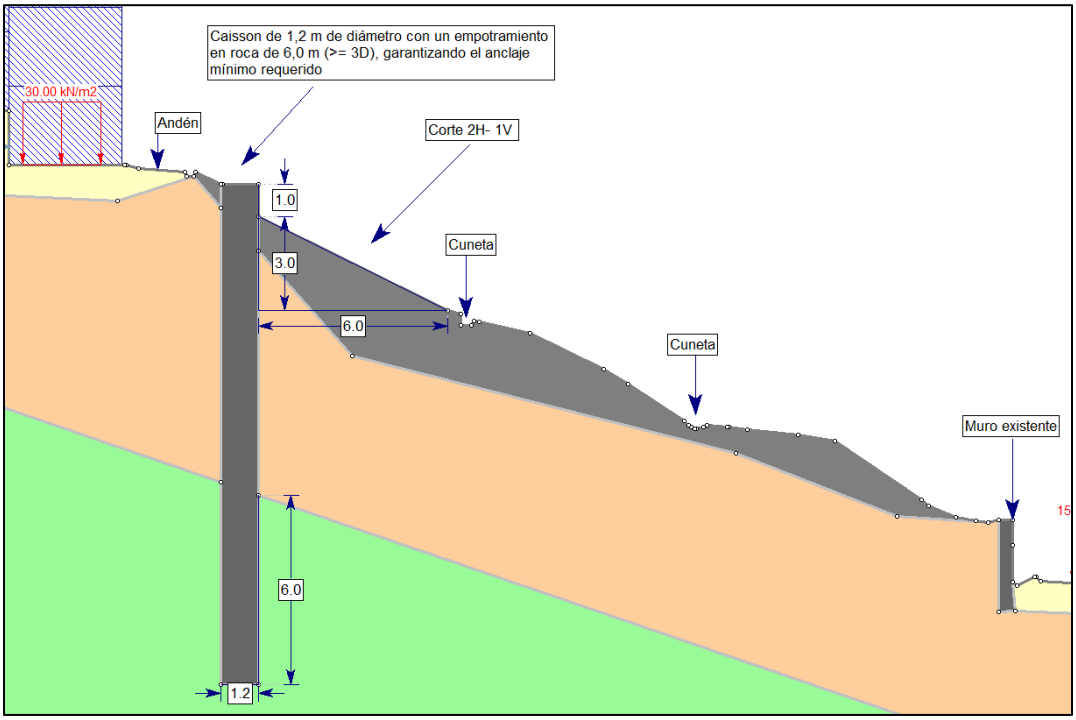


Figura 141. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A' (Obra).
Fuente: Diseño del proyecto (dimensiones en metros).

4.3.2.7 Control, tolerancias y criterios de aceptación

Tabla 116. Controles mínimos durante la construcción.

Actividad	Control	Frecuencia / criterio
Replanteo	Cotas, ejes, alineamientos y ubicación de los elementos proyectados	Antes de iniciar cada módulo; registro topográfico
Excavación de caissons	Diámetro, verticalidad, profundidad y condición de la excavación	Todos los caissons; registro individual
Empotramiento en roca	Profundidad de penetración en roca y calidad del estrato competente	Todos los caissons; verificación geológica de fondo
Acero de refuerzo	Diámetro, separación, traslapos y recubrimientos	Todos los caissons antes del vaciado

Actividad	Control	Frecuencia / criterio
Concreto de caissons	Resistencia especificada (f'c), asentamiento y calidad del vaciado	Conforme al plan de calidad y especificaciones estructurales
Corte de tensores existentes	Localización, secuencia de corte y comportamiento del muro existente	Seguimiento permanente durante la intervención
Drenes subhorizontales	Longitud, inclinación, continuidad y descarga libre	Todos los drenes instalados
Funcionamiento hidráulico	Verificación de caudales, obstrucciones y evacuación adecuada	Antes de continuar con la siguiente etapa
Conformación de talud	Geometría final de diseño (2H:1V)	Verificación topográfica continua durante la excavación
Manejo de aguas	Correcta operación de cunetas, canales provisionales y sistemas de drenaje	Inspección diaria y después de eventos de lluvia
Revegetalización e hidrosiembra	Cobertura vegetal y control de erosión	Inspección periódica hasta lograr establecimiento uniforme

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 geológica del empotramiento de los caissons en roca competente.*
- *Cumplimiento de la resistencia especificada del concreto antes de iniciar actividades de descarga del talud.*
- *Verificación del funcionamiento de los drenes subhorizontales antes de ejecutar el corte definitivo.*
- *Comprobación de la geometría final del talud 2H:1V mediante levantamiento topográfico.*
- *Implementación de las medidas de protección superficial y control de erosión antes de la terminación de la obra.*
- *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.*

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 Arborizadora Alta se ubica en la Localidad 19 - Ciudad Bolívar, en el barrio Los Laureles II, específicamente entre las Carreras 43B y 44 Bis y entre La Diagonal 68 A Sur y la Calle 68C Sur tal como se señala en la siguiente ilustración:

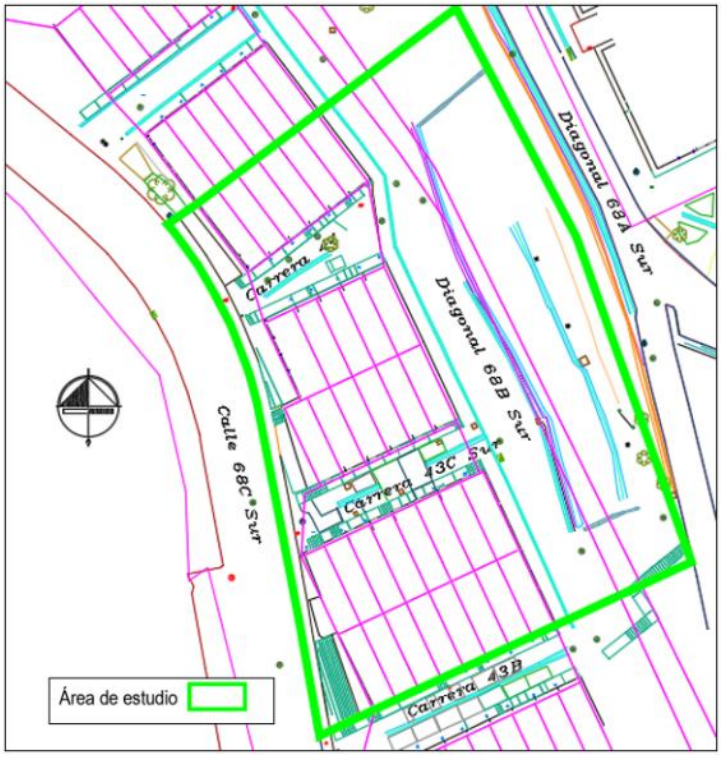


Figura 142. Localización área de estudio.

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 39 predios de los cuales 4 corresponden a vías y 2 a zonas verdes (o parque):

Tabla 117. Información Predial Catastral

ID Predio	BARMANPRE	Código CHIP	Cédula Catastral	Dirección	Destino Económico	Área Terreno Alfanumérica (M2)	Área Construida (M2)
1	002544018001	AAA0025FCDM	00253176010000000	CL 68C SUR 44 10	REDIDENCIAL	42,00	110,5

ID Predio	BARMANPRE	Código CHIP	Cédula Catastral	Dirección	Destino Económico	Área Terreno Alfanumérica (M2)	Área Construida (M2)
2	002544018012	AAA0025FCRU	00253176120000000	KR 44 68B 19 SUR	REDIDENCIAL	42,00	80
3	002544018011	AAA0025FCPP	00253176110000000	KR 44 68B 17 SUR	REDIDENCIAL	42,00	201,59
4	002544018010	AAA0025FCOE	00253176100000000	KR 44 68B 11S	REDIDENCIAL	42,00	82,66
5	002544018009	AAA0025FCNN	00253176090000000	KR 44 68B 07S	REDIDENCIAL	42,00	130,2
6	002544018008	AAA0025FCMS	00253176080000000	KR 44 68B 03 SUR	REDIDENCIAL	42,00	104,3
7	002544019002	AAA0025FBSY	00253175020000000	CL 68C SUR 43C 12	REDIDENCIAL	54,00	246,77
8	002544019003	AAA0025FBTD	00253175030000000	KR 44 68B 18 SUR	REDIDENCIAL	42,00	174,3
9	002544019004	AAA0025FBUH	00253175040000000	KR 44 68B 14 S	REDIDENCIAL	42,00	86,1
10	002544019005	AAA0025FBWW	00253175050000000	KR 44 68B 10S	REDIDENCIAL	42,00	121,1
11	002544019006	AAA0025FBXS	00253175060000000	KR 44 68B 06 SUR	REDIDENCIAL	42,00	42
12	002544019001	AAA0025FBRJ	00253175010000000	CL 68C SUR 43C 08	COMERCIO PUNTUAL	42,00	168,52
13	002544019011	AAA0025FCCX	00253175110000000	KR 43C 68B 19S	RESIDENCIAL	42,00	130,2
14	002544019010	AAA0025FCBR	00253175100000000	KR 43C 68B 17 SUR	RESIDENCIAL	42,00	86,1
15	002544019009	AAA0025FCAF	00253175090000000	KR 43C 68B 11 SUR	RESIDENCIAL	42,00	162,3
16	0025440119008	AAA0025FBZE	00253175080000000	KR 43C 68B 09S	RESIDENCIAL	42,00	88,2

ID Predio	BARMANPRE	Código CHIP	Cédula Catastral	Dirección	Destino Económico	Área Terreno Alfanumérica (M2)	Área Construida (M2)
17	002544019007	AAA0025FBYN	00253175070000000	CL 68B SUR 43C 07	RESIDENCIAL	42,00	88,2
18	002544020002	AAA0253UJPA	00254420020000000	L 68C SUR 43B 10	RESIDENCIAL	42,00	195,17
19	002544020003	AAA0025FBAW	00253174030000000	KR 43C 68B 28 SUR	RESIDENCIAL	42,00	130,2
20	002544020004	AAA0025FBBS	00253174040000000	KR 43C 68B 24 S	RESIDENCIAL	42,00	36,4
21	002544020005	AAA0025FBCN	00253174050000000	KR 43C 68B 20 SUR	RESIDENCIAL	42,00	116,2
22	002544020006	AAA0025FBDE	00253174060000000	KR 43C 68B 16 S	RESIDENCIAL	42,00	153,3
23	002544020007	AAA0025FBEP	00253174070000000	KR 43C 68B 12 S	RESIDENCIAL	42,00	153,3
24	002544020008	AAA0025FBFZ	00253174080000000	KR 43C 68B 08 S	RESIDENCIAL	42,00	42
25	002544020009	AAA0266PULF	00254420090000000	KR 43C 68B 04 SUR	RESIDENCIAL	42,00	119,01
26	002544020010	AAA0025FBJZ	00253174100000000	KR 43B 68B 03 SUR	RESIDENCIAL	42,00	149,9
27	002544020011	AAA0025FBKC	00253174110000000	KR 43B 68B 07 S	RESIDENCIAL	42,00	130,19
28	002544020012	AAA0025FBLF	00253174120000000	KR 43B 68B 11 SUR	RESIDENCIAL	42,00	61,6
29	002544020013	AAA0025FBMR	00253174130000000	KR 43B 68B 15 SUR	RESIDENCIAL	42,00	61,6
30	002544020014	AAA0025FBNX	00253174140000000	KR 43B 68B 19 S	RESIDENCIAL	42,00	132,21
31	002544020015	AAA0025FBOM	00253174150000000	KR 43B 68B 23 SUR	RESIDENCIAL	42,00	112,7

ID Predio	BARMANPRE	Código CHIP	Cédula Catastral	Dirección	Destino Económico	Área Terreno Alfanumérica (M2)	Área Construida (M2)
32	002544020016	AAA0242BANX	0025442016000000000	KR 43B 68B 27 SUR	RESIDENCIAL	42,00	119,69
33	002544020001	AAA0025FAYX	0025317401000000000	KR 43B 68B 31 SUR	RESIDENCIAL	42,00	112,52
34	002544028098	AAA0185RYJZ	002544289800000000	CL 68C SUR 38 02	VIA	14150,00	NA
35	002544017098	AAA0185RXSK	0025441798000000000	CL 68B SUR 44A 00 IN 1	VIA	3179,6	NA
36	002544019099	AAA0185RXWF	0025441999000000000	KR 44 68B 02 SUR IN 1	VIA	178	NA
37	002544020099	AAA0185RXXR	0025442099000000000	KR 43C 68B 02 SUR IN 1	VIA	201,2	NA
38	002544067098	SIN DATO	DISPERSO MATRIZ	SIN DATO	ZONA VERDE EN SITIO	SIN DATO	NA
39	002544067003	SIN DATO	DISPERSO ID 002544067002	SIN DATO	PARQUE URB CANDELARIA LA NUEVA	SIN DATO	NA

Estos predios se localizan e identifican para el presente estudio con ID como se muestra en la siguiente ilustración:



Figura 143. Identificación de predios.

Otros Datos Catastrales:

Se identifican además de los datos ya relacionados los siguientes para cada predio:

Tabla 118. Otros datos catastrales

ID Predio	Código Predial Nacional	Barrio	Tipo de titular	Avalúo Catastral 2026
1	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 77.636.000
2	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 94.604.000
3	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 119.536.000
4	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 85.648.000
5	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 123.909.000
6	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 131.106.000
7	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 294.557.000
8	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 149.764.000
9	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 75.332.000
10	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 94.122.000
11	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 62.122.000
12	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 207.984.000
13	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 96.864.000
14	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 77.563.000

ID Predio	Código Predial Nacional	Barrio	Tipo de titular	Avalúo Catastral 2026
15	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 217.499.000
16	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 84.453.000
17	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 81.096.000
18	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 98.247.000
19	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 136.734.000
20	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 75.988.000
21	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 79.274.000
22	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 87.069.000
23	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 143.941.000
24	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 71.405.000
25	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 122.352.000
26	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 109.911.000
27	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 130.894.000
28	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 78.221.000
29	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 75.732.000
30	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 133.029.000

ID Predio	Código Predial Nacional	Barrio	Tipo de titular	Avalúo Catastral 2026
31	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 101.900.000
32	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 111.112.000
33	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	PARTICULAR	$ 113.849.000
34	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	DISTRITAL	$ 3.105.218.000
35	11001012519440017009840000000	LOS LAURELES II	DISTRITAL	$ 697.763.000
36	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	DISTRITAL	$ 39.062.000
37	11001012519440000000000000000	LOS LAURELES II	DISTRITAL	$ 44.153.000
38	SIN DATO	LOS LAURELES II	PREDIO DISPERSO	SIN DATO
39	SIN DATO	LOS LAURELES II	DISTRITAL	SIN DATO

Respecto a la información catastral se puede destacar lo siguiente:

Los predios de uso público que se identifican catastralmente son 4 vías (predios 34, 35, 36 y 37) y 2 zonas verdes (predios 38 y 39) las cuales no presentan identificadores catastrales, sin embargo, el predio 39 es predio de propiedad Distrital con matrícula inmobiliaria identificada.

La mayoría de predios son predios de propiedad particular correspondientes a 3 manzanas del barrio Los Laureles II.

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:

Tabla 119 Información jurídica

ID	Matrícula inmobiliaria	Dirección FMI	Área Terreno FMI (M2)	Título de Adquisición	Propietarios	TIPO ID	No. ID	Limitaciones - Gravámenes Medidas cautelares vigentes
1	050S402789 17	KR 44 68B 23 SUR	42,00	ESC 1259 DEL 10/03/1997 NOT. 2 DE SOACHA	BARRETO GAONA JOSE GABRIEL PACHON DE BARRETO MARIA TERESA	CC	17124318 41438722	PATRIMONIO DE FAMILIA
2	050S406332 91	KR 44 68B 19 SUR	42,00	ESC, 397 DEL10/02/2012 NOT. 5ª DE BOGOTA D. C.	BAQUERO BOHORQUEZ ANDREA MARCELA	CC	52726471	PATRIMONIO DE FAMILIA
3	050S402799 45	KR 44 68B 15 SUR	42,00	ESC,.317 DEL 08/03/1997 NOT. 1 DE SOACHA	LOMBANA OBREGOZO JOSE MANUEL	CC	79256003	PATRIMONIO DE FAMILIA
4	050S402794 64	KR 44 68B 11 SUR	42,00	ESC. 8928 DEL 24/12/2024 NOT. 68 DE BOGOTA D. C.	GALINDO RIOS DORA BEATRIZ - 16.667% GALINDO RIOS LUZ NEIFY - 16.666% GALINDO RIOS FEIBER ANTONIO - 16.667% GALINDO RIOS GERMAN ANCIZAR - 16.667% GALINDO RIOS NESTOR GONZALO - 16.667% GALINDO RIOS JOSE ALBEIRO - 16.666%	CC	51801432 51921057 79276694 79305065 79410456 79595072	
5	050S402803 70	KR 44 68B 07 SUR	42,00	ESC. 1739 DEL 19/08/2010 NOT. 14 DE BOGOTA D.C Y ESC.3150 DEL 23/12/2022 NOT. 56 DE BOGOTA D. C.	SANTAMARIA PARRA LUZ ARELIZ	CC	52879415	HIPOTECA
6	050S402803 51	KR 44 68B	42,00	ESC. 1980 DEL05/09/2014 NOT. 56 DE	ARCIA VALENCIA JOSE FERNELL	CC	19462169 51902522	

ID	Matrícula inmobiliaria	Dirección FMI	Área Terreno FMI (M2)	Título de Adquisición	Propietarios	TIPO ID	No. ID	Limitaciones - Gravámenes Medidas cautelares vigentes
		03 SUR		BOGOTA D. C.	OCAMPO RAMIREZ NUBIA INES			
7	050S402934 40	CL 68C 43C 12	56,16	ESC. 5114 DEL 01/09/1997 NOT. 2 DE SOACHA	LOPEZ BUITRAGO SIERVO MORENO DE LOPEZ MARIA DEL CARMEN	CC	19399671 41792446	HIPOTECA, COND. RESOLUTORIAS EXPRESAS, PATRIMONIO DE FAMILIA
8	050S403333 17	KR 44 68B 18 SUR	42,00	ESC. 3019 DEL 03/11/2009 NOT, 1 DE SOACHA	RAVE GARCIA CARMEN EMILIA	CC	24313524	DEMANDA
9	050S403200 27	KR 44 68B 14 SUR	42,00	ESC. 2387 DEL 13/10/1998 NOT. 1 DE SOACHA	SUAREZ CARDENAS LUZ STELLA	CC	51820188	HIPOTECA, COND. RES. EXPRESAS, PATRIMONIO DE FAMILIA, AFECTACIÓN A VIVIENDA FAMILIAR
10	050S404407 06	KR 44 68B 10 SUR	42,00	ESC. 2372 DEL03/08/2004 NOT. 38 DE BOGOTA D.C.	GAMA HERNANDEZ ERNESTO	CC	19147508 (SIC)	PATRIMONIO DE FAMILIA
11	050S402803 68	KR 44 68B 06 SUR	42,00	ESC. 364 DEL 15/03/1997 NOT. 1 DE SOACHA	CUBIDES TORRES JUAN ALONSO SERRANO PEREZ LUZ STELLA	CC	19453298 51730538	HIPOTECA, PATRIMONIO DE FAMILIA, COND. RESOLUTORIAS EXPRESAS.
12	050S402917 35	KR 43C 68B 17 SUR	42,00	ESC. 6277 DEL 31/10/2014 NOT.68 DE BOGOTA D. C.	VILLARREAL BERMUDEZ MARTHA CARMENZA BERMUDEZ FLOREZ VICENTE	CC	52128915 79740346	HIPOTECA, EMBARGO
13	050S403319 13	KR 43C 68B 19 SUR	42,00	ESC. 2285 DEL 21/07/1999 NOT.2 DE SOACHA.	VARGAS MORENO ANA ISRAEL	CC	41643935	HIPOTECA, PATRIMONIO DE FAMILIA, CONDICIONES RESOLUTORIAS

ID	Matrícula inmobiliaria	Dirección FMI	Área Terreno FMI (M2)	Título de Adquisición	Propietarios	TIPO ID	No. ID	Limitaciones - Gravámenes Medidas cautelares vigentes
14	050S402823 35	KR 43C 68B 15 SUR	42,00	ESC. 1828 DEL 31/03/1997 NOT. 2 DE SOACHA	YOMAYUSA DE AGOSTA LEONOR	CC	41594509	PATRIMONIO DE FAMILIA
15	050S404043 16	KR 43C 68B 11 SUR	42,00	ESC. 13321 DEL 19/12/2006 NOT, 71 DE BOGOTA D.C.	RODRIGUEZ PEREZ TANIA NINEL RODRIGUEZ PEREZ MANUEL AUGUSTO	CC	52859260 79956323	HIPOTECA
16	050S404689 06	KR 43C 68B 09 SUR	42,00	ESC. 1588 DEL 09/05/2006 NOT. 4 DE BOGOTA	GIL PARRA LI LIA	CC	41796058	PATRIMONIO DE FAMILIA
17	050S402792 43	KR 43C 68B 32 SUR	42,00	ESC. 1283 DEL 11/03/1997 NOT. 2 DE SOACHA	AGOSTA CASTILLO FLAMINIO ALFONSO CASTILLO GOMEZ MARTHA EMMA	CC	19375094 51711872	HIPOTECA, COND. RESOLUTORIAS EXPRESAS, PATRIMONIO DE FAMILIA
18	050S407013 22	KR 43C 68B 05 SUR	42,00	ESC. 520 DEL 06/03/2017 NOT.57 DE BOGOTA D. C.	PORRAS GUERRERO MAGDA	CC	52872747	HIPOTECA
19	050S403131 72	KR 43C 68B 28 SUR	42,00	ESC. 1296 DEL 22/06/2007 NOT.16 DE BOGOTA	LIZARAZO LEAL CARLOS ALBERTO	CC	79558952	AFECTACIÓN A VIVIENDA FAMILIAR
20	050S402362 91	KR 43C 68B 24 SUR	42,00	SN 884 DEL 29/07/2021 JZ 030 CIVIL MUNICIPAL DE BOGOTA	GOMEZ OLGA LUCIA 20% PARRA GOMEZ MARIA DEL CARMEN 20% PARRA GOMEZ PAOLA 20% PARRA GOMEZ LUIS FELIPE 20% GOMEZ JOANA ELVIRA 20%	CC	52347216 52871852 52879628 1024475483	PATRIMONIO DE FAMILIA
21	050S405262 55	KR 43C 68B 20 SUR	42,00	ESC. 410 DEL 18/02/2009 NOT.28 DE BOGOTA D.C.	RUIZ FERNANDEZ CLARA INES	CC	23754528	PATRIMONIO DE FAMILIA

ID	Matrícula inmobiliaria	Dirección FMI	Área Terreno FMI (M2)	Título de Adquisición	Propietarios	TIPO ID	No. ID	Limitaciones - Gravámenes Medidas cautelares vigentes
22	050S40279094	KR 43C 68B 16 SUR	42,00	ESC. 126 DEL 20/01/2023 NOT. 61 DE BOGOTA D. C.	RUBIANO DE CUESTA DORA INES CUESTA RODRIGUEZ RAMON	CC	35335673 79253182	
23	050S40278782	KR 43C 68B 12 SUR	42,00	ESC. 2231 DEL 19/11/2014 NOT. 8 DE BOGOTA D. C.	ARELLANO TORRES RICHAR ALEXANDER	CC	79975626	HIPOTECA
24	050S40795455	KR 43C 68B 04 SUR	42,00	RES. 887 DEL 15/06/2022 CVP DE BOGOTA D. C.	HERRERA SABOGAL GLORIA ANDREA	CC	52039150	PATRIMONIO DE FAMILIA
25	050S40563491	KR 43C 68B 08 SUR	42,00	ESC. 2497 DEL 18/11/2010 NOT. 2 DE BOGOTA D.C.	PAREDES FRANCISCO CUCAITA RIVEROS LUZ MARINA	CC	19112915 28656707	PATRIMONIO DE FAMILIA
26	050S40566012	KR 43B 68B 03 SUR	42,00	ESC. 416 DEL 16/02/2014 NOT. 17 DE BOGOTA D. C.	MAGER GRANDMAISON AGNES MEJIA BARRANCO LUIS CARLOS	CC	437168 1032422768	AFECTACIÓN A VDA FAMILIAR
27	050S40284763	KR 43B 68B 07 SUR	42,00	ESC. 1441 DEL 05/0/2024 NOT.58 DE BOGOTA D. C.	RAVELO DUARTE MARIA EUGENIA	CC	52095855	
28	050S40296132	KR 43B 68B 11 SUR	42,00	ESC. 5314 DEL12/09/1997 NOT. 2 DE SOACHA	MORALES GALINDO NIDIA	CC	35336099	
29	050S40276830	KR 43B 68B 15 SUR	42,00	ESC. 4467 DEL 04/09/2008 NOT. 13 DE BOGOTA D.C.	ALEANO ALVAREZ RAUL	CC	79906581	HIPOTECA, AFECTACIÓN A VDA FAMILIAR
30	050S40284869	KR 43B 68B 19 SUR	42,00	ESC. 850 DEL 08/04/2024 NOT. 2 DE SOACHA	VILLAMIL MURCIA LISETH LORENA	CC	1024602079	

ID	Matrícula inmobiliaria	Dirección FMI	Área Terreno FMI (M2)	Título de Adquisición	Propietarios	TIPO ID	No. ID	Limitaciones - Gravámenes Medidas cautelares vigentes
31	050S402801 06	KR 43B 68B 23 SUR	42,00	ESC. 2168 DEL 20/11/2024 NOT . 56 DE BOGOTÁ D. C.	RODRIGUEZ BARBOSA JOSE LUIS	CC	1032419481	
32	050S405911 83	KR 43B 68B 27 SUR	42,00	ESC. 2733 DEL 22/08/2011 NOT. 58 DE BOGOTA D.C.	ZAPATA TORRES SANDRA MILENA REYES CLAVIJO ANGEL ALBERTO	CC	52896070 79641523	PATRIMONIO DE FAMILIA
33	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
34	050S404269 87	CL 68C SUR 38 02	14150,31	ESC- 3112 DEL 05/09/2003 NOT. 4 DE BOGOTAD.C.	DISTRITO CAPITAL DE BOGOTA			
35	050S404270 80	CL 68B SUR 44A 00 IN 1	3179,56	ESC- 3112 DEL 05/09/2003 NOT. 4 DE BOGOTAD.C.	DISTRITO CAPITAL DE BOGOTA			
36	050S404270 77	KR 44 68B 02 SUR IN 1	169,52	ESC- 3112 DEL 05/09/2003 NOT. 4 DE BOGOTAD.C.	DISTRITO CAPITAL DE BOGOTA			
37	050S404270 76	KR 43C 68B 02 SUR IN 1	201,23	ESC- 3112 DEL 05/09/2003 NOT. 4 DE BOGOTAD.C.	DISTRITO CAPITAL DE BOGOTA			
38	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO			
39	050S404115 65	SIN DATO	20875.43	ESC. No. 01860 de 19/08/1999 CESION TITULO GRATUITO	DISTRITO CAPITAL DE BOGOTA			

De la información contenida en los folios de matrícula inmobiliaria descargados de la ventanilla VUR, se puede deducir lo siguiente:

- ✓ Los predios resaltados corresponden a espacio público propiedad del Distrito Capital. El predio 38 corresponde a una franja que no tiene identificada la matrícula inmobiliaria y por lo tanto el titular, la cual se encuentra en medio de dos Desarrollos Urbanísticos (Arborizadora Alta y Los Laureles II).

- ✓ Siete de los predios no presentan limitaciones al dominio, gravámenes ni medidas cautelares.

La mayoría presentan limitaciones por afectación a vivienda familiar o constitución de Patrimonio de familia, hipotecas, condiciones resolutorias expresas o embargos, registrados y aún vigentes.

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:

Tabla 120 Información Urbanística

ID Predio	Desarrollo Urbanístico	ID en plano Urbanístico	Plano	Área (M2)	RUPI
1	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 1 - MZ 83	CB30/4-20	42,00	
2	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 1 - MZ 83	CB30/4-20	42,00	
3	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 6 - MZ 83	CB30/4-20	42,00	
4	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 6 - MZ 83	CB30/4-20	42,00	
5	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 5 - MZ 83	CB30/4-20	42,00	
6	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 5 - MZ 83	CB30/4-20	42,00	
7	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 2 - MZ 82	CB30/4-20		
8	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 3 - MZ 82	CB30/4-20	42,00	
9	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 3 - MZ 84	CB30/4-20	42,00	
10	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 4 - MZ 82	CB30/4-20	42,00	
11	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 4 - MZ 82	CB30/4-20	42,00	
12	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 1 - MZ 82	CB30/4-20	42,00	
13	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 1 - MZ 82	CB30/4-20	42,00	
14	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 6 - MZ 82	CB30/4-20	42,00	
15	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 6 - MZ 82	CB30/4-20	42,00	
16	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 5 - MZ 82	CB30/4-20	42,00	
17	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 5 - MZ 82	CB30/4-20	42,00	
18	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 2 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	

ID Predio	Desarrollo Urbanístico	ID en plano Urbanístico	Plano	Área (M2)	RUPI
19	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 2 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
20	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 3 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
21	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 3 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
22	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 4 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
23	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 4 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
24	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 5 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
25	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 5 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
26	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 6 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
27	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 6 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
28	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 7 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
29	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 7 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
30	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 8 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
31	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 8 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
32	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 1 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
33	ARBORIZADORA ALTA	LOTE 1 - MZ 81	CB30/4-20	42,00	
34	ARBORIZADORA ALTA	VIA V5- CL 68C SUR	CB30/4-20	14150,31	2854-131
35	ARBORIZADORA ALTA	VIA V8 PETONAL - VEHICULAR RESTRINGIDA - KR 68B SUR	CB30/4-20	3179,56	2854-224
36	ARBORIZADORA ALTA	VIA V9E - PEATONAL - KR 44	CB30/4-20	169,52	2854-221
37	ARBORIZADORA ALTA	VIA V9E - PEATONAL - KR 43C	CB30/4-20	201,23	2854-220
38	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO	SIN DATO
39	CANDELARIA LA NUEVA PRIMER SECTOR	ZONA VERDE Y/O COMUNAL Nº 16	B169/4-1	20036,57	2807-332

Treinta y siete (37) de los predios corresponden a la Urbanización Arborizadora Alta, uno (1) a la Urbanización Candelaria La Nueva Primer Sector, y uno (1) se encuentra en medio sin corresponder a ninguno de los 2 Desarrollos Urbanísticos (predio 38). Los planos urbanísticos correspondientes son: CB30/4-20 y B169/4-1. (Ver planos anexos)

Cinco (5) de los predios de cesión vial y parque cuentan con RUPI y título a nombre del Distrito Capital.

En el SIGDEP, el área de estudio se evidencia así:



Figura 144. Información Zonas de Cesión - SIGDEP.



Figura 145. Área de Estudio en Plano Urbanístico CB30/4-20.

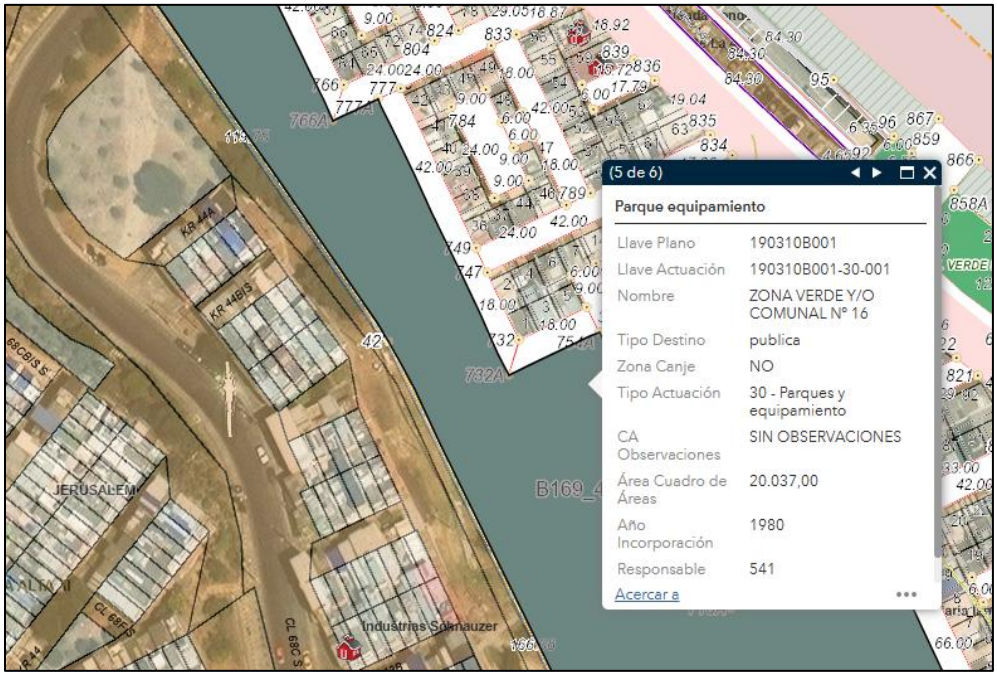


Figura 146. Área de Estudio en Plano Urbanístico B169/4-1 - SINUPOT.

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

5.2.6.1 Estudio de Mercado

Se efectúa estudio de mercado para determinar el valor probable de terreno en el área de estudio, encontrando una muestra de 6 ofertas en el entorno cercano que permiten tener una aproximación. 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 3% y el 10% dado que los precios son negociables.

Para determinar el valor de las construcciones de los predios en oferta, se estiman 3 tipos de construcción con valores a nuevo entre $1.200.000 y $1.800.000 y valores depreciados entre $700.000 y $ 1.400.000, para una edad promedio de 25 años y un estado de conservación bueno (Clase 2, según tabla de Fitto y Corvini[2]).

Tabla 121 Valor Construcción TIPO 1 Ofertas.

[2] *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*.

VALOR DE REPOSICIÓN M2		CASA		
AREA CONSTRUIDA				**126,00**
COSTOS DIRECTOS		$ 957.000,00		120,75
COSTOS INDIRECTOS		$ 143.000,00		
COSTOS TOTALES (CT)		$ 1.100.000,00		100%
COSTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS		$ -		0%
GRAN TOTAL DE COSTOS		$ 1.100.000,00		
TOTAL REPOSICIÓN (AREA CONSTRUIDA)		$ 138.600.000,00		
UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ -		
VALOR TOTAL - OBRA NUEVA		$ 138.600.000	$	1.100.000
Depreciación por edad y conservación (tabla de fitto y corvini)				
VIDA ÚTIL O TECNICA	EDAD AÑOS	80		
EDAD APROXIMADA	EDAD AÑOS	25		
VIDA REMANENTE	EDAD AÑOS	55		
PORCENTAJE DE EDAD A DEPRECIAR		31%		
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Rango de 1 a	2		
DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 31.207.843,01		22,52%
Determinación valor actual de la Construcción		$ 31.207.843,01		
TOTAL REPOSICIÓN		$ 138.600.000,00		
MENOS DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 31.207.843,01		
SUBTOTAL		$ 107.392.156,99		
MAS UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ 0		
VALOR APROX. DE LA CONSTRUCCIÓN		$ 107.392.156,99	$	852.318,71
VALOR 1º PISO	100%	$ 107.392.156,99	$	852.318,71
VALOR PISOS RESTANTES		$ -		$ 0
TOTAL DE CONSTRUCCIÓN		$ 108.000.000,00		
COEFICIENTE DE MERCADO		0,85		
VALOR POR M²		**$ 728.571,43**		
VALOR ADOPTADO POR M²		**$ 700.000,00**		



Tabla 122. Valor de Construcción TIPO 2 Ofertas.

VALOR DE REPOSICIÓN M2		CASA		
AREA CONSTRUIDA				**126,00**
COSTOS DIRECTOS		$ 1.218.000,00		120,75
COSTOS INDIRECTOS		$ 182.000,00		
COSTOS TOTALES (CT)		$ 1.400.000,00		100%
COSTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS		$ -		0%
GRAN TOTAL DE COSTOS		$ 1.400.000,00		
TOTAL REPOSICIÓN (AREA CONSTRUIDA)		$ 176.400.000,00		
UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ -		
VALOR TOTAL - OBRA NUEVA		$ 176.400.000	$	1.400.000
Depreciación por edad y conservación (tabla de fitto y corvini)				
VIDA ÚTIL O TECNICA	EDAD AÑOS	100		
EDAD APROXIMADA	EDAD AÑOS	25		
VIDA REMANENTE	EDAD AÑOS	75		
PORCENTAJE DE EDAD A DEPRECIAR		25%		
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Rango de 1 a	2		
DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 31.321.054,80		17,76%
Determinación valor actual de la Construcción		$ 31.321.054,80		
TOTAL REPOSICIÓN		$ 176.400.000,00		
MENOS DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 31.321.054,80		
SUBTOTAL		$ 145.078.945,20		
MAS UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ 0		
VALOR APROX. DE LA CONSTRUCCIÓN		$ 145.078.945,20	$	1.151.420,20
VALOR 1º PISO	100%	$ 145.078.945,20	$	1.151.420,20
VALOR PISOS RESTANTES		$ -		$ 0
TOTAL DE CONSTRUCCIÓN		$ 146.000.000,00		
COEFICIENTE DE MERCADO		0,90		
VALOR POR M²		**$ 1.042.857,14**		
VALOR ADOPTADO POR M²		**$ 1.000.000,00**		



Tabla 123. Valor de Construcción Tipo 3 Ofertas

VALOR DE REPOSICIÓN M2		CASA	
AREA CONSTRUIDA			**190,00**
COSTOS DIRECTOS		$ 1.566.000,00	120,75
COSTOS INDIRECTOS		$ 234.000,00	
COSTOS TOTALES (CT)		$ 1.800.000,00	100%
COSTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS		$ -	0%
GRAN TOTAL DE COSTOS		$ 1.800.000,00	
TOTAL REPOSICIÓN (AREA CONSTRUIDA)		$ 342.000.000,00	
UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ -	
VALOR TOTAL - OBRA NUEVA		$ 342.000.000	$ 1.800.000
Depreciación por edad y conservación (tabla de fitto y corvini)			
VIDA ÚTIL O TECNICA	EDAD AÑOS	100	
EDAD APROXIMADA	EDAD AÑOS	25	
VIDA REMANENTE	EDAD AÑOS	75	
PORCENTAJE DE EDAD A DEPRECIAR		25%	
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Rango de 1 a	2	
DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 60.724.494,00	17,76%
Determinación valor actual de la Construcción		$ 60.724.494,00	
TOTAL REPOSICIÓN		$ 342.000.000,00	
MENOS DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 60.724.494,00	
SUBTOTAL		$ 281.275.506,00	
MAS UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ 0	
VALOR APROX. DE LA CONSTRUCCIÓN		$ 281.275.506,00	$ 1.480.397,40
VALOR 1º PISO	100%	$ 281.275.506,00	$ 1.480.397,40
VALOR PISOS RESTANTES		$ -	$ 0
TOTAL DE CONSTRUCCIÓN		$ 282.000.000,00	
COEFICIENTE DE MERCADO		0,95	
VALOR POR M²		**$ 1.410.000,00**	
VALOR ADOPTADO POR M²		**$ 1.400.000,00**	



Nota: Ver descripción de ofertas con fuente en los anexos.

En la siguiente tabla se relacionan los datos de las ofertas y se calcula el valor de terreno/m2:

Tabla 124. Valores de terreno en Área de Estudio

No	UBICACIÓN	AREA CONST. (M2)	ÁREA LOTE (M2)	VR VENTA	FACTOR OFERTA	VR VENTA DEPURADO	VR CONST/M2	VR CONST	% VR, CONT/ VR.VEN	VR TERRENO	VR/ M2
1	ARBORIZADORA ALTA	126,00	36,00	$ 150.000.000	0,95	$ 142.500.000	$ 700.000	$ 88.200.000	62%	$ 54.300.000	$ 1.508.333
2	ARBORIZADORA ALTA	129,00	42,00	$ 155.000.000	0,97	$ 150.350.000	$ 700.000	$ 90.300.000	60%	$ 60.050.000	$ 1.429.762
3	ARBORIZADORA ALTA	108,00	36,00	$ 185.000.000	0,90	$ 166.500.000	$ 1.000.000	$ 108.000.000	65%	$ 58.500.000	$ 1.625.000
4	JERUSALEN	300,00	84,00	$ 390.000.000	0,95	$ 370.500.000	$ 800.000	$ 240.000.000	65%	$ 130.500.000	$ 1.553.571
5	ARBORIZADORA ALTA	190,00	72,00	$ 450.000.000	0,90	$ 405.000.000	$ 1.400.000	$ 266.000.000	66%	$ 139.000.000	$ 1.930.556
6	BARRIO ARGELIA	264,00	150,00	$ 650.000.000	0,90	$ 585.000.000	$ 1.200.000	$ 316.800.000	54%	$ 268.200.000	$ 1.788.000

MUESTRAS	4
PROMEDIO ARITMETICO	$ 1.529.167
DESVIACION ESTANDAR	$ 81.843
COEF. DE VARIACION (%)	5,35
VALOR/ M2	$ 1.529.167
LIMITE SUPERIOR	$ 1.611.010
LIMITE INFERIOR	$ 1.447.323
VALOR ADOPTADO/M2	**$ 1.600.000**

MUESTRAS	2
PROMEDIO ARITMETICO	$ 1.859.278
DESVIACION ESTANDAR	$ 100.802
COEF. DE VARIACION (%)	5,42
VALOR/ M2	$ 1.859.278
LIMITE SUPERIOR	$ 1.960.080
LIMITE INFERIOR	$ 1.758.476
VALOR ADOPTADO/M2	**$ 1.900.000**

Por lo anterior, se determinan dos valores de terreno en el área de estudio. Para las casas esquineras con mayor frente y mejores condiciones constructivas, de iluminación y ventilación, un valor de terreno de

$1.900.000/m2 y para las casas medianeras un valor de $1.600.000/ m2. Estos valores corresponden al valor de la mediana en la manzana establecido por la UAECD:



Figura 147. Valor de referencia de terreno/m2 2026- UAECD.

5.2.6.2 Valor de Terreno y Construcción:

Determinación del Valor de terreno:

Como ya se indicó, en la zona los valores probables de terreno son, para las casas esquineras de $1.900.000/m2 y para las medianeras $1.600.000/m2.

No se determinan costos para los inmuebles que están señalados como zonas de cesión y de uso público (vías y zonas verdes), que son propiedad del Distrito Capital. Del predio 38, que es una franja entre dos desarrollos Urbanísticos, no fue posible establecer titularidad por lo cual se considera un remanente de un predio de mayor extensión de uso público.

Valor de las construcciones:

Para determinar el valor de las construcciones se consideran las siguientes tipologías encontradas en el área de estudio:

TIPO 1: Edificaciones entre 3 y 4 pisos esquineras, de uso residencial algunas con local comercial en primer piso, con estructura en columnas y vigas en concreto, placas de entrepiso en concreto y acabados sencillos. Valor de reposición a nuevo: $ 1.800.000/m2. Valor depreciado: $ 1.350.000

TIPO 2: Edificación de 1 a 4 pisos de uso residencial, con estructura en mampostería estructural y/o columnas aisladas en concreto, placas de entrepiso en concreto, cubierta en teja ondulada y acabados sencillos. Valor de reposición a nuevo: $ 1.200.000/m2. Valor depreciado: $ 800.000

TIPO 3: Vivienda de un piso con estructura en columnas y vigas en concreto, con cubierta en placa aligerada y acabados sencillos. Valor de reposición a nuevo: $ 1.400.000/m2. Valor depreciado: $1.000.000



Figura 148. Tipos de construcción en área de estudio.

Cálculo de valor depreciado:

Se considera una edad promedio de 25 años, un estado de conservación Clase 2, que según la Resolución 620 del IGAC- Tabla de Fitto y Corvini, se da cuando el inmueble está bien conservado, pero necesita reparaciones de poca importancia en sus acabados especialmente en lo que se refiere al enlucimiento-

Tabla 125. Cálculo Valor de Construcción TIPO 1

VALOR DE REPOSICIÓN M2		CONTRUCCIÓN TIPO 1	
AREA CONSTRUIDA			**150,00**
COSTOS DIRECTOS		$ 1.566.000,00	120,75
COSTOS INDIRECTOS		$ 234.000,00	
COSTOS TOTALES (CT)		$ 1.800.000,00	100%
COSTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS		$ -	0%
GRAN TOTAL DE COSTOS		$ 1.800.000,00	
TOTAL REPOSICIÓN (AREA CONSTRUIDA)		$ 270.000.000,00	
UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ -	
VALOR TOTAL - OBRA NUEVA		$ 270.000.000	$ 1.800.000
Depreciación por edad y conservación (tabla de fitto y corvini)			
VIDA ÚTIL O TECNICA	EDAD AÑOS	100	
EDAD APROXIMADA	EDAD AÑOS	25	
VIDA REMANENTE	EDAD AÑOS	75	
PORCENTAJE DE EDAD A DEPRECIAR		25%	
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Rango de 1 a	2	
DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 47.940.390,00	17,76%
Determinación valor actual de la Construcción		$ 47.940.390,00	
TOTAL REPOSICIÓN		$ 270.000.000,00	
MENOS DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 47.940.390,00	
SUBTOTAL		$ 222.059.610,00	
MAS UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ 0	
VALOR APROX. DE LA CONSTRUCCIÓN		$ 222.059.610,00	$ 1.480.397,40
VALOR 1° PISO	100%	$ 222.059.610,00	$ 1.480.397,40
VALOR PISOS RESTANTES		$ -	$ 0
TOTAL DE CONSTRUCCIÓN		$ 223.000.000,00	
COEFICIENTE DE MERCADO		0,90	
VALOR POR M²		**$ 1.338.000,00**	
VALOR ADOPTADO POR M²		**$ 1.300.000,00**	

Tabla 126. Cálculo del Valor de Construcción TIPO 2

VALOR DE REPOSICIÓN M2		CONTRUCCIÓN TIPO 2	
AREA CONSTRUIDA			**100,00**
COSTOS DIRECTOS		$ 1.131.000,00	120,75
COSTOS INDIRECTOS		$ 169.000,00	
COSTOS TOTALES (CT)		$ 1.300.000,00	100%
COSTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS		$ -	0%
GRAN TOTAL DE COSTOS		$ 1.300.000,00	
TOTAL REPOSICIÓN (AREA CONSTRUIDA)		$ 130.000.000,00	
UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ -	
VALOR TOTAL - OBRA NUEVA		$ 130.000.000	$ 1.300.000
Depreciación por edad y conservación (tabla de fitto y corvini)			
VIDA ÚTIL O TECNICA	EDAD AÑOS	80	
EDAD APROXIMADA	EDAD AÑOS	25	
VIDA REMANENTE	EDAD AÑOS	55	
PORCENTAJE DE EDAD A DEPRECIAR		31%	
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Rango de 1 a	2	
DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 29.271.425,63	22,52%
Determinación valor actual de la Construcción		$ 29.271.425,63	
TOTAL REPOSICIÓN		$ 130.000.000,00	
MENOS DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 29.271.425,63	
SUBTOTAL		$ 100.728.574,38	
MAS UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ 0	
VALOR APROX. DE LA CONSTRUCCIÓN		$ 100.728.574,38	$ 1.007.285,74
VALOR 1° PISO	100%	$ 100.728.574,38	$ 1.007.285,74
VALOR PISOS RESTANTES		$ -	$ 0
TOTAL DE CONSTRUCCIÓN		$ 101.000.000,00	
COEFICIENTE DE MERCADO		0,90	
VALOR POR M²		**$ 909.000,00**	
VALOR ADOPTADO POR M²		**$ 900.000,00**	

Tabla 127. Cálculo del Valor de Construcción TIPO 3.

VALOR DE REPOSICIÓN M2		CONSTRUCCIÓN TIPO 3	
AREA CONSTRUIDA			**42,00**
COSTOS DIRECTOS		$ 1.218.000,00	120,75
COSTOS INDIRECTOS		$ 182.000,00	
COSTOS TOTALES (CT)		$ 1.400.000,00	100%
COSTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS		$ -	0%
GRAN TOTAL DE COSTOS		$ 1.400.000,00	
TOTAL REPOSICIÓN (AREA CONSTRUIDA)		$ 58.800.000,00	
UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ -	
VALOR TOTAL - OBRA NUEVA		$ 58.800.000	$ 1.400.000
Depreciación por edad y conservación (tabla de fitto y corvini)			
VIDA ÚTIL O TECNICA	EDAD AÑOS	100	
EDAD APROXIMADA	EDAD AÑOS	25	
VIDA REMANENTE	EDAD AÑOS	75	
PORCENTAJE DE EDAD A DEPRECIAR		25%	
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Rango de 1 a	2	
DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 10.440.351,60	17,76%
Determinación valor actual de la Construcción		$ 10.440.351,60	
TOTAL REPOSICIÓN		$ 58.800.000,00	
MENOS DEPRECIACIÓN ACUMULADA		$ 10.440.351,60	
SUBTOTAL		$ 48.359.648,40	
MAS UTILIDAD DEL CONSTRUCTOR		$ 0	
VALOR APROX. DE LA CONSTRUCCIÓN		$ 48.359.648,40	$ 1.151.420,20
VALOR 1° PISO	100%	$ 48.359.648,40	$ 1.151.420,20
VALOR PISOS RESTANTES		$ -	$ 0
TOTAL DE CONSTRUCCIÓN		$ 49.000.000,00	
COEFICIENTE DE MERCADO		0,90	
VALOR POR M²		**$ 1.050.000,00**	
VALOR ADOPTADO POR M²		**$ 1.000.000,00**	

De esta manera los valores de terreno y construcción por predio se determinan en:

Tabla 128 Cálculo de Costos de Terreno y Construcción

PREDIO	AREA TERRENO (m2)	AREA CONST. (M2)	VR. TERRENO /M2	VR CONST. /M2	VALOR TERRENO	VALOR CONST.	VR TOTAL
1	42,00	110,50	$ 1.900.000	$ 1.300.000	$ 79.800.000	$ 143.650.000	$ 223.450.000
2	42,00	80,10	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 72.090.000	$ 139.290.000
3	42,00	201,59	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 181.431.000	$ 248.631.000
4	42,00	82,66	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 74.394.000	$ 141.594.000
5	42,00	130,20	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 117.180.000	$ 184.380.000
6	42,00	104,30	$ 1.900.000	$ 1.300.000	$ 79.800.000	$ 135.590.000	$ 215.390.000
7	42,00	246,77	$ 1.900.000	$ 1.300.000	$ 79.800.000	$ 320.801.000	$ 400.601.000
8	42,00	174,30	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 156.870.000	$ 224.070.000
9	56,16	86,10	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 89.856.000	$ 77.490.000	$ 167.346.000
10	42,00	121,10	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 108.990.000	$ 176.190.000
11	42,00	42,00	$ 1.900.000	$ 1.000.000	$ 79.800.000	$ 42.000.000	$ 121.800.000
12	42,00	168,52	$ 1.900.000	$ 1.300.000	$ 79.800.000	$ 219.076.000	$ 298.876.000
13	42,00	130,20	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 117.180.000	$ 184.380.000
14	42,00	86,10	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 77.490.000	$ 144.690.000
15	42,00	162,30	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 146.070.000	$ 213.270.000
16	42,00	88,20	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 79.380.000	$ 146.580.000
17	42,00	88,20	$ 1.900.000	$ 1.300.000	$ 79.800.000	$ 114.660.000	$ 194.460.000
18	42,00	195,17	$ 1.900.000	$ 1.300.000	$ 79.800.000	$ 253.721.000	$ 333.521.000
19	42,00	130,20	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 117.180.000	$ 184.380.000
20	42,00	36,40	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 32.760.000	$ 99.960.000
21	42,00	116,20	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 104.580.000	$ 171.780.000
22	42,00	153,30	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 137.970.000	$ 205.170.000
23	42,00	153,30	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 137.970.000	$ 205.170.000
24	42,00	42,00	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 37.800.000	$ 105.000.000
25	42,00	119,01	$ 1.900.000	$ 1.300.000	$ 79.800.000	$ 154.713.000	$ 234.513.000
26	42,00	149,90	$ 1.900.000	$ 1.300.000	$ 79.800.000	$ 194.870.000	$ 274.670.000
27	42,00	130,19	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 117.171.000	$ 184.371.000
28	42,00	61,60	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 55.440.000	$ 122.640.000
29	42,00	61,60	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 55.440.000	$ 122.640.000
30	42,00	132,21	$ 1.600.000	$ 800.000	$ 67.200.000	$ 105.768.000	$ 172.968.000
31	42,00	112,70	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 101.430.000	$ 168.630.000
32	42,00	119,69	$ 1.600.000	$ 900.000	$ 67.200.000	$ 107.721.000	$ 174.921.000
33	42,00	112,52	$ 1.900.000	$ 1.300.000	$ 79.800.000	$ 146.276.000	$ 226.076.000
TOTALES					**$ 2.366.256.000**	**$ 4.045.152.000**	**$ 6.411.408.000**

5.2.6.3 Cálculo del Daño Emergente:

Se estiman los posibles gastos notariales y de registro en eventuales procesos de adquisición de la siguiente manera:

Tabla 129. Cálculo del daño emergente (costos notariales y de registro)

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 %)	
1	$ 223.450.000	$ 1.435.889,70	$ 2.234.500,00	$ 1.497.115,00	$ 5.167.504,70
2	$ 139.290.000	$ 895.077,54	$ 1.392.900,00	$ 933.243,00	$ 3.221.220,54
3	$ 248.631.000	$ 1.597.702,81	$ 2.486.310,00	$ 1.665.827,70	$ 5.749.840,51
4	$ 141.594.000	$ 909.883,04	$ 1.415.940,00	$ 948.679,80	$ 3.274.502,84
5	$ 184.380.000	$ 1.184.825,88	$ 1.843.800,00	$ 1.235.346,00	$ 4.263.971,88
6	$ 215.390.000	$ 1.384.096,14	$ 2.153.900,00	$ 1.443.113,00	$ 4.981.109,14
7	$ 400.601.000	$ 2.574.262,03	$ 4.006.010,00	$ 2.684.026,70	$ 9.264.298,73
8	$ 224.070.000	$ 1.439.873,82	$ 2.240.700,00	$ 1.501.269,00	$ 5.181.842,82
9	$ 167.346.000	$ 1.075.365,40	$ 1.673.460,00	$ 1.121.218,20	$ 3.870.043,60
10	$ 176.190.000	$ 1.132.196,94	$ 1.761.900,00	$ 1.180.473,00	$ 4.074.569,94
11	$ 121.800.000	$ 782.686,80	$ 1.218.000,00	$ 816.060,00	$ 2.816.746,80
12	$ 298.876.000	$ 1.920.577,18	$ 2.988.760,00	$ 2.002.469,20	$ 6.911.806,38
13	$ 184.380.000	$ 1.184.825,88	$ 1.843.800,00	$ 1.235.346,00	$ 4.263.971,88
14	$ 144.690.000	$ 929.777,94	$ 1.446.900,00	$ 969.423,00	$ 3.346.100,94
15	$ 213.270.000	$ 1.370.473,02	$ 2.132.700,00	$ 1.428.909,00	$ 4.932.082,02
16	$ 146.580.000	$ 941.923,08	$ 1.465.800,00	$ 982.086,00	$ 3.389.809,08
17	$ 194.460.000	$ 1.249.599,96	$ 1.944.600,00	$ 1.302.882,00	$ 4.497.081,96
18	$ 333.521.000	$ 2.143.205,95	$ 3.335.210,00	$ 2.234.590,70	$ 7.713.006,65
19	$ 184.380.000	$ 1.184.825,88	$ 1.843.800,00	$ 1.235.346,00	$ 4.263.971,88
20	$ 99.960.000	$ 642.342,96	$ 999.600,00	$ 669.732,00	$ 2.311.674,96
21	$ 171.780.000	$ 1.103.858,28	$ 1.717.800,00	$ 1.150.926,00	$ 3.972.584,28
22	$ 205.170.000	$ 1.318.422,42	$ 2.051.700,00	$ 1.374.639,00	$ 4.744.761,42
23	$ 205.170.000	$ 1.318.422,42	$ 2.051.700,00	$ 1.374.639,00	$ 4.744.761,42
24	$ 105.000.000	$ 674.730,00	$ 1.050.000,00	$ 703.500,00	$ 2.428.230,00
25	$ 234.513.000	$ 1.506.980,54	$ 2.345.130,00	$ 1.571.237,10	$ 5.423.347,64
26	$ 274.670.000	$ 1.765.029,42	$ 2.746.700,00	$ 1.840.289,00	$ 6.352.018,42
27	$ 184.371.000	$ 1.184.768,05	$ 1.843.710,00	$ 1.235.285,70	$ 4.263.763,75
28	$ 122.640.000	$ 788.084,64	$ 1.226.400,00	$ 821.688,00	$ 2.836.172,64
29	$ 122.640.000	$ 788.084,64	$ 1.226.400,00	$ 821.688,00	$ 2.836.172,64
30	$ 172.968.000	$ 1.111.492,37	$ 1.729.680,00	$ 1.158.885,60	$ 4.000.057,97
31	$ 168.630.000	$ 1.083.616,38	$ 1.686.300,00	$ 1.129.821,00	$ 3.899.737,38
32	$ 174.921.000	$ 1.124.042,35	$ 1.749.210,00	$ 1.171.970,70	$ 4.045.223,05
33	$ 226.076.000	$ 1.452.764,38	$ 2.260.760,00	$ 1.514.709,20	$ 5.228.233,58
TOTAL	**$ 6.411.408.000**	**$ 41.199.707,81**	**$ 64.114.080,00**	**$ 42.956.433,60**	**$ 148.270.221,41**

5.2.6.4 Costos Totales

De acuerdo a los análisis realizados, los costos totales de adquisición predial, sin incluir costos por lucro cesante son:

Tabla 130. Cálculo de Costos Totales

PREDIO	VALOR TOTAL TERRENO Y CONST	DAÑO EMERGENTE (Gastos notariales y de registro)	COSTO TOTAL
1	$ 223.450.000	$ 5.167.505	$ 228.617.505
2	$ 139.290.000	$ 3.221.221	$ 142.511.221
3	$ 248.631.000	$ 5.749.841	$ 254.380.841
4	$ 141.594.000	$ 3.274.503	$ 144.868.503
5	$ 184.380.000	$ 4.263.972	$ 188.643.972
6	$ 215.390.000	$ 4.981.109	$ 220.371.109
7	$ 400.601.000	$ 9.264.299	$ 409.865.299
8	$ 224.070.000	$ 5.181.843	$ 229.251.843
9	$ 167.346.000	$ 3.870.044	$ 171.216.044
10	$ 176.190.000	$ 4.074.570	$ 180.264.570
11	$ 121.800.000	$ 2.816.747	$ 124.616.747
12	$ 298.876.000	$ 6.911.806	$ 305.787.806
13	$ 184.380.000	$ 4.263.972	$ 188.643.972
14	$ 144.690.000	$ 3.346.101	$ 148.036.101
15	$ 213.270.000	$ 4.932.082	$ 218.202.082
16	$ 146.580.000	$ 3.389.809	$ 149.969.809
17	$ 194.460.000	$ 4.497.082	$ 198.957.082
18	$ 333.521.000	$ 7.713.007	$ 341.234.007
19	$ 184.380.000	$ 4.263.972	$ 188.643.972
20	$ 99.960.000	$ 2.311.675	$ 102.271.675
21	$ 171.780.000	$ 3.972.584	$ 175.752.584
22	$ 205.170.000	$ 4.744.761	$ 209.914.761
23	$ 205.170.000	$ 4.744.761	$ 209.914.761
24	$ 105.000.000	$ 2.428.230	$ 107.428.230
25	$ 234.513.000	$ 5.423.348	$ 239.936.348
26	$ 274.670.000	$ 6.352.018	$ 281.022.018
27	$ 184.371.000	$ 4.263.764	$ 188.634.764
28	$ 122.640.000	$ 2.836.173	$ 125.476.173
29	$ 122.640.000	$ 2.836.173	$ 125.476.173
30	$ 172.968.000	$ 4.000.058	$ 176.968.058
31	$ 168.630.000	$ 3.899.737	$ 172.529.737
32	$ 174.921.000	$ 4.045.223	$ 178.966.223
33	$ 226.076.000	$ 5.228.234	$ 231.304.234
TOTAL	**$ 6.411.408.000**	**$ 148.270.221**	**$ 6.559.678.221**

6 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

El presente informe desarrolla el análisis beneficio-costo del proyecto de obras de mitigación del riesgo por movimientos en masa localizado en el sector crítico de Arborizadora, Localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. El sector se encuentra categorizado en riesgo alto por movimientos en masa, conforme a los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo disponibles.

El objetivo del análisis es determinar la conveniencia económica de ejecutar las obras de mitigación propuestas (Alternativa 1 seleccionada), comparando la inversión requerida (gestión predial + construcción) frente a las pérdidas económicas esperadas que se evitarían en caso de materializarse los fenómenos de inestabilidad del talud, de acuerdo con los escenarios de amenaza identificados.

Actualmente, el talud presenta inestabilidad que compromete de manera directa la integridad de viviendas ubicadas en la corona y zonas aledañas, así como la infraestructura de espacio público. Ante este escenario, se hace imperativa la ejecución de obras de estabilización y control de drenajes para salvaguardar la vida humana y el patrimonio del sector.

6.1.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

La intervención plantea una solución integral de estabilización mediante una pantalla o cortina de caissons de concreto reforzado, detalladas a continuación:

- **Estructura de Contención:** Construcción de una cortina de caissons de concreto reforzado de aproximadamente 1,20 m de diámetro, separados 3,00 m entre ejes. Profundidad variable: hasta 15,50 m en zona central y 7,00–8,00 m hacia los extremos.

- **Proceso constructivo:** Excavación manual por tramos (1,00–1,50 m), encamisado progresivo con anillos de concreto, armadura principal y vaciado continuo (método tremie si aplica).

- **Viga cabezal**: Elemento de concreto reforzado que rigidiza el conjunto de caissons, mejora la respuesta estructural y sirve de apoyo para cunetas de manejo de escorrentía superficial.

- **Gestión de Suelos y Predios:** Se requiere gestión predial de predios expuestos. La solución controla el movimiento global hasta la línea 5 de edificaciones.

- **Manejo de Aguas:** La obra incluye drenajes de escorrentía mediante estructuras asociadas a la viga cabezal y disipación de energía, mejorando las condiciones de seguridad del área.

6.1.2 ESTRUCTURA DE COSTOS DEL PROYECTO (INVERSIÓN)

El costo total estimado para la materialización del proyecto asciende a aproximadamente $2.110 millones de pesos colombianos:

Tabla 131 Inversión para la Gestion del Riesgo

Componente de Inversión	Descripción	Valor Estimado (COP)
Ejecución de Obra	Pantalla de caissons, viga cabezal, drenajes y obras complementarias (Alt. 1).	$ 2.110.000.000
Costo Total del Proyecto	**Inversión requerida para la mitigación**	**$2.110. 000.000**

6.1.3 ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS (PÉRDIDAS ECONÓMICAS EVITADAS)

El beneficio económico del proyecto se calcula a partir del modelo de daños evitados. De materializarse el movimiento en masa conforme los análisis de amenaza, se calculan las siguientes pérdidas económicas esperadas:

Tabla 132 Pérdidas económicas esperadas de llegarse a materializar el evento extremo.

Categoría de Pérdida	Detalle de la Afectación	Valor Estimado (COP)
Infraestructura	Colapso de viviendas, vías y redes de servicios públicos (cercanos a $7.000 millones).	$ 7.000.000.000
Enseres y Bienes	Pérdida de patrimonio mueble de las familias afectadas.	$ 700.000.000
Pérdidas Intangibles	Ruptura de actividades sociales, lucro cesante y afectación comunitaria.	$ 800.000.000
Atención de Emergencia	Operativos de rescate, albergues temporales y obras de recuperación post-desastre (no de mitigación).	$ 2.000.000.000
Total Pérdidas Esperadas	**Beneficio total por evitar el siniestro**	**$ 10.500.000.000**

Estas cifras representan el valor total de las pérdidas que se evitarían al implementar el proyecto de mitigación, bajo el supuesto de materialización del escenario de amenaza en el horizonte de análisis. Ver el Anexo de Matriz de Evaluación de la Vulnerabilidad y Riesgo.

6.1.4 ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO (RELACIÓN B/C)

6.1.4.1 Metodología

El análisis se realiza mediante el indicador de la Relación Beneficio/Costo (B/C), definida como el cociente entre los beneficios económicos del proyecto (pérdidas evitadas) y los costos de inversión necesarios para su implementación:

B/C = Beneficios (pérdidas evitadas) / Costos de inversión

Un valor de B/C superior a 1,0 indica que los beneficios superan a los costos, por lo que el proyecto es económicamente viable. Dado que el sector se encuentra en categorización de riesgo alto, se adopta un enfoque conservador en el que se considera la materialización del evento en el horizonte de análisis (escenario de pérdidas totales esperadas).

6.1.4.2 Cálculo de la relación Beneficio/Costo

Tabla 133 Relación Beneficio/Costo

Concepto	Valor (millones COP)
Beneficios del proyecto (pérdidas económicas evitadas)	10.500
Costos de inversión (gestión predial + obra de mitigación)	2.110
Relación Beneficio / Costo (B/C)	**10.500 / 2.110 = 4,97**
Relación porcentual	**497 %**

La relación B/C de 4,97 significa que por cada peso invertido en el proyecto de mitigación se generan aproximadamente 4,97 pesos de beneficio económico en términos de pérdidas evitadas. En otras palabras, los beneficios superan a los costos en un 497 %, coherente con el enfoque de alto riesgo reportado.

6.1.4.3 Interpretación en el contexto de riesgo alto

Dado que el sector presenta categorización de riesgo alto por movimientos en masa, la probabilidad de ocurrencia del evento es elevada. En este contexto, el análisis considera el escenario de materialización de las pérdidas estimadas, lo cual resulta coherente con el principio de precaución y con las metodologías de evaluación de proyectos de reducción del riesgo de desastres recomendadas por entidades como el IDIGER, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y organismos internacionales (BID, Banco Mundial).

El resultado de B/C = 4,97 > 1 confirma la viabilidad económica del proyecto incluso bajo un enfoque determinístico de pérdidas totales. Si se incorporaran factores de probabilidad o se realizaran análisis de sensibilidad con tasas de descuento, la justificación del proyecto se mantendría o se reforzaría, especialmente al considerar los beneficios sociales no monetizados (protección de vidas, reducción de vulnerabilidad social, continuidad de servicios públicos).

6.1.5 BENEFICIOS ADICIONALES NO CUANTIFICADOS

Además de los beneficios económicos cuantificados, el proyecto genera impactos positivos de carácter social, ambiental y urbano que no han sido monetizados en el presente análisis, entre ellos:

- Protección de vidas humanas y reducción del riesgo de lesiones o fatalidades asociadas a desprendimientos de material.
- Mejora de la calidad de vida de la población del sector al eliminar o reducir significativamente la condición de alto riesgo.
- Recuperación y mejoramiento del espacio público una vez estabilizado el sector y manejadas las escorrentías.
- Reducción de la vulnerabilidad social de familias que actualmente habitan en condiciones de amenaza inminente.
- Disminución de costos futuros de atención de emergencias y de posibles reasentamientos masivos no planificados.
- Contribución al ordenamiento territorial y a la consolidación de zonas seguras en la Localidad de Ciudad Bolívar.

6.1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis beneficio-costo realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

- La inversión total requerida para la ejecución de las obras de mitigación asciende a aproximadamente 2.110 millones.

- Las pérdidas económicas esperadas en caso de materialización de los movimientos en masa ascienden a aproximadamente 10.500 millones de pesos, distribuidas entre infraestructura (~7.000), enseres (~700), pérdidas intangibles (~800) y costos de atención y recuperación (~2.000).

- La relación Beneficio/Costo es de 4,98 (498 %) si se evalúa prioritariamente el costo de la obra de mitigación frente a las pérdidas evitadas, lo que indica que los beneficios superan a los costos. El proyecto es económicamente viable.

- Considerando la categorización de riesgo alto del sector, la ejecución de las obras de mitigación (Alternativa 1 – pantalla de caissons) resulta prioritaria desde el punto de vista técnico, social y económico.

- Los valores de costos y pérdidas corresponden a estimaciones suministradas y expresadas en millones de pesos colombianos (COP) a valores actuales. No se ha aplicado tasa de descuento ni actualización por inflación en el presente ejercicio simplificado.

- El análisis adopta un enfoque determinístico acorde con la condición de riesgo alto del sector. Análisis probabilísticos más detallados podrían refinar los resultados, pero no se espera que modifiquen la conclusión de viabilidad.

- No se han cuantificado monetariamente los beneficios asociados a la protección de vidas humanas ni los co-beneficios de mejoramiento urbano y social, los cuales fortalecerían aún más la justificación del proyecto.

7 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:

7.1 MEMORIAS DE CÁLCULO ESTRUCTURAL

Los formatos de cantidades de obra, para cada uno de los ítems de actividad de obra propuestos en la estructura general del presupuesto. El archivo en Excel se puede consultar en el anexo correspondiente.

7.2 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.

7.3 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.

Las cifras presentadas, resalta el valor de los costos directos de obra, los cuales suman un total de $1.545.917.711. Este monto corresponde a la ejecución neta de las actividades físicas (obtenido al multiplicar las cantidades de obra por el valor unitario de cada ítem, sin incluir recargos indirectos). Sobre este costo directo se aplica el porcentaje de Administración, Imprevistos y Utilidad (A.I.U.), que en este presupuesto se establece en un 36,67%, llevando el valor total del componente de obra a precios unitarios a la suma de $2.112.786.389, cifra que consolida la inversión principal de la obra física antes de contemplar los rubros adicionales de diseño y estudios.

7.4 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.

8 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.

8.1 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 134 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*

No Ind.	Barrio	Tratamiento silvicultural	Nombre científico
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*
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*

No Ind.	Barrio	Tratamiento silvicultural	Nombre científico
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*
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 Preserva, 2026

8.2 ESTUDIO AMBIENTAL

8.2.1 ALCANCE

El presente Plan de Manejo Ambiental corresponde al sector Arborizadora Alta, 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.

8.2.2 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 135 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.
	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.

COMPONENTE	DENOMINACIÓN	EMITE	OBJETO
	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)
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”

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
RECURSOS NATURALES	AGUA	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

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
		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
		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.

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
		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 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.)
	BIODIVERSID	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

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
	A D			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)
	F O R E S T	Decreto 1791 de 1996	Presidente de la República de Colombia	Por medio de la cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal.
		Ley 299 de 1996	Congreso	Por la cual se protege la flora colombiana, se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones.

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
	AL	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.

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
		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.
		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.

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
	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 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

COMPONENTE	DENOMINACIÓN		EMITE	OBJETO
		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.

8.2.3 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.

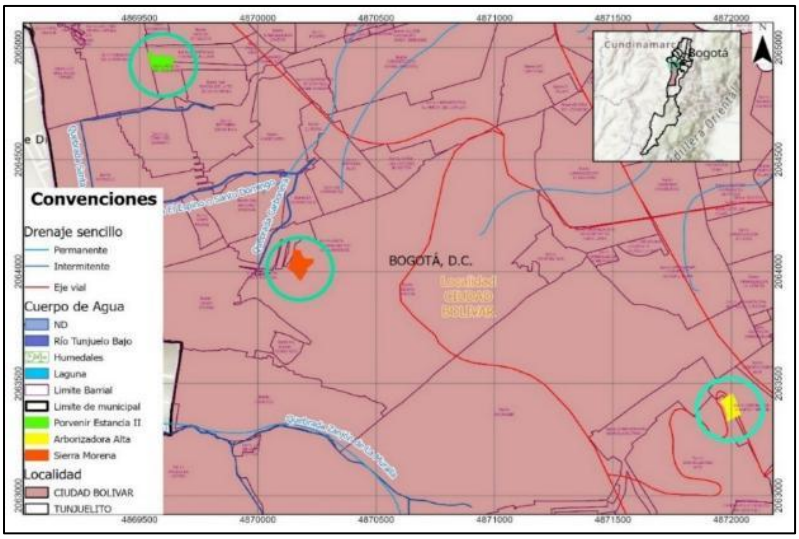


Figura 149. Localización general de los sectores de estudio en la Localidad de Ciudad Bolívar
Fuente: Consorcio Preservar, 2026

8.3 ÁREA DE ESTUDIO

El área de intervención de acuerdo con los diseños corresponde a un 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 siguiente tabla, la cual permite establecer con precisión la delimitación espacial del área de estudio.

Tabla 136. Coordenadas geográficas del polígono Arborizadora Alta.

Polígono	Vértice	Latitud	Longitud
Arborizadora Alta	1	4,572678	-74,1543

Polígono	Vértice	Latitud	Longitud
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: Consorcio Preservar, 2026.

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

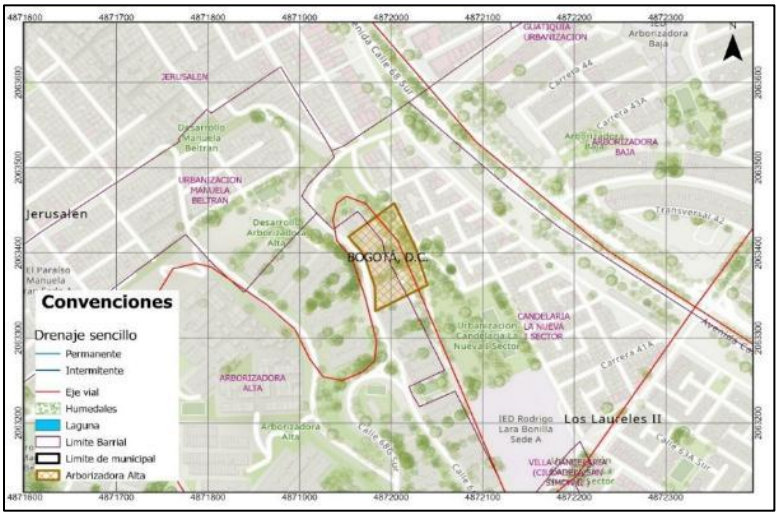
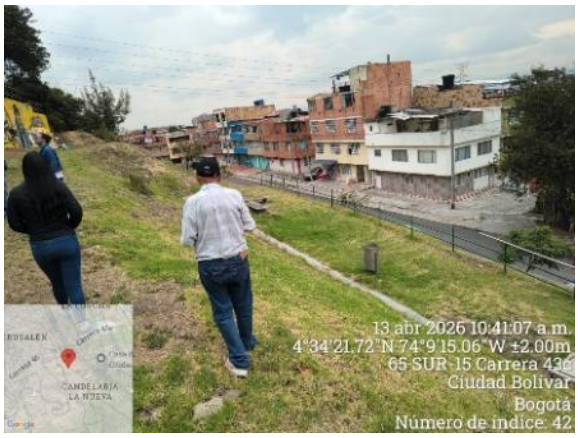


Figura 150. Polígono Arborizadora Alta.
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

8.3.1 ÁREA DE INTERVENCIÓN

El área de intervención presenta una cobertura predominante de pastos limpios en la parte inferior del muro existente, mientras que en la parte superior se encuentra un tejido urbano continuo, correspondiente a una manzana conformada principalmente por viviendas. 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 137 Registro fotográfico recorrido 13 de abril de 2026.


13 abr 2026 10:41:07 a.m.
4°34'21.72"N 74°9'15.06"W ±2.00m
65 SUR-15 Carrera 43c
Ciudad Bolívar
Bogotá
Número de índice: 42


13 abr 2026 10:40:28 a.m.
4°34'21.69"N 74°9'15.06"W ±1.90m
68B-4 Carrera 43c
Ciudad Bolívar
Bogotá
Número de índice: 40


13 abr 2026 10:50:00 a.m.
4°34'21.522"N 74°9'14.646"W ±2.70m
68B-4 Carrera 43c
Ciudad Bolívar
Bogotá
Número de índice: 57


13 abr 2026 10:41:46 a.m.
4°34'21.906"N 74°9'15.024"W ±2.40m
66 SUR-20 Carrera 44a
Ciudad Bolívar
Bogotá, D.C.
Número de índice: 43


1-250164
13 abr 2026 11:00:39 a.m.
4°34'21.372"N 74°9'14.796"W ±2.10m
68B-12 Carrera 43c
Ciudad Bolívar
Bogotá
Número de índice: 61


13 abr 2026 10:49:34 a.m.
4°34'21.546"N 74°9'15.178"W ±31.88m
68B-4 Carrera 43c
Ciudad Bolívar
Bogotá
Número de índice: 56


13 abr 2026 10:50:19 a.m.
4°34'20.746"N 74°9'15.16"W ±27.03m
68B-12 Carrera 43c
Ciudad Bolívar
Bogotá
Número de índice: 58


13 abr 2026 10:49:02 a.m.
4°34'21.963"N 74°9'15.303"W ±27.98m
68D-18 Carrera 44
Ciudad Bolívar
Bogotá, D.C.
Número de índice: 55



Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

8.4 DETERMINANTES AMBIENTALES

8.4.1 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.

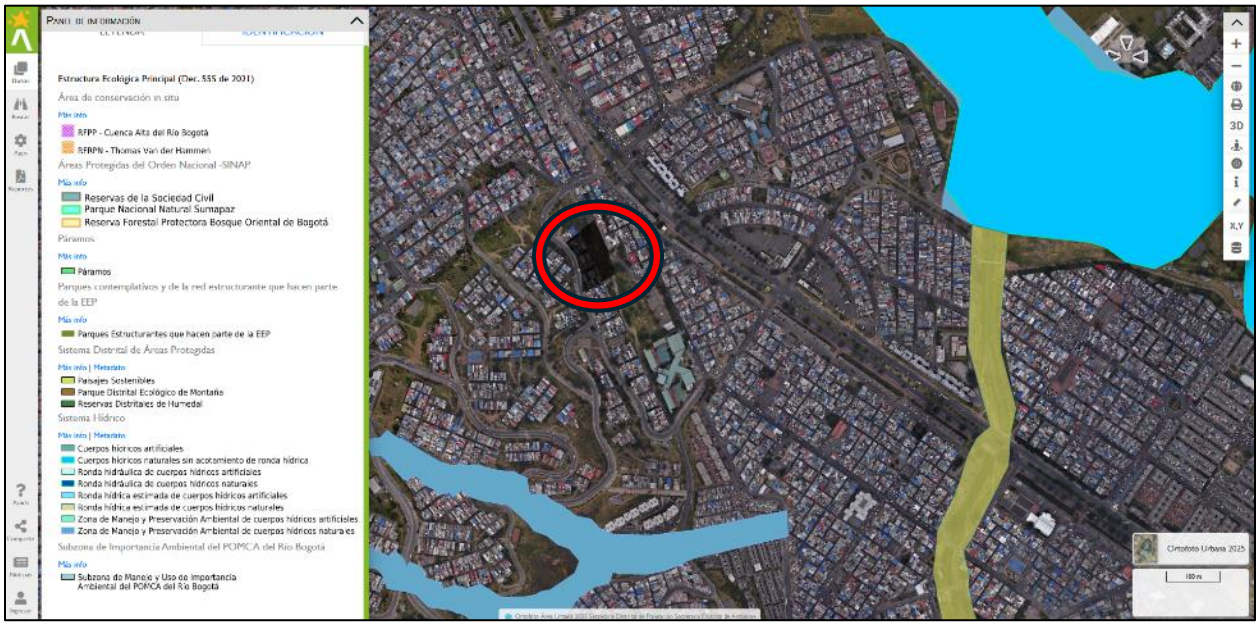


Figura 151 Estructura Ecológica Principal (Dec 555 de 2021).
Fuente: Geo-visor secretaria distrital de ambiente, 2026.

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.

8.4.2 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 152 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.

8.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

8.5.1 DESCRIPCIÓN SITUACIÓN ACTUAL

El proceso morfodinámico predominante en Arborizadora Alta corresponde a reptación (deformación plástica lenta), con componente rotacional y empuje sobre la estructura de contención existente, dominado por el comportamiento reológico de los depósitos superficiales y del Conjunto Medio de la Formación Guaduas. La evidencia más severa es la deficiencia del muro de contención de la Carrera 44 / Calle 68B Sur, cuyas patologías —grietas y desplazamientos de algunos elementos— responden a empujes laterales excesivos y al incremento de las presiones de poros en el trasdós.

Se identifican procesos de reptación que afectan la cimentación de las viviendas de la parte alta; la alteración de los drenajes naturales por la urbanización ha saturado el horizonte arcilloso, reduciendo drásticamente su resistencia al corte. Las evidencias cinemáticas —corona de movimiento de ladera, cuerpo del movimiento potencial, agrietamientos en la estructura del muro y barandas desplazadas— se esquematizan en la siguiente figura.



Figura 153. Ilustración del proceso morfodinámico y de las condiciones del muro de contención existente (Carrera 44 / Calle 68B Sur) en Arborizadora Alta: corona, cuerpo del movimiento potencial, agrietamientos y dirección general del movimiento.

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

El levantamiento de detalle permitió cartografiar en planta las grietas de tracción del terreno y la dirección del movimiento en la adyacencia del muro de contención existente, como se presenta en la siguiente figura. El patrón de grietas, dispuesto de forma paralela al muro y con desplazamiento hacia la ladera, es consistente con el empuje del terreno sobre la estructura de contención.



Figura 154. Grietas de tracción y dirección del movimiento en adyacencia al muro de contención existente, en vista de ortomosaico (Arborizadora Alta).
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

Desde el punto de vista geológico, el sector se emplaza sobre el Conjunto Medio de la Formación Guaduas, dominado por arcillolitas de consistencia blanda a media, sobre el cual reposan depósitos cuaternarios y rellenos antrópicos superficiales. Las facies finas y plásticas de este conjunto, con alta susceptibilidad a la meteorización y a los cambios de humedad, condicionan el desarrollo de procesos de deformación lenta (reptación) y la generación de empujes sobre las estructuras de contención.

Geomorfológicamente, Arborizadora Alta se emplaza sobre un Área Urbanizada (Aur), de origen antrópico y sin unidad geomorfológica natural. La configuración de la superficie urbana (vías, muro y viviendas) enmascara el relieve natural; sin embargo, la interacción entre esta morfología antrópica, los depósitos cuaternarios y el sustrato de arcillolitas de la Formación Guaduas resulta determinante, manifestándose como deformaciones plásticas lentas y reptaciones que afectan la infraestructura urbana y la estructura de contención. Conforme al Decreto 523 de 2010, el sector se localiza en la Zona Geotécnica Cerros B.

El inventario consolidado registra para Arborizadora Alta once (11) pronunciamientos técnicos emitidos entre 2013 y 2023 (un concepto técnico y diez diagnósticos), con seguimiento institucional al muro de contención de la Calle 68B Sur y reiteradas advertencias sobre la saturación del terreno por deficiencias en las redes.

8.5.2 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

La intervención plantea una solución integral de estabilización mediante una pantalla o cortina de caissons de concreto reforzado, detalladas a continuación:

- Estructura de Contención: Construcción de una cortina de caissons de concreto reforzado de aproximadamente 1,20 m de diámetro, separados 3,00 m entre ejes. Profundidad variable: hasta 15,50 m en zona central y 7,00–8,00 m hacia los extremos.
- Proceso constructivo: Excavación manual por tramos (1,00–1,50 m), encamisado progresivo con anillos de concreto, armadura principal y vaciado continuo (método tremie si aplica).
- Viga cabezal: Elemento de concreto reforzado que rigidiza el conjunto de caissons, mejora la respuesta estructural y sirve de apoyo para cunetas de manejo de escorrentía superficial.
- Gestión de Suelos y Predios: Se requiere gestión predial de predios expuestos. La solución controla el movimiento global hasta la línea 5 de edificaciones.
- Manejo de Aguas: La obra incluye drenajes de escorrentía mediante estructuras asociadas a la viga cabezal y disipación de energía, mejorando las condiciones de seguridad del área.

8.5.3 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 construcción de los caissons constituye la medida principal de estabilización del movimiento identificado; por lo tanto, cualquier actividad que implique excavación, descarga de la corona o modificación de la geometría del terreno deberá realizarse únicamente después de que estos elementos hayan alcanzado las condiciones de resistencia y desempeño previstas en el diseño.

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.
- No se permitirá el almacenamiento de materiales, maquinaria pesada o material producto de excavación sobre la corona del talud ni dentro de la zona de influencia del movimiento.
- 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.

8.5.3.1 Etapa 0: Actividades preliminares

Esta etapa comprende las actividades necesarias para garantizar las condiciones de seguridad y control requeridas antes de iniciar las obras de estabilización.

- Localización topográfica y replanteo de los ejes de los caissons, drenes y obras complementarias.
- Instalación de cerramientos, señalización y medidas de seguridad para personal y usuarios de la vía.
- Implementación de cunetas y canales provisionales para interceptar y evacuar las aguas de escorrentía.
- Descapote y limpieza superficial de la zona de intervención.
- Instalación de instrumentación de seguimiento, cuando esta sea requerida por la interventoría o por el especialista geotécnico.
- Verificación de la existencia de redes de servicios públicos o estructuras enterradas que puedan interferir con las excavaciones.

8.5.3.2 Etapa 1: Construcción de los caissons (escenario durante construcción)

La primera actividad de estabilización corresponde a la ejecución de los caissons proyectados. Estos elementos deberán construirse antes de cualquier intervención que implique retiro de soporte o descarga significativa del talud. Los caissons tendrán un diámetro de diseño de 1,20 m y deberán empotrarse en la roca de la Formación Guaduas. La profundidad mínima de empotramiento en roca será de 3,60 m; sin embargo, el diseño contempla una penetración aproximada de 6,00 m con el fin de garantizar la movilización de la resistencia requerida y la adecuada transferencia de esfuerzos hacia el estrato competente.

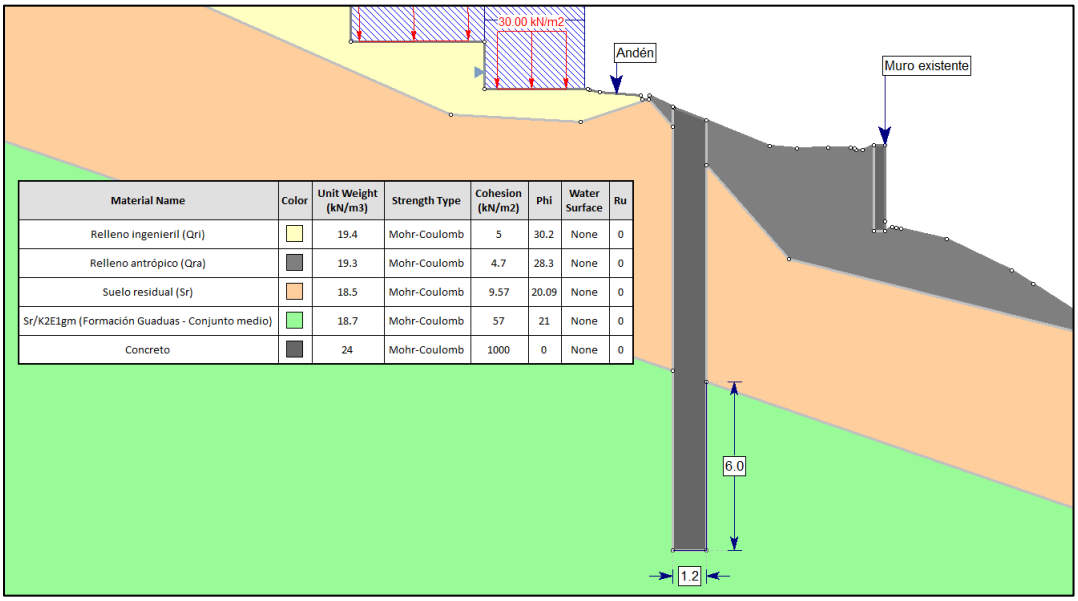
Los caissons deberán ubicarse de manera que se minimice la interferencia con los anclajes o tensores asociados al muro de contención existente. No obstante, debido a la incertidumbre inherente a la localización exacta de estos elementos, durante las excavaciones podría requerirse el corte parcial o total de algunos tensores. Considerando que esta situación puede generar redistribuciones de carga, deformaciones locales o incluso pérdida súbita de estabilidad del muro existente, se deberá implementar vigilancia permanente durante el proceso constructivo, incluyendo inspección visual continua y seguimiento topográfico de posibles desplazamientos del muro y del terreno adyacente. En caso de presentarse deformaciones anómalas, apertura de grietas o movimientos no previstos, los trabajos deberán suspenderse inmediatamente y la condición deberá ser evaluada por el especialista geotécnico.

La secuencia constructiva recomendada es la siguiente:

- Replanteo topográfico individual de cada caisson.
- Excavación mediante procedimientos mecánicos o manuales, garantizando la estabilidad temporal de las paredes de la excavación.

- Verificación geológica y geotécnica del material encontrado en el fondo de cada excavación para confirmar la presencia de roca competente.
- Continuación de la excavación hasta alcanzar la profundidad establecida en los planos.
- Limpieza del fondo y de las paredes del caisson.
- Instalación del acero estructural.
- Vaciado continuo del concreto estructural hasta la cota de diseño.
- Curado y protección del concreto.
- Verificación de la resistencia especificada antes de permitir actividades que modifiquen la geometría del talud.

El avance de excavaciones adyacentes o la demolición de estructuras existentes no deberá realizarse hasta que los caissons hayan alcanzado la resistencia mínima especificada en el diseño estructural.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kN/m2)	Phi	Water Surface	Ru
Relleno ingenieril (Qri)		19.4	Mohr-Coulomb	5	30.2	None	0
Relleno antrópico (Qra)		19.3	Mohr-Coulomb	4.7	28.3	None	0
Suelo residual (Sr)		18.5	Mohr-Coulomb	9.57	20.09	None	0
Sr/K2E1gm (Formación Guaduas - Conjunto medio)		18.7	Mohr-Coulomb	57	21	None	0
Concreto		24	Mohr-Coulomb	1000	0	None	0

Figura 155. Sección típica de la etapa inicial- sección B-B'
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

Una vez finalizada la construcción de los caissons, se deberá verificar el cumplimiento de la resistencia especificada del concreto y confirmar el adecuado comportamiento de los elementos ejecutados antes de iniciar actividades complementarias de drenaje o modificación de la geometría del terreno.

8.5.3.3 Etapa 2: Instalación de los drenes subhorizontales

Una vez construidos los caissons y alcanzadas las condiciones mínimas de estabilidad requeridas para la continuidad de las obras, se procederá con la instalación del sistema de drenaje profundo previsto en el diseño geotécnico. El objetivo de esta intervención es reducir las presiones de poros dentro del macizo, interceptar flujos subterráneos y mejorar las condiciones de estabilidad del talud.

Los drenes subhorizontales se ejecutarán con una inclinación de 15° respecto a la horizontal, una longitud de 15 m y una distribución en tresbolillo con espaciamiento de 2,0 m en sentido horizontal y vertical. 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.

8.5.3.4 Etapa 3: Corte y conformación del talud (escenario con obras)

Una vez construidos los caissons y comprobada su resistencia de diseño, así como la correcta operación del sistema de drenaje, se procederá con la demolición del muro existente y la conformación definitiva del talud. La excavación deberá ejecutarse en forma controlada y por tramos, evitando la generación de sobreexcavaciones o geometrías diferentes a las analizadas.

La secuencia recomendada es:

- Demolición controlada del muro existente.
- Retiro total de escombros y elementos residuales.
- Excavación gradual del terreno localizado detrás del muro.
- Conformación progresiva del talud con pendiente final 2H:1V.
- Verificación topográfica permanente de la geometría proyectada.

- Retiro y disposición adecuada del material sobrante.
- Implementación de medidas de protección superficial y control de erosión.
- Conformación final del terreno y limpieza del área intervenida.

La ejecución del corte tiene como finalidad reducir la carga actuante en la corona del movimiento, disminuyendo las fuerzas desestabilizadoras asociadas al mecanismo de falla identificado durante los análisis.

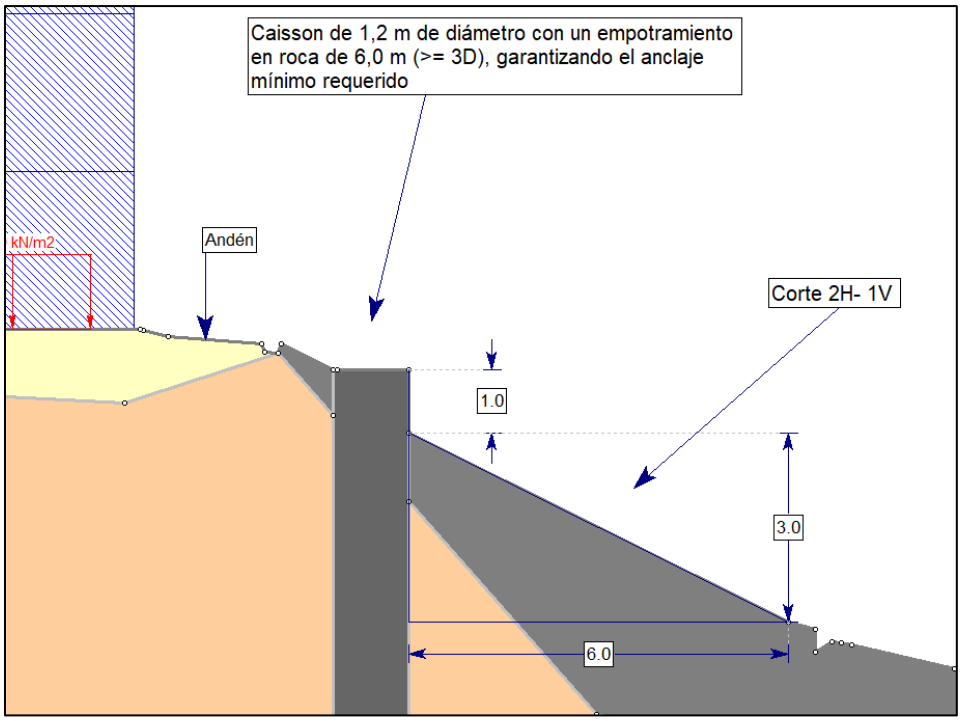


Figura 156. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A'

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

8.5.3.5 Etapa 4: Protección vegetal del talud y control de erosión

Una vez finalizada la conformación del talud con pendiente 2H:1V y verificada la estabilidad de la condición definitiva de diseño, se ejecutarán las obras de protección vegetal del talud, de conformidad con el Artículo 810 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras INVÍAS 2022. Estas actividades tendrán como finalidad reducir la erosión superficial inducida por la escorrentía, favorecer el establecimiento de una cobertura vegetal permanente y contribuir a la sostenibilidad de la medida de estabilización implementada.

La protección vegetal comprenderá la preparación de la superficie expuesta, la colocación de una capa de suelo orgánico apto para el desarrollo de vegetación y la revegetalización mediante hidrosiembra con especies nativas o adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas de la zona. Cuando las condiciones

de pendiente o susceptibilidad a la erosión lo requieran, la hidrosiembra podrá complementarse con biomantos o mantos para control de erosión.

La secuencia constructiva recomendada será la siguiente:

- Limpieza y retiro de materiales sueltos de la superficie del talud conformado.
- Perfilado final de la superficie para eliminar irregularidades que favorezcan la concentración de escorrentías.
- Extensión de una capa uniforme de suelo orgánico con características adecuadas para el establecimiento vegetal.
- Aplicación de hidrosiembra empleando una mezcla de semillas, fertilizantes, agua y agentes fijadores, según las especificaciones del proveedor y las condiciones particulares del proyecto.
- Instalación de biomantos o mantos de control de erosión en los sectores donde se requiera protección adicional frente a la escorrentía superficial.
- Ejecución de riegos de establecimiento y mantenimiento durante la etapa inicial de crecimiento.
- Reposición de las áreas que presenten deficiencias de germinación o cobertura vegetal insuficiente.
- Seguimiento y mantenimiento de la cobertura vegetal hasta alcanzar un cubrimiento uniforme y estable del talud.

Se deberán utilizar preferiblemente especies nativas o adaptadas a las condiciones locales, evitando el empleo de especies invasoras o que puedan generar afectaciones ambientales. La cobertura vegetal deberá alcanzar un porcentaje de establecimiento que garantice la protección efectiva de la superficie expuesta frente a los procesos de erosión superficial y socavación asociados a la acción de las aguas de lluvia.

Esta etapa constituye una medida complementaria a los caissons y al sistema de drenaje profundo, orientada al control de la erosión superficial y a la conservación de la condición de estabilidad del talud considerada en los análisis geotécnicos de diseño.

8.5.3.6 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.

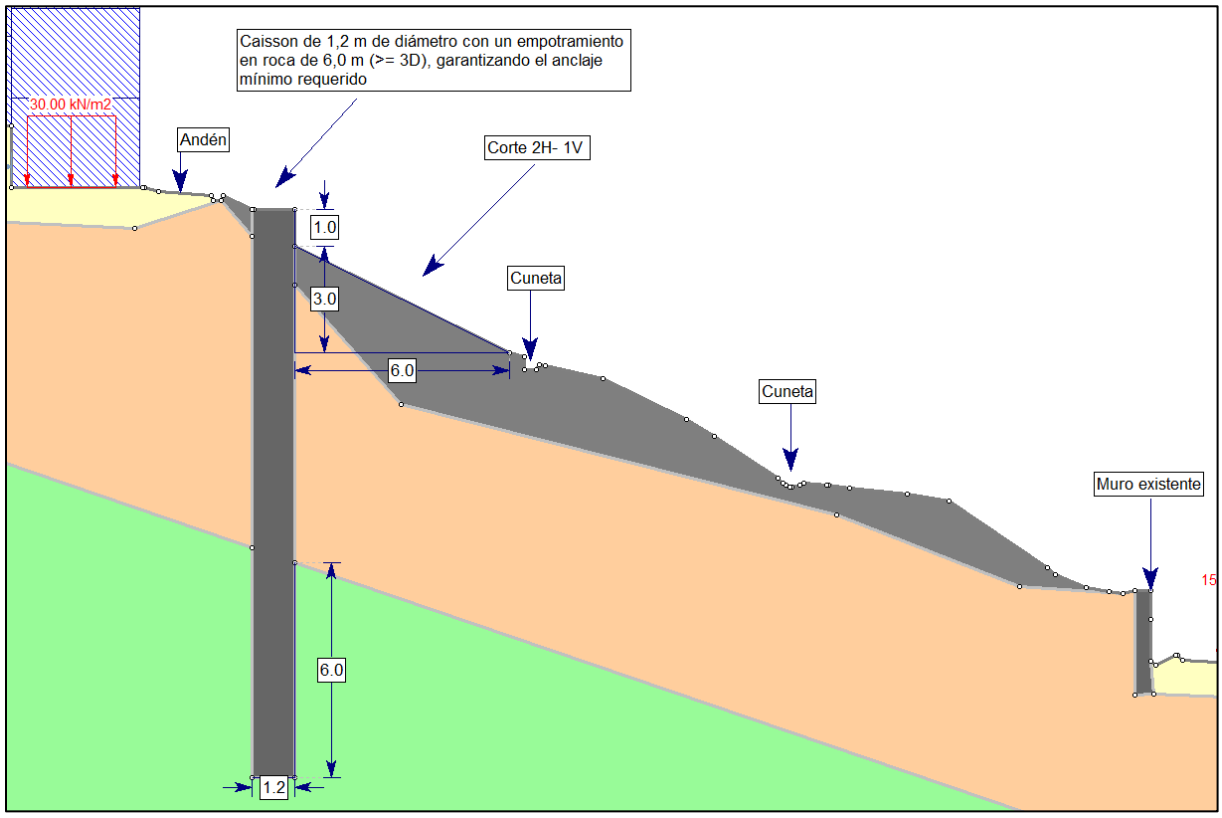


Figura 157. Sección típica de sostenimiento final - sección A-A' (Obra)
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

8.5.4 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 138 Cronograma de obra.

Fase	Inicio	Fin
Inicio del contrato	4/01/2027	
Preliminares	3/02/2027	13/03/2027
Excavación manual en material común	13/03/2027	4/11/2027
Estructuras	27/05/2027	16/09/2027
Redes Hidrosanitarias	12/04/2027	4/11/2027

Fase	Inicio	Fin
PGIR	4/02/2027	27/10/2027
Terminación del contrato	4/11/2027	

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

De acuerdo con el cronograma establecido, las actividades constructivas se desarrollarán entre enero y noviembre de 2027. La fase de preliminares se ejecutará al inicio del proyecto, seguida por las actividades de excavación manual en material común, 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 10 meses, comprendidos entre el inicio del contrato el 4 de enero de 2027 y su terminación el 4 de noviembre de 2027, periodo durante el cual se desarrollarán las diferentes actividades programadas para la intervención.

8.5.5 CANTIDADES DE MATERIALES

La Tabla 139 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 139 Cantidades de materiales

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
ACTIVIDADES PRELIMINARES		
REPLANTEO GENERAL	M2	600,00
POLISOMBRA VERDE PARA CERRAMIENTO.	M2	1800,00
DESCAPOTE A MANO EN MATERIAL COMUN	M2	720,00
MOVIMIENTOS DE TIERRA		
EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMÚN	M3	1099,10
EXCAVACION MANUAL EN ROCA	M3	87,08
DEMOLICIÓN CONTROLADA Y FRAGMENTACIÓN DEL MURO ESTRUCTURAL EXISTENTE	M3	86,80
TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE ESCOMBROS EN SITIO AUTORIZADO EN SITIO AUTORIZADO POR LA ENTIDAD AMBIENTAL COMPETENTE.	M3	173,88

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
ESTRUCTURAS		
ACERO DE REFUERZO FY=60000 PSI.	KG	69801,41
CONCRETO 2000 PSI GRAVA COMÚN 14 MPA	M3	5,16
VIGA CABEZAL SOBRE CAISSON EN CONCRETO PREMEZCLADO DE 4000 PSI	M3	102,00
CONCRETO 4000 PSI GRAVA COMÚN PARA CONSTRUCCIÓN DE CAISSON	M3	301,97
REDES HIDROSANITARIAS		
MALLA ELECTROSOLDADA 0.15X0.15M, D=4MM, 4MM	KG	83,73
CONSTRUCCIÓN CANALETA DE AGUAS LLUVIAS DE 0.30 X 0.25 MT EN CONCRETO DE 3000 PSI GRAVA COMÚN	ML	58,78
CAJA DE INSPECCION	UND	3,00
RELLENO EN RECEBO COMUN	M3	4,52

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

A partir de la tabla anterior, las actividades preliminares comprenden el replanteo general, la instalación de polisombra para el cerramiento, el descapote manual y el corte, desmonte y retiro controlado de los anclajes y tensores existentes. Estas actividades se estiman para un área de 600 m², 1.800 m² y 720 m², respectivamente.

En el componente de movimientos de tierra se contemplan 1.099,10 m³ de excavación manual en material común y 87,08 m³ de excavación manual en roca. Adicionalmente, se proyectan 86,80 m³ correspondientes a la demolición controlada y fragmentación del muro estructural existente, junto con 173,88 m³ destinados al transporte y disposición final de los escombros en sitios autorizados.

El componente de estructuras concentra las mayores cantidades de materiales, principalmente por el uso de 69.801,41 kg de acero de refuerzo y 301,97 m³ de concreto de 4.000 PSI para la construcción de caissons. También se contemplan 102,00 m³ de concreto de 4.000 PSI para la viga cabezal sobre caisson y 5,16 m³ de concreto de 2.000 PSI.

Finalmente, en el componente de redes hidrosanitarias se incluyen 83,73 kg de malla electrosoldada, 58,78 m de canaleta para aguas lluvias, 3 cajas de inspección y 4,52 m³ de relleno en recebo común. Estas cantidades corresponden a las actividades previstas para la conformación y manejo de las obras hidrosanitarias asociadas al proyecto.

8.5.6 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 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.

8.5.6.1 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 5 – Arborizadora Alta se localiza en la Zona Geotécnica Cerros B. Geológicamente, esta unidad se caracteriza por secuencias litoestratigráficas dominadas por arcillolitas; desde la perspectiva geomorfológica corresponde a vertientes de moderada a alta pendiente conformadas por materiales arcillosos de consistencia blanda a media. En términos geomecánicos, estos materiales presentan una competencia moderada a baja y una alta susceptibilidad a la meteorización.

El marco regional es consistente con los resultados de la exploración de detalle del presente estudio: el basamento corresponde a la Formación Guaduas (K2E1gm) y el perfil de suelos está conformado por suelos residuales arcillosos de alta plasticidad, con potencial expansivo, y por rellenos antrópicos de adecuación, materiales típicos de la unidad Cerros B y determinantes del comportamiento geotécnico del sitio.

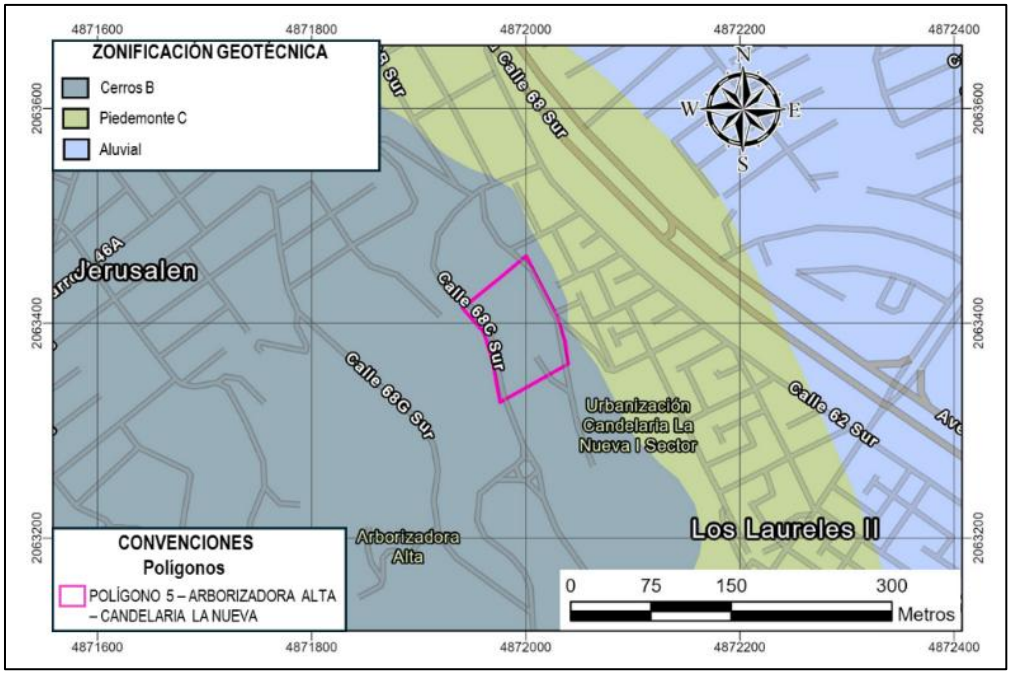


Figura 158. Ubicación del Polígono 5 – Arborizadora Alta en la Zona Geotécnica Cerros B (zonificación geotécnica regional).
Fuente: Zonificación Geotécnica – Insumo Estudios Básicos de Amenaza por Movimientos en Masa. Bogotá D.C. – IDIGER – IDECA (Decreto 523 de 2010). Modificado por el Consultor.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la siguiente figura y tabla se presenta la zonificación geotécnica detallada del área de estudio.

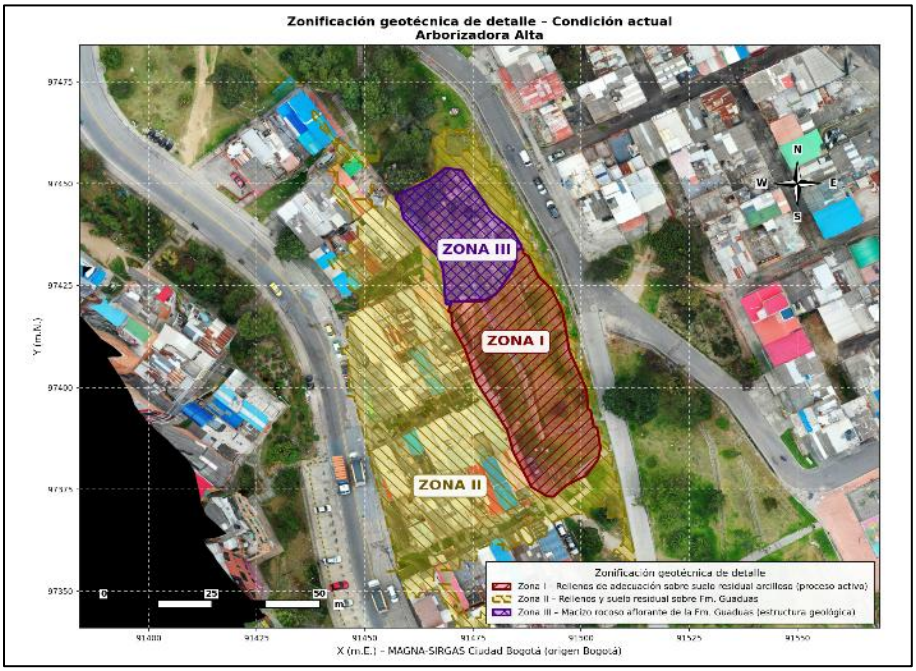


Figura 159. Zonificación geotécnica de detalle – condición actual, Arborizadora Alta
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

Tabla 140 Zonificación geotécnica de detalle – Arborizadora Alta.

Zona	Materiales (unidades del modelo)	Espesores típicos	Comportamiento geotécnico
Zona I	Rellenos de adecuación (Qra) sobre suelo residual arcilloso de alta plasticidad y potencial expansivo (Qsr, CH), sobre la Formación Guaduas (K2E1gm)	Qra: 0,15–4,0 m; Qsr: 3,0–9,5 m	Materiales blandos y expansivos con proceso activo: asentamientos diferenciales y agrietamientos asociados al muro de contención existente; tramos con factores de seguridad inferiores a los umbrales normativos
Zona II	Rellenos ingenieriles y de adecuación delgados (Qri, Qra) y suelo residual (Qsr), sobre la Formación Guaduas (K2E1gm)	Qri: 0–2,0 m; Qsr: 3,0–9,5 m	Perfil sin procesos activos identificados; factores de seguridad superiores a los umbrales normativos a lo largo de las secciones

Zona	Materiales (unidades del modelo)	Espesores típicos	Comportamiento geotécnico
Zona III	Macizo rocoso de la Formación Guaduas (K2E1gm) aflorante, con cobertura de suelo delgada y discontinua	Roca subaflorante; cobertura < 1 m	Comportamiento controlado por el macizo rocoso y sus discontinuidades; cambio de tendencia estructural asociado al paso de una estructura geológica (falla)

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

La zonificación geotécnica de detalle presentada corresponde a la información desarrollada en la información técnica referente a la geotécnia del proyecto y permite identificar sectores con diferentes condiciones de comportamiento del terreno. Para su representación cartográfica se empleó una simbología que diferencia las unidades geotécnicas definidas para el área de estudio, facilitando la interpretación de las condiciones de estabilidad y de los materiales presentes.

De acuerdo con los resultados del componente geotécnico, la Zona I corresponde a sectores asociados a procesos morfodinámicos activos y condiciones geotécnicas menos favorables; la Zona II agrupa áreas sin evidencia de procesos activos y con mejores condiciones relativas de estabilidad; y la Zona III, donde se presenta, corresponde a sectores controlados por afloramientos rocosos y características geotécnicas diferenciadas. La delimitación de estas zonas se fundamenta en la información obtenida durante las investigaciones de campo, la caracterización geológico-geotécnica del terreno y los análisis de estabilidad realizados conforme a la Resolución 111 de 2022 del IDIGER.

Esta información se incorpora como referencia para la caracterización ambiental del área de intervención y la comprensión de las condiciones físicas actuales del sector.

8.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN

8.6.1 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 150**)

8.6.1.1 Medio abiótico

- Geología y Geomorfología

La información geológica y geomorfológica presentada corresponde a los resultados obtenidos en los análisis de geología y geotecnia realizados para el proyecto, donde se desarrolla a partir de revisiones documentales, actividades de campo, investigaciones del subsuelo y análisis especializado de la información recopilada. Los mapas temáticos generados permiten caracterizar las condiciones físicas del área de intervención y sirven como insumo para el presente documento.

  - Características de las unidades Geológicas

Para el área de intervención, se realizó la identificación y caracterización de los materiales geológicos presentes, a partir de la información de referencia y de las investigaciones de campo. Esta caracterización permitió reconocer tanto materiales rocosos como depósitos de suelo y establecer sus principales características desde el punto de vista geotécnico.

En el sector se identificaron materiales rocosos asociados a la Formación Guaduas, conjunto medio (K2E1gm), así como materiales de suelo correspondientes a depósitos de origen antrópico, representados por relleno de origen antrópico (Qra) y relleno ingenieril (Qri).

Como parte de esta caracterización se consideró el grado de meteorización, debido a su influencia en las propiedades geomecánicas y en el comportamiento de los materiales frente a las condiciones de estabilidad del terreno. Esta información también constituye un elemento de referencia para evaluar las condiciones del subsuelo y el comportamiento de las obras y sistemas de cimentación que puedan requerirse en el proyecto.

Para la descripción de los materiales rocosos se utilizó la escala general de grados de meteorización de un macizo rocoso, como criterio de referencia para establecer el nivel de alteración de los materiales identificados. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente figura.



Figura 160. unidades geológicas del sito.
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

Tabla 141 Caracterización de los materiales geológicos identificados en el área de estudio.

Unidad	Código	Descripción	Características principales
Macizo rocoso	**R**	Rocas de la Formación Guaduas, conformadas principalmente por intercalaciones de areniscas finas y arcillolitas/lodolitas.	Estratos delgados a medios, de consistencia media a dura y con alto grado de fracturamiento. Se presentan sectores con meteorización alta, especialmente a mayores profundidades.

Depósitos de escombros	**Qra**	Materiales acumulados en los sectores anterior y posterior del muro existente, asociados al desarrollo urbano del sector.	Composición heterogénea, matriz areno-limosa y muy baja consolidación. Espesores aproximados de 2,0 m en los sectores norte y sur y hasta 4,0 m en el sector central.
Relleno ingenieril	**Qri**	Materiales utilizados en capas de base y subbase para la construcción de viviendas y vías.	Composición variada y espesores aproximados entre 1,0 y 1,5 m.

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Características de las unidades Geomorfológicas

Desde el punto de vista geomorfológico, el sitio de estudio y sus alrededores presenta como características morfológicas: i) Una geoforma o ladera de contrapendiente (Slc), generada por la inclinación de los estratos rocosos en sentido contrario de la pendiente del terreno.

- Subunidades de origen Estructural (S) (Ladera de contrapendiente Slc)

Se hace referencia a las geoformas originadas por la influencia de la actividad tectónica sobre los macizos rocosos del área, generando expresiones en general de pendiente moderada a alta, así como subunidades /elementos de tipo ladera de contrapendiente 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 contraria al sentido de la pendiente de las laderas, las cuales son indicadas en el afloramientos rocoso presente en el sitio de estudio.

Esta subunidad conforma los terrenos del sitio (Arborizadora Alta). Las rocas para este sitio muestran como datos estructurales (Rumbo/Buzamiento), N70°W/10°-20° al SW. Como procesos morfodinámicos se observa desarrollo de erosión, de tipo laminar y en surcos.

- Subunidades/elementos de origen antrópico (a)

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

En la siguiente se presenta el mapa geomorfológico del sector de estudio. Posteriormente, se ilustra en fotografías las subunidades/elementos geomorfológicos del sitio inestabilizado.



Figura 161. subunidades/elementos geomorfológicos de la parte superior e inferior del sitio de estudio. Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Amenazas
    - Amenaza por remoción en Masa

El polígono de interés de Arborizadora Alta se localiza sobre un terreno con condiciones críticas de vulnerabilidad geológica, quedando dividido en dos niveles de criticidad: la mayor parte de su superficie (occidental y centro) se clasifica técnicamente bajo Amenaza Media por Remoción en Masa, mientras que el sector nororiental se ubica en una zona de Amenaza Baja.

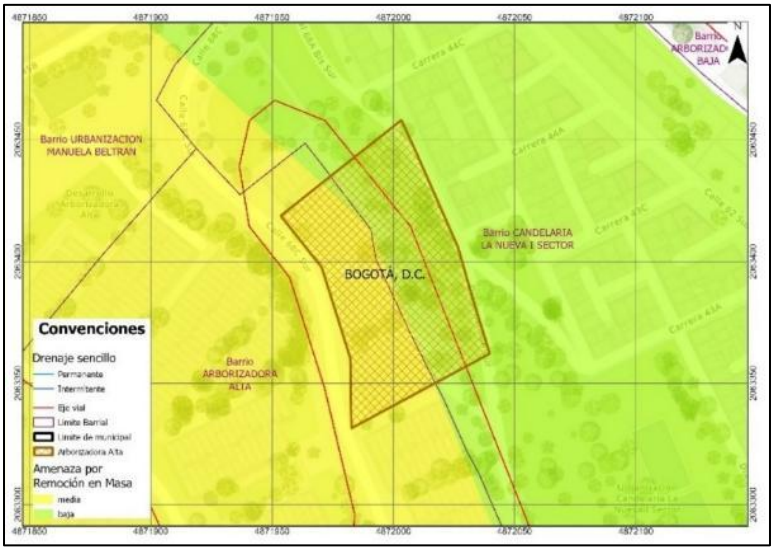


Figura 162. Amenaza por remoción en Masa
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- 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 de Arborizadora Alta no se localiza dentro de una zona de amenaza por inundación.

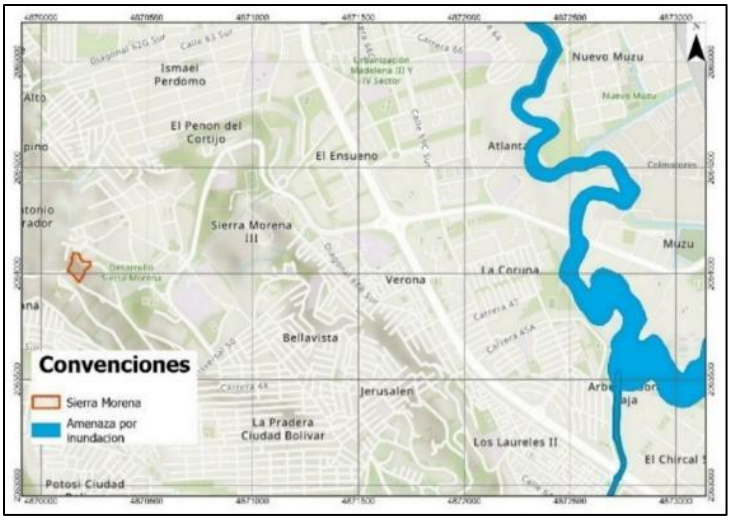


Figura 163. Amenaza por Inundación
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Amenaza de incendios

El polígono de estudio de Arborizadora Alta (identificado dentro del círculo morado de referencia) se encuentra localizado en una zona catalogada técnicamente bajo Amenaza Baja por Incendios Forestales (área sombreada en color verde claro), teniendo en cuenta que se localiza dentro de una zona urbana, lo cual coincide con lo visualizado dentro de la siguiente ilustración. Desde la perspectiva de la ingeniería

ambiental, esta clasificación indica que, debido a la consolidación del entorno urbano, el tipo de cobertura vegetal residual y la infraestructura vial circundante observada en el mapa, la probabilidad de inicio y propagación de un incendio forestal a gran escala es mínima en comparación con los ecosistemas de ladera y los cerros orientales de la ciudad (visibles en el extremo derecho bajo amenaza alta y muy alta). Por consiguiente, el riesgo por incendios forestales no representa una limitante crítica para el desarrollo o conservación del área de estudio; no obstante, se recomienda mantener pautas urbanas básicas de manejo ambiental, tales como el control estricto de quemas de residuos a cielo abierto y el mantenimiento de las áreas verdes barriales en épocas de sequía extrema.

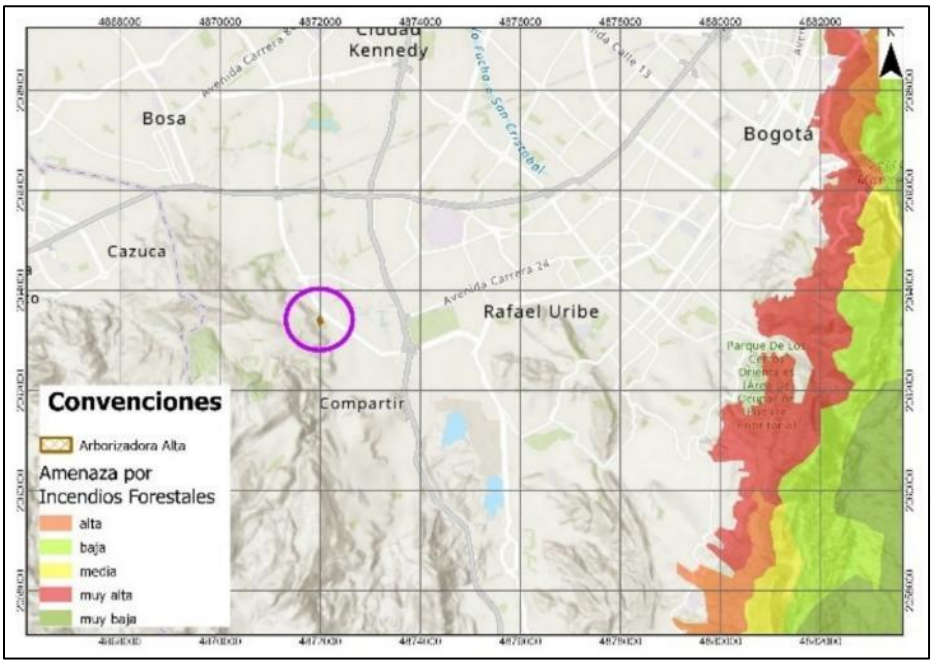


Figura 164. Amenaza por incendios
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- 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.

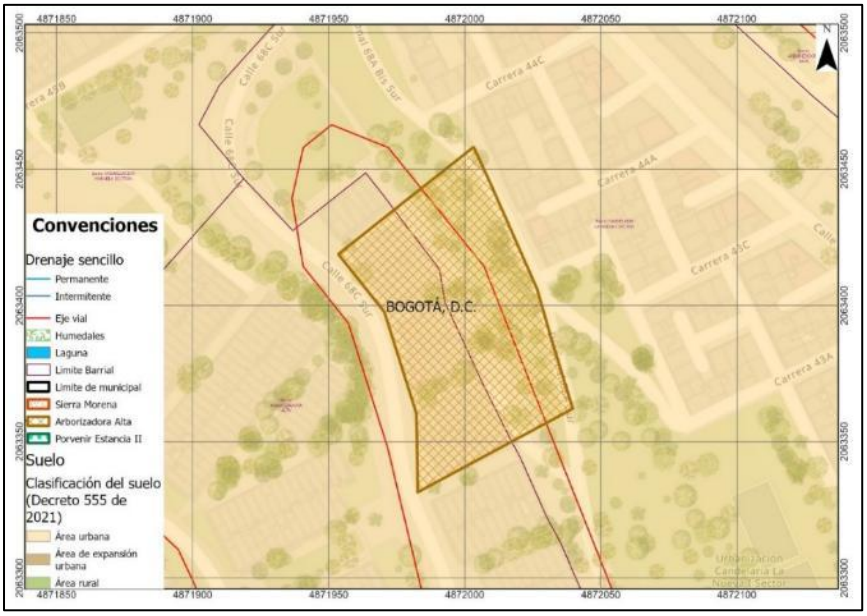


Figura 165. Clasificación del suelo
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

De acuerdo con el trabajo de campo se identificó que el uso de suelo es residencial como se muestra en el siguiente registro fotográfico.



Figura 166. Uso del suelo
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Condiciones climatológicas

La Figura 167 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.

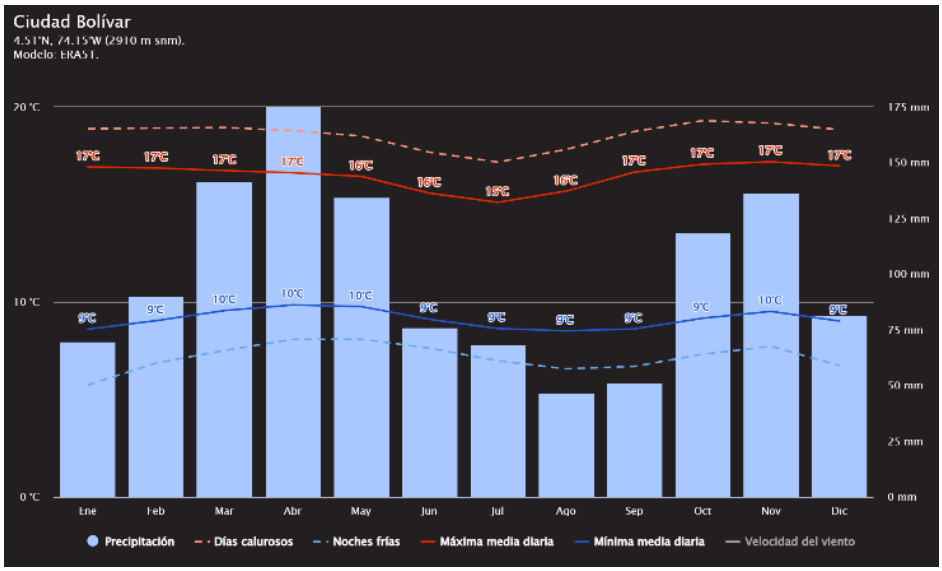


Figura 167. Condiciones climáticas promedio de Ciudad Bolívar

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.

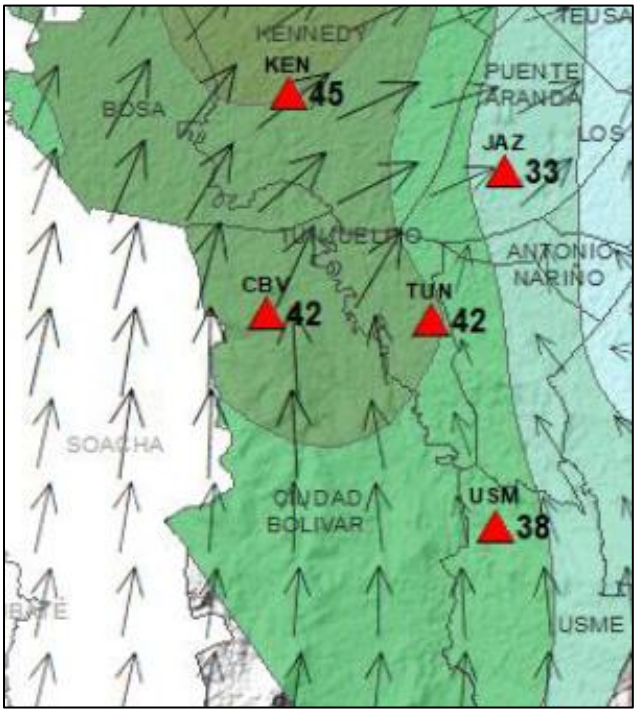


Figura 168. Concentración PM10

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.

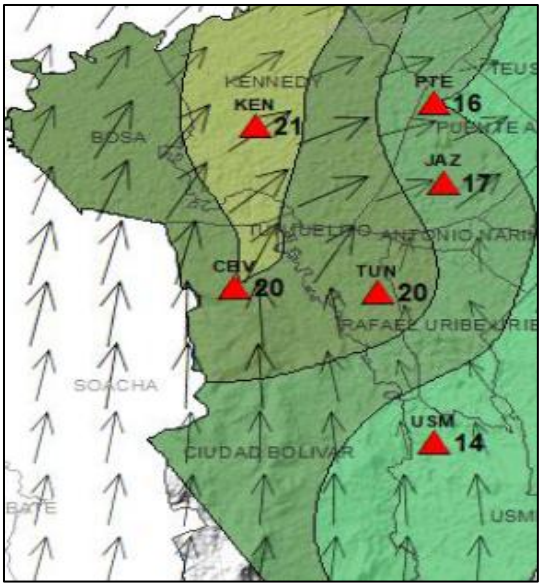


Figura 169. Concentración PM2.5

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.

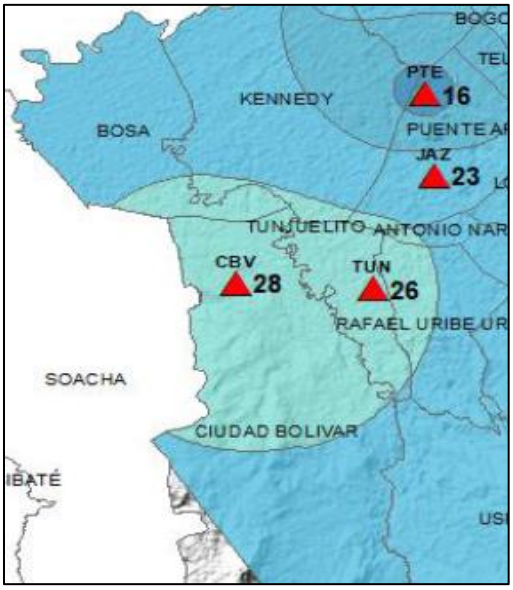


Figura 170. Concentración O3

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.

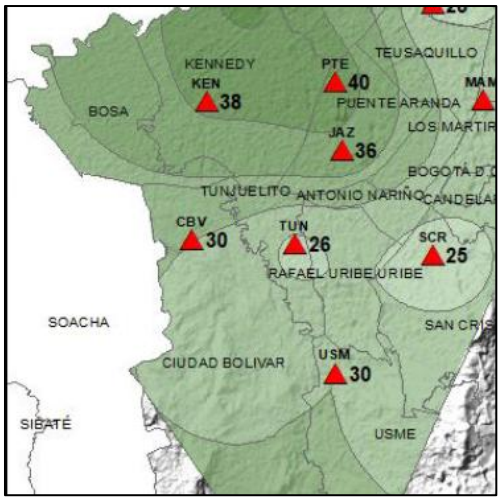


Figura 171. Concentración NO2

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.

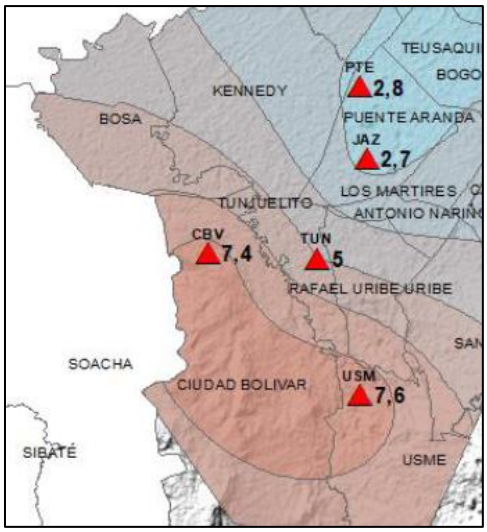


Figura 172. Concentración SO2

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.

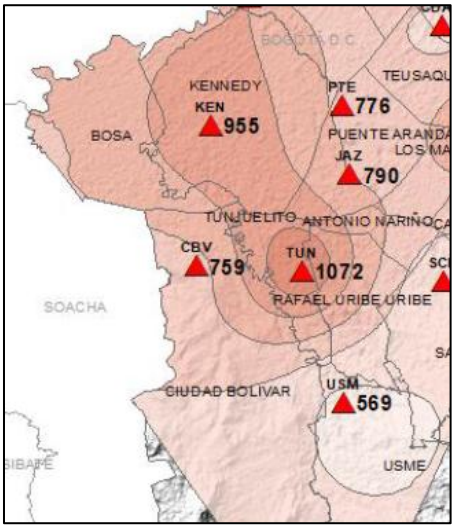


Figura 173. Concentración CO

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

8.6.1.2 Cuenca hidrográfica

El polígono de Arborizadora Alta 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.

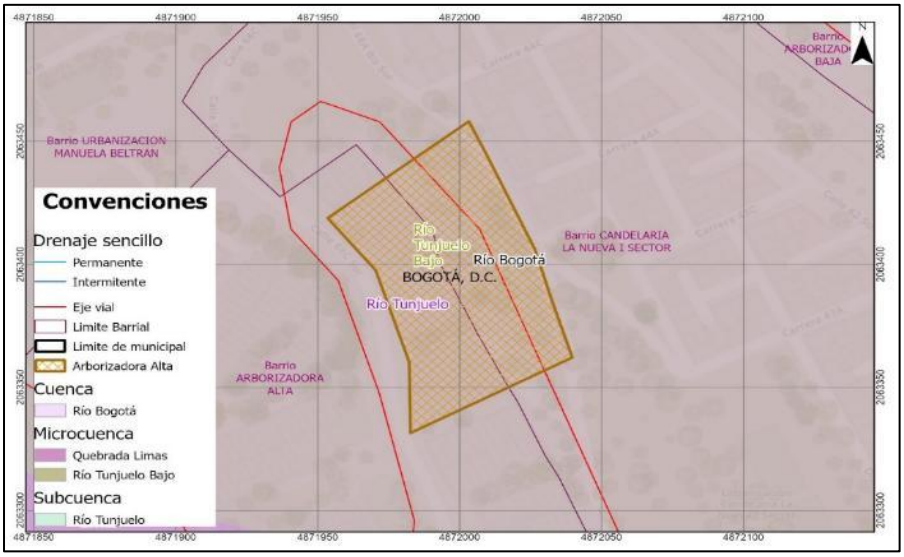


Figura 174. Cuenca Hidrográfica
Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

- Hidrogeología
    - Condiciones Hidrogeologías

En el área de estudio predominan las rocas de la Formación Guaduas, Conjunto Medio (K2E1gm) y, en menor proporción, los depósitos antrópicos de tipo escombros (Qra). Las observaciones de campo y las investigaciones del subsuelo (BRA-1, BRA-2 y SA-1) permitieron identificar las condiciones de estos materiales a diferentes profundidades.

En superficie y hasta los 5,50 m de profundidad, se presentan niveles interestratificados de areniscas de grano fino y arcillolitas/lodolitas, en estratos delgados a medios y, en general, muy fracturados. En la parte central del sector se encuentran depósitos antrópicos de relleno, con espesores entre 2,00 m y 4,00 m. A partir de los 5,50 m y hasta los 30,50 m, la secuencia está conformada principalmente por niveles de arcillolitas/lodolitas con delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino, presentándose entre los 11,00 m y 30,50 m un alto grado de meteorización y, en general, fracturamiento.

Estas condiciones se presentan en un contexto geomorfológico caracterizado principalmente por laderas de contrapendiente, cuyos estratos rocosos buzan en sentido contrario a la pendiente de las laderas. A partir de las características de los materiales geológicos y de su disposición se establecen las unidades hidrogeológicas del área.

    - Unidades Hidrogeologías

Las unidades hidrogeológicas están determinadas principalmente por las rocas del Conjunto Medio de la Formación Guaduas (K2E1gm) y los depósitos antrópicos (Qra) presentes en la zona central.

Dentro de la secuencia rocosa, los niveles de arenisca presentan las mejores condiciones para el almacenamiento y circulación de agua subterránea, debido a su porosidad primaria moderada y a la permeabilidad incrementada por el fracturamiento. Por el contrario, los niveles de arcillolita presentan muy baja permeabilidad y elevada capacidad de retención de agua, limitando el flujo vertical del agua subterránea y generando condiciones de confinamiento sobre los niveles arenosos. Cuando estas se encuentran fracturadas, pueden transmitir pequeñas cantidades de agua, generalmente con caudales bajos.

De acuerdo con lo anterior, las areniscas constituyen los principales conductores del flujo subterráneo, mientras que las arcillolitas separan hidráulicamente los diferentes niveles acuíferos. El flujo subterráneo sigue preferentemente la dirección del buzamiento de los estratos; para el sector de Arborizadora Alta, se presentan condiciones adversas por la posición contraria del buzamiento de los estratos con respecto a la pendiente de las laderas.

8.7 EVALUACIÓN AMBIENTAL

8.7.1 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.

8.7.1.1 Identificación y análisis de los impactos Sin proyecto.

En el escenario sin proyecto, se mantendrían las condiciones actuales del área de intervención, caracterizada por un entorno urbano consolidado y altamente intervenido, con predominio de usos residenciales y presencia de pastos enmalezados. Al no ejecutarse las obras de estabilización previstas, permanecerían las condiciones actuales de inestabilidad del terreno asociadas al movimiento en masa que afecta el sector.

El principal impacto ambiental y social en este escenario corresponde a la continuidad del proceso de movimiento en masa y de las condiciones de inestabilidad del terreno, con posibilidad de mantener o incrementar las afectaciones sobre las viviendas localizadas en la parte alta del sector.

Los principales impactos identificados para el escenario sin proyecto son:

- Continuidad de las condiciones de inestabilidad del terreno y del movimiento en masa existente.
- Persistencia de la condición de riesgo para las viviendas ubicadas en la parte alta del sector.
- Posible incremento de las afectaciones sobre las viviendas y la comunidad asociada al proceso de inestabilidad.

En este escenario no se presentarían los impactos temporales asociados directamente a las actividades constructivas, como la generación de material particulado, ruido, emisiones atmosféricas o remoción

localizada de cobertura vegetal. Sin embargo, permanecería la condición actual de inestabilidad del terreno y las afectaciones asociadas al movimiento en masa que actualmente incide sobre las viviendas del sector.

8.7.1.2 Identificación y análisis de los impactos Con proyecto

8.7.1.2.1 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 142. Identificación de actividades constructivas.

ETAPA	ACTIVIDAD
Actividades previas al inicio de obra	Instalación de infraestructura temporal (campamentos, cerramientos y señalización), movilización de maquinaria y equipos, delimitación y adecuación de áreas de trabajo, definición y señalización de sitios de acopio de materiales y RCD, gestión de permisos y licencias requeridas, socialización del proyecto con la comunidad de Arborizadora y levantamiento de actas de vecindad, e implementación de medidas iniciales de manejo ambiental y de seguridad y salud en el trabajo. Activación del PGIR.
Actividades de ejecución de obra	Descapote y limpieza del área de intervención, excavación manual por tramos sucesivos para la conformación de pozos de caissons encamisado o revestimiento progresivo in situ mediante encofrados circulares y malla de refuerzo por etapa de avance, operación continua de maquinaria y equipos (winches, mezcladoras, plantas), manejo, transporte y disposición de material sobrante de excavación (RCD), segregación y gestión de residuos sólidos bajo el PGIR, control de emisiones de polvo, ruido y escorrentías. Ejecución de estructuras Colocación de armadura estructural, vaciado del concreto del fuste de los caissons, y construcción de viga cabezal de concreto reforzado sobre los caissons. Ejecución de redes hidrosanitarias Conformación y vaciado de cunetas superficiales sobre la viga cabezal para el manejo y control de aguas de escorrentía.
Actividades de cierre	Desmantelamiento de infraestructura temporal, retiro de maquinaria y equipos, limpieza final del área intervenida, disposición final de residuos generados, restauración y adecuación paisajística de las zonas afectadas, verificación del cumplimiento de las medidas ambientales, actividades de cierre social y entrega del proyecto a la comunidad y/o entidad competente.

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

8.7.1.2.2 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 143 Identificación de posibles impactos

IMPACTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN
Alteraciones en las propiedades del suelo	Cambios que reducen su calidad para apoyar la vida vegetal y la actividad humana
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
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.

8.7.1.2.3 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.

8.7.1.2.4 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 144 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

Categoría Ambiental	Calificación	Descripción
	Reversible (1):	Son aquellos impactos que vuelven a auto recuperase una vez finalice la actividad que lo genera
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

8.7.1.2.5 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 145 Rangos

TIPO DE IMPACTO	RANGO
POSITIVO	COLOR VERDE
IRRELEVANTE	IMPACTO <=7
MODERADO	8>=IMPACTO<=10
SIGNIFICATIVO	IMPACTO>=11

Fuente: Consorcio Preservar, 2026.

8.7.1.2.6 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 146**), en la cual se identifican y clasifican los impactos de acuerdo con su valoración.

Tabla 146 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)	Descapote y remoción de la capa orgánica	Alteraciones en las propiedades del suelo	Negativo	1	1	3	1	1	7
	Emisión de ruido por maquinaria y equipos	Contaminación del aire por ruido	Negativo	1	1	3	1	1	7
EXCAVACIÓN MANUAL DE CAISSONS	Emisión de gases y/o material particulado	Contaminación del aire por partículas y gases	Negativo	1	1	3	2	1	8
	Perforación y excavación profunda por tramos	Desestabilización de taludes o hundimiento del terreno	Negativo	1	1	3	1	1	7
	Extracción de grandes volúmenes de suelo excavado (RCD)	Contaminación del suelo	Negativo	1	1	3	1	1	7
	Arrastre de sedimentos por agua de escorrentía en el frente	Alteración de la calidad del agua	Negativo	1	1	1	1	1	5
	Emisión de ruido por winches, compresores y herramientas	Contaminación del aire por ruido	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)
CONSTRUCCIÓN DE ENCAMISADO Y ESTRUCTURAS	Polvo generado en la manipulación y vertido de cemento/agregados	Contaminación del aire por partículas y polvo	Negativo	1	1	3	1	1	7
	Potencial goteo o vertimiento accidental de químicos o lubricantes	Contaminación del suelo por derrame de combustibles	Negativo	1	1	1	1	1	5
	Riesgo de desprendimiento puntual en el foso durante vaciado	Desestabilización de taludes o hundimiento del terreno	Negativo	1	1	3	1	1	7
	Generación de sobrantes de concreto y mortero	Contaminación del suelo	Negativo	1	1	3	1	1	7
	Vertimiento de aguas de lavado de mixers o fango de perforación	Alteración de la calidad del agua	Negativo	1	1	3	1	1	7
	Intervención temporal de la vegetación periférica en el talud	Deterioro de la cobertura vegetal	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)
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
OBRAS HIDROSANITARIAS Y DE DRENAJE	Generación de residuos peligrosos (envases, trapos contaminados)	Contaminación del suelo	Negativo	1	1	3	1	1	7
	Generación de sobrantes de perfilado de cunetas (RCD)	Contaminación del suelo	Negativo	1	1	3	1	1	7
	Excavación y movimiento de	Alteraciones en las	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)
	tierra superficial para cunetas	propiedades del suelo							
	Excavación y descapote puntual en ladera superior	Desestabilización de taludes o hundimiento del terreno	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
	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	Emisión de ruido por funcionamiento de motores	Contaminación del aire por ruido	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)
COMPRESIÓN EN SITIO	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 INTEGRAL DE RCD (PGIR)	Acopio, cargue y transporte de escombros de excavaciones	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)
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									7,13

Fuente: Consorcio Preservar, 2026

De los 39 impactos identificados, 30 se clasifican como irrelevantes, de los cuales 2 corresponden a impactos positivos. Los 9 impactos restantes se clasifican como moderados, de acuerdo con los rangos de valoración establecidos en la Tabla *146*. En términos generales, la evaluación presenta un promedio de calificación de 7,13, lo que refleja una predominancia de impactos de baja importancia dentro del escenario con proyecto.

8.8 DEMANDA DE RECURSOS NATURALES

8.8.1 RECURSO AGUA

8.8.1.1 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).

8.8.1.2 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 proveedor autorizado.

8.8.1.3 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.

8.8.2 RECURSO SUELO

8.8.2.1 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**.

8.8.2.2 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.

8.8.2.2.1 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.

8.8.2.3 Recurso aire

No se requiere permiso de emisiones atmosféricas, debido a que los materiales serán obtenidos de proveedores autorizados.

8.9 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.								

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	Código: CA

- 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.

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

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	**Código: CA**

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.
- 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.

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	**Código: CA**

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.
- 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.

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	Código: CA

- 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.

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	Código: CA

- Garantizar el cumplimiento de las obligaciones ambientales asociadas al componente fauna establecidas para la ejecución de la obra.

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:

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	Código: CA

- **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.

- **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:

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	**Código: CA**

- 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**

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

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST	**Código: CA**
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%	$\frac{N°de\ persona\ del\ equipo\ de\ gestion\ ambiental\ y\ SST\ activo\ en\ el\ mes}{N°\ de\ personas\ requeridas\ para\ el\ equipo\ de\ gestion\ ambiental\ y\ SST} * 100\%$	Mensual
Actualización de la normativa aplicable	Actualizar el marco normativo conforme a las normas	100%	$\frac{N°\ de\ normas\ actualizadas\ para\ el\ proyecto}{N°\ de\ normas\ nuevas\ actualizadas\ emitidas\ por\ entidades} * 100\%$	Mensual

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST				**Código: CA**
	emitidas en el mes y que apliquen en el proyecto			
Elaboración de informes ambientales	Elaboración y radicación oportuna de los informes mensuales ambientales y SST	100%	$\frac{N°\ de\ informes\ ambientales\ y\ sst\ presentados}{N°\ total\ de\ informes\ contractuales} * 100\%$	Mensual
Cumplimiento del plan de capacitaciones	Revisión en el cumplimiento de las capacitaciones programadas	>90%	$\frac{N°\ de\ capacitaciones\ realizadas}{N°\ de\ capacitaciones\ programadas} * 100\%$	Mensual
Cobertura del personal capacitado	Evidenciar la asistencia y participación del personal	>90%	$\frac{N°\ de\ personas\ capacitadas}{N°\ de\ personas\ vinculadas} * 100\%$	Mensual

COMPONENTE A – CUMPLIMIENTO A OBLIGACIONES AMBIENTALES Y SST				**Código: CA**
	vinculado al contrato			

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	Ene-27	Feb-27	Mar-27	Abr-27	May-27	Jun-27	Jul-27	Ago-27	Sep-27	Oct-27	Nov-27
Conformación equipo de gestión ambiental y SST	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Actualización de la normativa aplicable	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Elaboración de informes ambientales		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cumplimiento del plan de capacitaciones		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cobertura del personal capacitado		X	X	X	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:

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

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO	**Código: CB1**

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.

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.

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO	Código: CB1

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.

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

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO	**Código: CB1**

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	100%	$\frac{N° \text{ de campamentos instalados en el mes}}{N° \text{ de campamentos requeridos en el mes}} * 100\%$	Mensual

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO				**Código: CB1**
	necesidades del proyecto			
Unidades sanitarias	Identificar la cantidad de unidades sanitarias	100%	$\frac{N° \ unidades \ sanitarias \ activas \ en \ el \ mes}{N° \ unidades \ sanitarias \ tequeridas \ en \ el \ me} * 100\%$	Mensual
Puntos ecológicos	Identificar la cantidad de puntos ecológicos instalados conforme a las necesidades del proyecto	100%	$\frac{N° \ de \ puntos \ ecologicos \ activos \ en \ el \ mes}{N° \ de \ puntos \ ecologicos \ requeridos \ en \ el \ m} * 100\%$	Mensual
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%	$\frac{N° \ de \ campamentos \ o \ oficinas \ fijas \ y \ temporales \ desmantelados}{N° \ de \ campamentos \ o \ oficinas \ fijas \ y \ temporales \ desmantelados} * 100\ \%$	Una vez se realice desmantelamiento de campamentos o oficinas y puntos de acopio
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN				

COMPONENTE B1 – MANEJO AMBIENTAL DE CAMPAMENTOS FIJOS Y/O TEMPORALES Y CENTRO DE ACOPIO	**Código: CB1**

Actividad	**Ene -27**	**Feb -27**	**Mar-27**	**Abr-27**	**May-27**	**Jun-27**	**Jul-27**	**Ago-27**	**Sep-27**	**Oct-27**	**Nov-27**
Campamento / Oficina	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Unidades sanitarias	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Puntos ecológicos	X	X	X	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.

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

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	**Código: CB2**

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

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	**Código: CB2**

ARCILLAS DE COLOMBIA SA	Ladrillo y Productos de Arcilla	139
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

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	**Código: CB2**

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
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.

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	**Código: CB2**

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.
- 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.

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	**Código: CB2**

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.

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Código: CB2

Inspecciones

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.

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	**Código: CB2**

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

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 %	$\frac{Volumen\ de\ material\ certificado\ en\ el\ mes}{Volumen\ de\ material\ utilizado\ en\ el\ mes} * 100\%$	Mensual
Proveedores de materiales vigentes	Verificar que los proveedores que suministraron materiales en el mes cuenten con los permisos minero-ambientales vigentes	100%	$\frac{Proveedores\ de\ materiales\ con\ permisos\ vigentes\ en\ el\ mes}{Proveedores\ que\ suministraron\ materiales\ en\ el\ mes} * 100\%$	Mensual

COMPONENTE B2 – MANEJO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				**Código: CB2**
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%	$\frac{N° \text{ de acopios de RCD en óptimas condiciones en el mes}}{N° \text{ de acopios activos en el mes}} * 100\%$	Mensual
Manejo ambiental en los sitios de almacenamiento de materiales	Sitios de almacenamiento de materiales de construcción con medidas ambientales adecuadas.	100%	$\frac{N° \text{ de sitios de almacenamiento de materiales con medidas de manejo ambiental implementadas}}{N° \text{ de sitios de almacenamiento de materiales totales}} * 100\%$	Mensual

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	Ene-27	Feb-27	Mar-27	Abr-27	May-27	Jun-27	Jul-27	Ago-27	Sep-27	Oct-27	Nov-27
Volumen de material utilizado en obra	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Proveedores de materiales vigentes	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificación de condiciones óptimas de los puntos de acopio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Manejo ambiental en los sitios de almacenamiento de materiales	X	X	X	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.

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS	Código: CB3

- **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.

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.

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS	**Código: CB3**

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

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

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS	**Código: CB3**

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.

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS	**Código: CB3**
	• Control de materiales. • Control de residuos de construcción y demolición – RCD. • 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%	$\frac{N° \text{ de puntos ecologicos activos en el mes}}{N° \text{ de puntos ecologicos requeridos en el mes}} * 100\%$	Mensual
Manejo de RCDs	Verificar el volumen de RCDs generados Vs cantidad reportada en las	100%	$\frac{Volumen \text{ de RCDs certificados en el mes}}{Volumen \text{ de RCDs generados en el mes}} * 100\%$	Mensual

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS			**Código: CB3**	
	certificaciones			
Manejo de RESPEL	Verificar el volumen de RESPEL generado en el trimestre Vs volumen de RESPEL certificado	100%	$\frac{Volumen\ de\ RESPEL\ certificado\ en\ el\ trimestre}{Volumen\ de\ RESPEL\ generados\ en\ el\ trimestre} * 100\%$	Trimestral
Manejo de residuos reciclables	Verificar el volumen de reciclaje generados en el trimestre Vs volumen de reciclaje reportado en las certificaciones	100%	$\frac{Volumen\ de\ residuos\ reciclables\ certificados}{Volumen\ de\ residuos\ reciclables\ generados} * 100\%$	Trimestral
Quejas y reclamos de la comunidad	Presentar 0 quejas por manejo inadecuado de residuos solidos	>90%	$Quejas\ y\ reclamos\ de\ la\ comunidad$ Por manejo inadecuado de residuos sólidos $= 0$	Mensual

COMPONENTE B3 – MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS	**Código: CB3**

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	Ene-27	Feb-27	Mar-27	Abr-27	May-27	Jun-27	Jul-27	Ago-27	Sep-27	Oct-27	Nov-27
Puntos ecológicos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Manejo de RCDs	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Manejo de RESPEL			x			x			x		x
Manejo de residuos reciclables			x			x			x		x
Quejas y reclamos de la comunidad	x	x	x	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

COMPONENTE B4 – CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	**Código: CB4**

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

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**

COMPONENTE B4 – CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	**Código: CB4**
	• 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%	$\frac{N°\ de\ humectaciones\ realizadas\ en\ el\ m}{N°\ de\ humectaciones\ requeridas\ en\ el\ m} * 100$	Mensual
Verificación volquetas carpadas	Verificar que las volquetas que transportan	100%	$\frac{N°\ vehiculos\ carpados}{N°\ de\ vehiculos\ utilizados} * 100\%$	Mensual

COMPONENTE B4 – CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS				**Código: CB4**
	materiales RCD estén debidamente carpadas			
Seguimiento de la humectación	Realizar las humectaciones requeridas a materiales y RCD en obra	>90%	$\frac{N° \ de \ humectaciones \ realizadas \ en \ el \ m}{N° \ de \ humectaciones \ requeridas \ en \ el \ m} * 100$	Mensual
Verificación volquetas carpadas	Verificar que las volquetas que transportan materiales RCD estén debidamente carpadas	100%	$\frac{N° \ vehiculos \ carpados}{N° \ de \ vehiculos \ utilizados} * 100\%$	Mensual

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	Ene-27	Feb-27	Mar-27	Abr-27	May-27	Jun-27	Jul-27	Ago-27	Sep-27	Oct-27	Nov-27
Quejas y reclamos por parte de la comunidad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Quejas y reclamos por parte de la comunidad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Seguimiento de la humectación	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Verificación volquetas carpadas	x	x	x	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. La ubicación espacial de estos elementos puede consultarse en el Anexo 3 Topografía Arborizadora. 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									

COMPONENTE B5 – MANEJO INTEGRAL DE CUERPOS DE AGUA Y SUMIDEROS	Código: CB5

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

COMPONENTE B5 – MANEJO INTEGRAL DE CUERPOS DE AGUA Y SUMIDEROS	**Código: CB5**

INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Nombre	Descripción	Meta	Formula	Periodicidad
Limpieza de sumideros	Realizar seguimiento a los sumideros que requieren ser limpiados en el mes	100%	$\frac{N° \ de \ sumideros \ limpios \ en \ el \ mes}{N° \ de \ sumideros \ que \ requieren \ limpieza \ en \ el \ mes} * 100\%$	Mensual
Protección de sumideros	Realizar verificación y protección a sumideros intervenidos en el mes	100%	$\frac{N° \ de \ sumideros \ protegidos \ en \ el \ mes}{N° \ de \ simideros \ que \ requieren \ proteccion \ en \ el \ mes} * 100\%$	Mensual
Derrames accidentales	Atención a los derrames presentados en el mes	100%	$\frac{N° \ de \ derrames \ atendidos \ en \ le \ mes}{N° \ de \ derrames \ presentados \ en \ el \ mes} * 100\%$	Mensual

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Actividad	Ene-27	Feb-27	Mar-27	Abr-27	May-27	Jun-27	Jul-27	Ago-27	Sep-27	Oct-27	Nov-27
Limpieza de sumideros	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Protección de sumideros	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Derrames accidentales	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

COMPONENTE C1 – MANEJO DE LA VEGETACIÓN									**Código: CC1**
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.
- 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.

COMPONENTE C1 – MANEJO DE LA VEGETACIÓN	Código: CC1

- 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.

COMPONENTE C1 – MANEJO DE LA VEGETACIÓN	**Código: CC1**
• 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**
• 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	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

COMPONENTE C1 – MANEJO DE LA VEGETACIÓN				**Código: CC1**
	cuenten con el permiso respectivo			
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.

COMPONENTE B6 – MANEJO DE VEHÍCULOS, MAQUINARIA Y EQUIPOS	**Código: CB6**

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. • 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

COMPONENTE B6 – MANEJO DE VEHÍCULOS, MAQUINARIA Y EQUIPOS				**Código: CB6**
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	Sep-27	Oct-27	Nov-27
Inspección Preoperacional de Maquinaria	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cumplimiento Certificaciones de Gases	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Atención de Derrames Accidentales	X	X	X	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.

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.

COMPONENTE B7 – MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS EN OBRA	**Código: CB7**

- 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
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.

COMPONENTE B7 – MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS EN OBRA	**Código: CB7**

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	Sep-27	Oct-27	Nov-27
Mantenimiento de Baños Portátiles	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Certificación de Residuos Líquidos Peligroso	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

8.10 CONCLUSIONES

- En términos generales, la evaluación ambiental del escenario con proyecto evidencia una predominancia de impactos irrelevantes, con 30 de los 39 impactos identificados en esta categoría, incluyendo 2 impactos de carácter positivo. Los 9 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 las viviendas ubicadas en la parte alta 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 viviendas 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.

9 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

G_VULNERABILIDAD y RIESGO

- G.1 Formatos de levantamiento en campo
- G.2 Matriz Evaluación

J_DISEÑO ESTRUCTURAL

- J.1 Memorias

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

10 PLANOS

A-1. Plano Topog Arborizadora
A-2. Perfiles Topog Arborizadora
B-1. Mapa Geológico Arborizadora
B-2. Perfiles Geológicos Arborizadora
B-3. Mapa Geomorlógico Arborizadora
C-1.Mapa de Cobertura del Suelo Arborizadora
C-2. USO DEI SUELO
D-1.Mapa de Clima_Arborizadora
E-1.Loc Explor Geot Arborizadora
E-2. Mapa Zonif Geotec Detalle Arborizadora
F-1. Mapa Amenaza Actual Arborizadora
F-2. Mapa Amenaza Futuro Arborizadora
G-1. Elementos expuestos Arborizadora
G-2.Vulnerabilidad Actual Arborizadora
G-3.Vulnerabilidad Futura Arborizadora
H-1.Riesgo Actual Arborizadora
H-2.Riesgo Futuro Arborizadora
I-1-E-PP-ARBORIZADORA
I-2.1-E-DE-CAISSONS MOD T1 Y T2
I-2.2-E-DE-CAISSONS MOD T3
I-3. Obras Hidráulicas
J-1. Loc Instrumen Geotéc Arborizadora
K-1. Mapa Zonif Amenaza con Obra Arborizadora

K-2.Zonif Vulnerabilidad Física con Obras
K-3. Zonif de Riesgo por MM con Obras
L-1.Inventario Forestal Arborizadora Alta