

# INFORME TÉCNICO

**Estudio y diseño de medidas de  
reducción de riesgos por movimientos  
en masa en el sector Jerusalén canteras**

21/10/2022

Versión 5



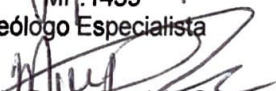






ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.

INSTITUTO DISTRITAL DE  
GESTIÓN DE RIESGOS  
Y CAMBIO CLIMÁTICO



Control de Cambios		
Versión	Fecha	Descripción de la Modificación
0	25/04/2022	Versión inicial del documento ajustada al formato de la entidad
1	29/04/2022	Compilación de los productos
2	02/05/2022	Ajustes a observaciones de la interventoría
3	03/05/2022	Ajustes a observaciones de la interventoría
4	17/06/2022	Ajustes a las observaciones solicitadas por las entidades distritales para la aprobación de trámites
5	12/10/2022	Versión ajustada de acuerdo con las aprobaciones de Jardín Botánico de Bogotá y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

Elaboró	Revisó	Aprobó
<p>            Ing. Julio Cesar Torres Camargo            MP.68202-154199 STD            Especialista en geotecnia</p> <p>            Geo. Hector Hernandez Osses            MP.1459            Geólogo Especialista</p> <p>            Ing. Maria Paula Aparicio Garzon            MP. 68202-289525 STD            Especialista en geotecnia ambiental</p> <p>Jonathan Guerrero            Ing. Jhonathan Steve Guerrero Ferreira            MP. 68202-386772 STD            Ingeniero Auxiliar</p> <p>TORRES ING S.A.S            NIT. 900335343 -4</p>	<p>            Ing. José Rubén Torres Camargo            MP-68202-104152 STD            Director de la Consultoría</p>	<p>            Geo. Carlos Humberto Del Real            -Estrada            MP.3573            Geólogo Especialista</p> <p>            Ing. Miguel Angel Camargo Jaime            MP-68202097608 STD            Geotecnista Interventoría</p> <p>            Ing. Carlos Andrés Baez Baez            MP-15202147445BYC            Director de Interventoría</p> <p>CONSORCIO GA 2020</p>

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
1. INTRODUCCIÓN .....	18
2. GENERALIDADES .....	19
2.1 OBJETIVOS .....	19
2.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
2.2 ALCANCE.....	20
2.3 RESPONSABLE.....	20
2.4 DEFINICIONES.....	21
2.5 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	24
3. METODOLOGÍA.....	28
3.1 METODOLOGÍA ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS .....	28
3.2 METODOLOGÍA ESTUDIOS GEOLÓGICOS.....	29
3.3 METODOLOGÍA ESTUDIO Y DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO .....	32
3.3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	32
3.3.2 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	33
3.3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO .....	33
3.3.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	33
3.3.5 DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES CONDICIONANTES:.....	34
3.3.6 DETERMINACIÓN DE FACTORES DETONANTES:.....	34
3.3.7 EVALUACIÓN DE FACTORES DE SEGURIDAD Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN .....	34
4. ANÁLISIS DEL CONTEXTO .....	35
4.1 ANTECEDENTES .....	35
4.1.1 ESTUDIO JERUSALÉN, SECTOR CANTERAS FASE II (INGEOMINAS, 1995) .....	36

4.1.2 ESTUDIOS Y DISEÑOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES, CONTROL DE EROSIÓN Y MANEJO DE AGUAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE DIFERENTES SITIOS DE CIUDAD BOLÍVAR, SANTA FÉ DE BOGOTÁ - INFORME FINAL SITIO 1.3: BARRIO JERUSALÉN - SECTOR CANTERAS Y NUEVA ARGENTINA (INGETEC S.A, 1998). .....	37
4.1.1 CONCEPTO TÉCNICO NO. 3744 DEL 14 DE JUNIO DE 2002 REALIZADO POR LUIS JAIRO PÉREZ GEÓLOGO ANALISTA DE RIESGOS DE LA DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DPAE .....	38
4.1.3 DIAGNÓSTICO TÉCNICO NO. 1666 DEL 16 DE SEPTIEMBRE DE 2002 REALIZADO POR JOSÉ VICENTE AMÓRTEGUI GIL DIRECTOR DE DIVISIÓN DE GEOTECNIA DE LA DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DPAE.....	38
4.1.4 DIAGNÓSTICO TÉCNICO 1998 DEL 22 DE ABRIL DE 2004 REALIZADO POR CARLOS EDUARDO MOTTA TIERRADENTRO DE LA DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DPAE. ....	39
4.1.5 ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN, PROTECCIÓN Y CONTROL RECOMENDADAS PARA EL ESCARPE ADYACENTE AL CED-PLAN CANTERAS, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C. 2004 MGL LTDA. ....	39
4.1.6 DIAGNÓSTICO TÉCNICO 3043 DEL 20 DE NOVIEMBRE DE 2006 REALIZADO POR ALFONSO LAZO BELTRÁN DE LA DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DPAE.	40
4.1.7 DIAGNÓSTICO TÉCNICO 3146 DEL 23 DE MARZO DE 2007 REALIZADO POR ELKIN FABIÁN ULLOA CASTELLANOS DE LA DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DPAE.	40
4.1.8 DISEÑOS DETALLADOS, PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, DE LAS OBRAS DE MANTENIMIENTO PARA PROTEGER LA PARTE SUPERIOR DEL TALUD DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIEGO CONSTRUIDAS POR EL FOPAE, EN EL CED JERUSALÉN PLAN CANTERAS, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR EN BOGOTÁ D.C (GEORIEGOS, 2007)	41
4.1.9 DIAGNÓSTICO TÉCNICO 3866 DEL 30 DE JUNIO DE 2008 REALIZADO POR JUAN SEBASTIÁN MAHECHA ÁVILA DE LA DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DPAE.	41
4.1.10 DIAGNÓSTICO TÉCNICO 4138 DEL 12 DE MAYO DE 2009 REALIZADO POR MARCO ANTONIO AMAYA DE LA DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DPAE. ....	41
4.1.11 PROYECTO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD EN BARRIO JERUSALÉN BOGOTÁ .....	42
4.1.12 REVISIÓN DE NOTICIAS Y RECORTES DE PRENSA .....	42

4.1.13	ANÁLISIS CARTOGRÁFICO Y PREDIAL .....	43
4.1.14	DETERMINANTES URBANAS E INFRAESTRUCTURA .....	49
4.1.15	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS .....	51
4.2	ESTUDIOS BÁSICOS .....	53
4.2.1	GEOLOGÍA.....	53
4.2.2	GEOMORFOLOGÍA .....	73
4.2.3	COBERTURA Y USOS DEL SUELO .....	86
4.2.4	HIDROLOGÍA Y EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL.....	88
4.2.5	SISMICIDAD.....	99
4.2.6	HIDROGEOLOGÍA .....	109
5.	DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO .....	112
5.1	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	112
5.1.1	LOCALIZACIÓN EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA .....	112
5.1.2	RESULTADOS EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA DIRECTA .....	132
5.1.3	RESULTADOS CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS SUELOS .....	141
5.1.4	RESULTADOS EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA INDIRECTA.....	146
5.2	DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA .....	161
5.2.1	UGI DE SUELOS.....	163
5.2.2	UGI DE ROCA.....	165
5.3	DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO.....	169
5.4	FACTORES DETONANTES .....	171
5.4.1	DETONANTE SÍSMICO .....	171
5.4.2	DETONANTE DE LLUVIA .....	174
5.5	DETERMINACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO .....	174
5.6	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	181
5.6.1	PERFIL 1 .....	182
5.6.2	PERFIL 2 .....	185
5.6.3	PERFIL 3 .....	188

5.6.4	PERFIL 4 .....	191
5.6.5	PERFIL 5 .....	194
6.	FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	198
6.1	OBRAS HIDRÁULICAS PROYECTADAS: .....	199
6.2	OBRAS ADICIONALES:.....	199
6.3	OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL TALUD EXPUESTO: .....	200
6.3.1	ALTERNATIVA 1. PROTECCIÓN DEL TALUD EXPUESTO MEDIANTE BIOMANTO CON MALLA DE TRIPLE TORSIÓN Y PERNOS – CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ELEMENTOS EXISTENTES EN EL PIE DEL TALUD.....	200
6.3.2	ALTERNATIVA 2. CONSTRUCCIÓN DE MURO PATERO Y PROTECCIÓN DE CAÍDOS, EN PILOTES CON VOLADIZO EN CONCRETO Y CONSTRUCCIÓN DE ANCLAJES ACTIVOS CON DADOS, RECUBRIMIENTO DEL TALUD EN CONCRETO LANZADO. ....	202
6.3.3	ALTERNATIVA 3. CONSTRUCCIÓN DE MURO PATERO Y PROTECCIÓN DE CAÍDOS, CONSTRUCCIÓN DE ANCLAJES PASIVOS TIPO BULONES CON RECUBRIMIENTO EN CONCRETO LANZADO.....	203
6.3.4	ALTERNATIVA 4. CONSTRUCCIÓN DE MURO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO .....	205
6.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS PROPUESTAS .....	206
6.4.1	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ALTERNATIVA 1 .....	207
6.4.2	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ALTERNATIVA 2 .....	222
6.4.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ALTERNATIVA 3 .....	238
6.4.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ALTERNATIVA 4 .....	245
6.5	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....	263
7.	DISEÑO DE OBRAS .....	3
7.1	OBRAS HIDRÁULICAS PROYECTADAS: .....	3
7.1.1	PLANOS DE OBRAS DETALLADAS:.....	6
7.1.2	DISEÑO GEOTÉCNICO:.....	6
7.1.3	DISEÑO HIDRÁULICO:.....	6
7.1.4	DISEÑO ESTRUCTURAL: .....	6
7.1.5	DISEÑO URBANÍSTICO .....	7

7.1.6	INVENTARIO FORESTAL:.....	9
7.1.7	ESTUDIO PREDIAL: .....	9
7.1.8	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL:.....	11
7.1.9	PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN DE OBRA:.....	11
7.1.10	PLAN DE GESTIÓN SOCIAL .....	14
7.1.11	PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO PARA LA EJECUCIÓN DE OBRA .....	14
7.1.1	TRAMITES ANTE LAS ENTIDADES DISTRITALES .....	15
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	16
9.	BIBLIOGRAFÍAS .....	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Localización general del Barrio Jerusalén, Localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C .....	24
Figura 2	Localización de la zona de estudio- Barrio Jerusalén Sector Canteras. ....	26
Figura 3	Polígono de estudio detallado-Coordenadas MAGNA CIUDAD BOGOTÁ .....	27
Figura 4	Polígono de estudio detallado-Coordenadas MAGNA CIUDAD BOGOTÁ .....	37
Figura 5	Información cartográfica y de manzanas y predios en el área en estudio.....	44
Figura 6	Información cartográfica y de manzanas y predios en el área en estudio.....	45
Figura 7	Información cartográfica y de manzanas y predios en el área en estudio.....	46
Figura 8	Información cartográfica y de manzanas y predios en el área en estudio.....	46
Figura 9	Información cartográfica y de manzanas y predios en el área en estudio.....	47
Figura 10	Delimitación predial del área en estudio .....	47
Figura 11	Áreas inmersas en vías.....	48
Figura 12	Áreas sin identificar.....	48
Figura 13	Delimitación del desarrollo urbanístico.....	49
Figura 14	Inventario e intervenciones Urbanísticas IDU .....	50
Figura 15	Reserva Vial (No se identifica afectación).....	51
Figura 16	Redes de acueducto y alcantarillado en el área del proyecto.....	51
Figura 17	Detalle de la localización de la red sanitaria 36” .....	52
Figura 18	Recorte de la plancha 246-Fusagasugá.....	54
Figura 19	Formación Guaduas, conjunto medio.....	55
Figura 20	Mapa de Unidades Geológicas presentadas en el distrito Capital área urbana y sub-urbana, en el polígono en estudio .....	56
Figura 21	Afloramiento 1-Formación Guaduas conjunto medio. Coordenadas 90768,491 mE, 97958,535 mN .....	57
Figura 22	Niveles centimétricos de roca arcillolita en forma de lentes intercalando la secuencia de arenisca .....	58
Figura 23	Levantamiento columna estratigráfica afloramiento 1 .....	59
Figura 24	Afloramiento 2-Formación Guaduas Conjunto medio. (A) Niveles de arenisca de baja compacidad y muy fracturados (B) Fragmentos de roca arcillolítica formando el depósito coluvial en la base del talud. Coordenadas 90761,811 mE 97937,087 mN.....	60
Figura 25	Levantamiento columna estratigráfica afloramiento 2 .....	61



Figura 26 Afloramiento 3-Formación Guaduas Conjunto medio. (A) Arenisca cuarzosa de grano fino a muy fino (B) Arenisca cuarzosa de grano medio. Coordenadas 90750,873 mE , 97876,772 mN .....	62
Figura 27 Levantamiento columna estratigráfica afloramiento 3 .....	63
Figura 28 Punto de control 1-Formación Guaduas Conjunto medio (A) Arenisca cuarzosa de grano medio (B) Niveles centimétricos de arcillolitas (C) Depósitos coluviales por caída de rocas. Coordenadas 90764,887 mE 97987,866 mN .....	64
Figura 29 Punto de control 2-Formación Guaduas Conjunto medio. Talud intervenido con otras geotécnicas de estabilización y otras obras hidráulicas (A) Niveles de arenisca de grano medio meteorizados y con aureolas de oxidación (B) Saprolitos de los niveles de areniscas. Coordenadas 90745,625 mE 97845,25 mN .....	64
Figura 30 Mapa geológico local del área de estudio .....	65
Figura 31 Zona de falla de carácter local afectando a las litologías de la Formación Guaduas. (A) Niveles de arenisca fracturados y meteorizados. (B) Estrías de falla en fragmentos de roca arenisca transportados y depositados en la base del talud (C) Estratificación discontinua con acúñamiento de capas de arcillolita. Coordenadas 90747 E 97900 N.....	66
Figura 32 Proyección estereográfica del plano de estratificación para el análisis del macizo rocoso en el afloramiento N°3.....	69
Figura 33 Proyección estereográfica de los planos de discontinuidades para el análisis del macizo rocoso en el afloramiento N°3.....	69
Figura 34 Proyección estereográfica general para el afloramiento N°3.....	70
Figura 35 Recorte de la plancha de geomorfología regional aplicada a movimientos en masa 246-Fusagasugá.....	74
Figura 36 Talud de corte muy escarpado activo y cono de talus .....	76
Figura 37 Talud de corte muy abrupto y escarpado con obra de mitigación existente.....	77
<b>Figura 38</b> Geoforma de explanación antrópica.....	77
Figura 39 Mapa de elementos geomorfológicos del área de estudio.....	78
Figura 40 Mapa de pendientes del área de estudio.....	79
Figura 41 Movimiento en masa N°1 tipo caída de tierra y detritos.....	81
Figura 42 Movimiento en masa N°2 tipo caída de rocas .....	82
Figura 43 Movimiento en masa N°3 tipo caída de tierra y detritos.....	83
Figura 44 Movimiento en masa N°4 tipo caída de tierra y detritos.....	84
Figura 45 Movimiento en masa N°5 tipo caída de roca .....	85

Figura 46	Mapa de morfodinámica sector Jerusalén-Canteras .....	85
Figura 47	Cobertura residencial en el sector Jerusalén-Cantera.....	86
Figura 48	Arbustal denso (A), tierras desnudas y degradadas (B), herbazal abierto con arbustos (C).....	87
Figura 49	Mapa de cobertura y uso actual del suelo sector Jerusalén - Canteras.....	88
Figura 50	Localización de la subzona hidrográfica, subcuencas río Bogotá, microcuenca del Río Tunjuelito .....	89
<b>Figura 51</b>	<b>Drenajes cuenca río Bogotá .....</b>	<b>89</b>
Figura 52	Localización Submicrocuenca del RíoTunjuelito Bajo .....	90
Figura 53	Polígonos de Thiessen, sitio de estudio .....	90
Figura 54	Precipitación total acumulada (mm)serie anual de la Estación San Jorge Granja. ...	91
Figura 55	Precipitación total media anual (mm) multianual de la Estación San Jorge Granja. .	92
Figura 56	Valores máximos anual de las precipitaciones en 24 horas con respecto a la serie mensual.....	92
Figura 57	Valores máximos mensuales de las precipitaciones en 24 horas (mm) con respecto a la serie anual. ....	93
Figura 58	Diagrama de caja y bigotes.....	94
Figura 59	Regiones climatológicas de Colombia.....	96
Figura 60	Curva IDF para la Estación San Jorge Granja .....	97
Figura 61	Plano obras hidráulicas y redes existentes en el área en estudio. ....	97
Figura 62	Localización de las obras hidráulicas, sector en análisis .....	98
Figura 63	Fotografía estado actual de canal escalonado .....	98
Figura 64	Estado de colmatación de la caja, sumidero y canal en la corona.....	99
Figura 65	Mapa de Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá.....	100
Figura 66	Espectro de respuesta y diseño de Zona Cerros.....	101
Figura 67	Mapa de Zonificación Geotécnica 2010 .....	102
Figura 68	Mapa zonas de respuesta sísmica a escala 1:50.000 .....	103
Figura 69	Inventario de sismos Santa Fé de Bogotá periodo 1993-2018 .....	105
Figura 70	Inventario de sismos Santa Fé de Bogotá periodo 2018-Actual .....	106
Figura 71	Zonas de amenaza sísmica .....	107
Figura 72	Regiones de amenaza sísmica con respecto a Aa .....	108
Figura 73	Hidrogeología de los acuíferos Terciarios en la subcuenca Tunjuelito, Sabana de Bogotá .....	110

Figura 74	Perforaciones de agua subterránea en Bogotá .....	111
Figura 75	Localización de la exploración geotécnica realizada. ....	113
Figura 76	Registro fotográfico Perforación 1 y 2 .....	114
Figura 77	Registro fotográfico Perforación 3 y 4 .....	114
Figura 78	Registro fotográfico Perforación 5 .....	115
Figura 79	Registro fotográfico Apique 1 .....	115
Figura 80	Registro fotográfico Apique 2 .....	116
Figura 81	Registro fotográfico Apique 3 .....	116
Figura 82	Registro fotográfico Apique 4 .....	117
Figura 83	Registro fotográfico Apique 5 .....	117
Figura 84	Registro fotográfico Apique 6 .....	118
Figura 85	Registro fotográfico Apique 7 .....	118
Figura 86	Registro fotográfico Apique 8 .....	119
Figura 87	Registro fotográfico Apique 9 .....	119
Figura 88	Registro fotográfico Apique 10 .....	120
Figura 89	Registro fotográfico Trinchera 1 .....	120
Figura 90	Registro fotográfico Trinchera 2 .....	121
Figura 91	Registro fotográfico Trinchera 3 .....	121
Figura 92	Registro fotográfico LRS 1 .....	122
Figura 93	Registro fotográfico LRS 2 .....	122
Figura 94	Registro fotográfico LRS 3 .....	123
Figura 95	Registro fotográfico Tomografía 1 .....	123
Figura 96	Registro fotográfico Tomografía 2 .....	124
Figura 97	Registro fotográfico Tomografía 3 .....	124
Figura 98	Descripción visual Apique 1, 2, 3 y 4.....	125
Figura 99	Descripción visual Apique 5, 6, 7 y 8.....	126
Figura 100	Descripción visual Apique 9 y 10 .....	127
Figura 101	Perfil estratigráfico Perf-1.....	128
Figura 102	Perfil estratigráfico Perf-2.....	129
Figura 103	Perfil estratigráfico Perf-3.....	130
Figura 104	Perfil estratigráfico Perf-4.....	131
Figura 105	Perfil estratigráfico Perf-5.....	132
Figura 106	Análisis estado del suelo Perforación 1.....	136

Figura 107	Análisis estado del suelo Perforación 2.....	137
Figura 108	Análisis resistencia a la compresión del suelo Perforación 3.....	138
Figura 109	Análisis estado del suelo Perforación 4.....	139
Figura 110	Análisis estado del suelo Perforación 5.....	140
Figura 111	Esquema básico para la sísmica de refracción .....	146
Figura 112	Refracción sísmica LRS-1.....	149
<b>Figura 113</b>	Refracción sísmica LRS-2.....	150
Figura 114	Refracción sísmica LRS-3.....	150
Figura 115	Resultados del ensayo MASW-1.....	151
<b>Figura 116</b>	Resultados del ensayo MASW-2.....	152
Figura 117	Resultados del ensayo MASW-3.....	153
Figura 118	Resultados de módulos E, G, n para MASW-1 .....	155
Figura 119	Resultados de módulos E, G, n para MASW-2 .....	156
Figura 120	Resultados de módulos E, G, n para MASW-3 .....	157
Figura 121	Resultados del ensayo de tomografía eléctrica TOM-1 .....	159
Figura 122	Resultados del ensayo de tomografía eléctrica TOM-2.....	160
Figura 123	Resultados del ensayo de tomografía eléctrica TOM-3.....	161
Figura 124	Porcentaje de ocupación UGI .....	167
Figura 125	Mapa de Unidades Geológicas para Ingeniería.....	168
Figura 126	Coefficientes sísmicos de diseño .....	172
Figura 127	Valores Coeficiente de Importancia.....	173
Figura 128	Valores de KST/a max Minimos para análisis Seudoestático de Taludes.....	173
Figura 129	Mapa de zonas homogéneas .....	175
Figura 130	Perfil 1 geológico geotécnico .....	176
Figura 131	Perfil 2 geológico geotécnico .....	176
Figura 132	Perfil 3 geológico geotécnico. ....	177
Figura 133	Perfil 4 geológico geotécnico .....	178
Figura 134	Perfil 5 geológico geotécnico .....	178
Figura 135	Modelo sin obras condiciones estáticas - Perfil 1 .....	182
Figura 136	Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas - Perfil 1 .....	183
Figura 137	Modelo sin obras condiciones saturadas-Perfil 1 .....	184
Figura 138	Modelo sin obras condiciones estáticas -Perfil 2.....	185
Figura 139	Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas - Perfil 2 .....	186

Figura 140	Modelo sin obras condiciones saturadas - Perfil 2.....	187
Figura 141	Modelo sin obras condiciones estáticas - Perfil 3 .....	188
Figura 142	Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas - Perfil 3 .....	189
Figura 143	Modelo sin obras condiciones saturadas - Perfil 3 .....	190
Figura 144	Modelo sin obras condiciones estáticas - Perfil 4 .....	191
Figura 145	Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas-Perfil 4 .....	192
Figura 146	Modelo sin obras condiciones saturadas - Perfil 4 .....	193
Figura 147	Modelo sin obras condiciones estáticas - Perfil 5 .....	194
Figura 148	Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas - Perfil 5 .....	195
Figura 149	Modelo sin obras condiciones saturadas-Perfil 5 .....	196
Figura 150	Planta de obras proyectadas.....	200
Figura 151	Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 1.....	201
<b>Figura 152</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 1 .....</b>	<b>201</b>
<b>Figura 153</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 1 .....</b>	<b>202</b>
<b>Figura 154</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 2.....</b>	<b>202</b>
<b>Figura 155</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 2.....</b>	<b>203</b>
<b>Figura 156</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 2.....</b>	<b>203</b>
<b>Figura 157</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 3.....</b>	<b>204</b>
<b>Figura 158</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 3.....</b>	<b>204</b>
<b>Figura 159</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 3.....</b>	<b>205</b>
<b>Figura 160</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 4.....</b>	<b>205</b>
<b>Figura 161</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 4.....</b>	<b>206</b>
<b>Figura 162</b>	<b>Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 4.....</b>	<b>206</b>
Figura 163	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 1 – Alternativa 1 .....	208
Figura 164	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas – Perfil 1 – Alternativa 1.....	209
Figura 165	Modelo con obras en condiciones Saturadas – Perfil – Alternativa 1 .....	210
Figura 166	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 2 – Alternativa 1 .....	211
Figura 167	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 – Alternativa 1 .....	212
Figura 168	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 2 - Alternativa 1 .....	213
Figura 169	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 3 – Alternativa 1 .....	214
Figura 170	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 3 – Alternativa 1 .....	215
Figura 171	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 3 - Alternativa 1 .....	216
Figura 172	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 4 – Alternativa 1 .....	217

Figura 173	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 4	
– Alternativa 1	.....	218
Figura 174	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 4 - Alternativa 1	218
Figura 175	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 5 – Alternativa 1	219
Figura 176	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 5 – Alternativa 1	220
Figura 177	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 5 - Alternativa 1	221
Figura 178	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 1 – Alternativa 2	223
Figura 179	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 1 – Alternativa 2	224
Figura 180	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 1- Alternativa 2	225
Figura 181	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 2 - Alternativa 2	226
Figura 182	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 - Alternativa 2	226
Figura 183	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 2 - Alternativa 2	227
Figura 184	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 3 - Alternativa 2	228
Figura 185	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 3 - Alternativa 2	229
Figura 186	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 3 - Alternativa 2	230
Figura 187	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 4 - Alternativa 2	231
Figura 188	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 4 - Alternativa 2	232
Figura 189	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 4 - Alternativa 2	233
Figura 190	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 5 - Alternativa 2	234
Figura 191	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 5 - Alternativa 2	235
Figura 192	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 5 - Alternativa 2	236
Figura 193	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 1 – Alternativa 3	238
Figura 194	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 1 – Alternativa 3	238
Figura 195	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 1 – Alternativa 3	239
Figura 196	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 2 – Alternativa 3	239
Figura 197	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 – Alternativa 3	240
Figura 198	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 2 – Alternativa 3	240
Figura 199	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 3 – Alternativa 3	241
Figura 200	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 – Alternativa 3	241
Figura 201	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 3 – Alternativa 3	242
Figura 202	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 4 – Alternativa 3	242
Figura 203	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 4 – Alternativa 3	243
Figura 204	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 4 – Alternativa 3	243

Figura 205	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 5	
– Alternativa 3.....		243
Figura 206	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 5 – Alternativa 3	244
Figura 207	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 5 – Alternativa 3 .....	244
Figura 208	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 1 – Alternativa 4 .....	247
Figura 209	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 1 – Alternativa 4 .....	248
Figura 210	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 1 – Alternativa 4 .....	249
Figura 211	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 2 – Alternativa 4 .....	250
Figura 212	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 – Alternativa 4 .....	251
Figura 213	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 2 – Alternativa 4 .....	252
Figura 214	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 3 – Alternativa 4 .....	253
Figura 215	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 3 – Alternativa 4 .....	254
Figura 216	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 3 – Alternativa 4 .....	255
Figura 217	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 4 – Alternativa 4 .....	256
Figura 218	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 4 – Alternativa 4 .....	257
Figura 219	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 4 – Alternativa 4 .....	258
Figura 220	Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 5 – Alternativa 4 .....	259
Figura 221	Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 5 – Alternativa 4 .....	260
Figura 222	Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 5 – Alternativa 4 .....	261
<b>Figura 223</b>	Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 2.....	3
<b>Figura 224</b>	Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 2.....	4
<b>Figura 225</b>	Esquema de obras proyectadas Perfil 3- Alternativa No. 2.....	4
<b>Figura 226</b>	Esquema de obras proyectadas Perfil 4- Alternativa No. 2.....	5
<b>Figura 227</b>	Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 2.....	5
<b>Figura 228</b>	Plantamiento paisajístico proyectado .....	7
<b>Figura 228</b>	Cobertura y Uso del suelo Futuro.....	8
<b>Figura 228</b>	Predios con afectación predial dentro del polígono de obras.....	10
<b>Figura 230</b>	Análisis porcentual global del presupuesto.....	13
<b>Figura 231</b>	Análisis porcentual de los costos directos del proyecto .....	13

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Localización del área en estudio en coordenadas MAGNA CIUDAD BOGOTÁ. ....	25
Tabla 2	Parámetros de la clasificación RMR.....	29
Tabla 3	Categorización de la calidad de la roca a partir del análisis RMR .....	30
Tabla 4	Factores de ajuste para las juntas (F1, F2 y F3) para SMR .....	30
Tabla 5	Factores de ajuste según Método de excavación.....	31
Tabla 6	Factores de ajuste según Método de excavación.....	31
Tabla 7	Medidas de corrección propuestas por el SMR .....	31
Tabla 8	Ejemplo de niveles de clasificación de territorios artificializados .....	32
Tabla 9	Dirección de discontinuidades en el afloramiento 3 .....	68
Tabla 10	Alificación del macizo rocoso a partir del método RMR .....	71
Tabla 11	Clasificación y estabilidad de los macizos rocosos de acuerdo al método SMR, definiéndose la acción a utilizar .....	72
Tabla 12	Calificación del macizo rocoso a partir del método SMR, afloramiento N°3.....	72
Tabla 13	Rango de pendientes para estudios geomorfológicos .....	79
Tabla 14	Formato para inventario de movimiento en masa N°1 .....	80
Tabla 15	Formato para inventario de movimiento en masa N°2.....	81
Tabla 16	Formato para inventario de movimiento en masa N°3.....	82
Tabla 17	Formato para inventario de movimiento en masa N°4 .....	83
Tabla 18	Formato para inventario de movimiento en masa N°5.....	84
Tabla 19	Datos de precipitación máxima en 24 horas – Estación San Jorge Granja .....	94
Tabla 20	Valores para los coeficientes utilizados en la distribución espacial de la lluvia según el método Vargas & Díaz Granados. ....	95
Tabla 21	Valores para la curva IDF a partir del método Vargas & Díaz Granados de la Estación San Jorge Granja (mm/h) .....	96
Tabla 22	Valores Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica. ....	109
Tabla 23	Localización exploración geotécnica directa.....	112
Tabla 24	Localización exploración geotécnica indirecta.....	113
Tabla 25	Ensayos de laboratorio realizados para las muestras recuperadas en el área de estudio.....	133
Tabla 26	Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 1).....	133
Tabla 27	Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 2).....	134



Tabla 28 Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 3).....	134
Tabla 29 Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 4).....	134
Tabla 30 Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 5).....	135
Tabla 31 Interpretación de los ensayos SPT, para suelos granulares.....	135
Tabla 32 Interpretación entre el número de golpes del ensayo SPT y la consistencia de suelos cohesivos y arcillosos.....	135
Tabla 33 Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 1).....	136
Tabla 34 Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 2).....	137
Tabla 35 Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 3).....	138
Tabla 36 Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 4).....	139
Tabla 37 Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 5).....	140
Tabla 38 Resultados ensayos de caracterizaciones de la exploración geotécnica - Apiques..	141
Tabla 39 Resultados ensayos de caracterizaciones de la exploración geotécnica - Perforaciones.....	141
Tabla 40 Clasificación del potencial de hinchamiento.....	142
Tabla 41 Resultados ensayo densidad aparente.....	143
Tabla 42 Resultados ensayo de densidad específica.....	143
Tabla 43 Resultados Corte directo.....	144
Tabla 44 Resultados compresión inconfiada en rocas.....	145
Tabla 45 Resultados compresión inconfiada en suelos.....	145
Tabla 46 Resultados carga puntual en rocas.....	146
Tabla 47 Categorización del tipo de suelo de acuerdo a la Norma Sismo Resistente-10.....	154
Tabla 48 Ecuaciones para determinar módulos dinámicos mediante ensayos sísmicos.....	154
Tabla 49 Resultados inversión de parámetros MASW-1.....	155
Tabla 50 Resultados inversión de parámetros MASW-2.....	156
Tabla 51 Resultados inversión de parámetros MASW-3.....	157
Tabla 52 Correlaciones geotécnicas de diseño a partir de ensayos geofísicos.....	158
Tabla 53 Relación de parámetros geotécnicos de diseño a partir de $V_p$ y $V_s$ para el MASW-1 y LR-1.....	158
Tabla 54 Relación de parámetros geotécnicos de diseño a partir de $V_p$ y $V_s$ para el MASW-2 y LR-2.....	158

Tabla 55 Relación de parámetros geotécnicos de diseño a partir de $V_p$ y $V_s$ para el MASW-3 y LR-3.....	159
Tabla 56 Perfiles de meteorización en rocas .....	163
Tabla 57 Ocupación en hectáreas por UGI .....	167
Tabla 58 Resultados parámetros geotécnicos de diseño para suelos según los ensayos directos .....	179
Tabla 59 Análisis estadístico de los parámetros geotécnicos de diseño para suelos .....	179
Tabla 60 Descripción propiedades geotécnicas de diseño definitivas para suelos .....	180
Tabla 61 Parámetros de diseño para las unidades de roca.....	180
Tabla 62 Correlación para las unidad de roca blanda (Rbfam) .....	180
Tabla 63 Parámetros de diseño para la unidad de roca blanda (Rbfam) según Mohr-Coulomb .....	181
Tabla 64 Resultados análisis de estabilidad .....	197
Tabla 65 Resultados análisis de estabilidad con obras propuestas Alternativa 1 .....	222
Tabla 66 Resultados análisis de estabilidad con obras propuestas Alternativa 2 .....	237
Tabla 67 Resultados análisis de estabilidad con obras propuestas Alternativa 3 .....	245
Tabla 68 Parámetros para el análisis de estabilidad del muro mecánicamente estabilizado (suelos).....	246
Tabla 69 Propiedades del geosintético para el análisis de estabilidad del muro mecánicamente estabilizado.....	246
Tabla 70 Resultados análisis de estabilidad con obras propuestas Alternativa 4 .....	262
Tabla 71 Comparación de los costos directos.....	263
Tabla 72 Análisis de alternativas .....	264
Tabla 73 Resumen del presupuesto proyectado.....	12
Tabla 73 Identificación de los riesgos .....	15

## 1. INTRODUCCIÓN

Jerusalén Sector Canteras se localiza sobre la Ladera Oriental de uno de los Cerros Suroccidentales de Santa Fe de Bogotá D.C, que bordean el extremo sur de la Sabana de Bogotá. La zona se identifica por su actividad minera debido a la extracción a cielo abierto, sin tener cumplimiento de las normas Minero Ambiental y el manejo responsable de la misma, referente a la antigua explotación de materiales de construcción.

Producto de las actividades de extracción, el factor antrópico ha cambiado la morfología del sitio de estudio, es decir, algunos sectores cuentan con taludes a interperie expuestos a diversos agentes contaminantes. Además, en la zona se han presentado eventos de remoción en masa y erosión siendo un peligro tanto para la población como para la infraestructura, puesto que, los taludes presentan pendientes abruptas o escarpadas, causando afectaciones o daños totales en las obras de protección que se han realizado para mitigar estos riesgos.

El sector de Canteras en el barrio Jerusalem, Ciudad Bolivar ha sido objeto de estudio en diversas ocasiones, los antecedentes en el sector datan desde el año 1995 hasta el año 2007, durante este periodo de tiempo, diferentes entidades territoriales y Nacionales han adelantado estudios , conceptos técnicos y diseños de obras en el área, sin embargo a la fecha se mantienen los procesos de remoción en masa en uno se los sectores del área en estudio.

Con el fin de dar atención al talud ubicado en la Cantera del Barrio Jerusalén, el Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático, por medio del Fondo Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, adelanta el contrato de Consultoría No. FONDIGER 161-2021 cuyo objeto corresponde a los “ESTUDIO Y DISEÑO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR JERUSALÉN CANTERAS DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR” siendo TORRES ING S.A.S el contratista del proyecto en mención.

A continuación se presenta el desarrollo de los estudios y diseños de medidas de mitigación en el sector de Jerusalem Canteras, basados en los antecedentes, estudios previos, hallazgos en el levantamiento de la información primario así como en las normativas vigentes para el diseño de las diferentes obras de mitigación.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 OBJETIVOS

#### 2.1.1 Objetivo general

Realizar los estudios y diseños detallados de medidas de reducción de riesgos por movimientos en masa en el sector de Jerusalén Canteras, Ciudad Bolívar, Bogotá D.C departamento de Cundinamarca.

#### 2.1.2 Objetivos específicos

- Referenciar cartográficamente y Describir el área en estudio.
- Describir los alcances de la revisión de información secundaria.
- Desarrollar la investigación de los antecedentes del proyecto mediante informes técnicos existentes, noticias e información existente en las entidades oficiales tales como INGEOMINAS ó el Servicio Geológico Colombiano.
- Analizar los antecedentes de la zona y a partir de estos identificar las prioridades de las actividades a desarrollar en el presente contrato.
- Localizar la exploración geotécnica previamente realizada y a partir de esta ubicar la exploración geotécnica proyectada teniendo en cuenta las necesidades evaluadas en campo así como la revisión de nuevas propuestas de exploración geotécnica.
- Realizar levantamiento topográfico y cartográfico del polígono en estudio, generando el plano topográfico referenciado del sitio junto con el ortomosaico correspondiente.
- Caracterizar las unidades litológicas del área de influencia del proyecto, incluyendo su distribución, contactos y estructuras geológicas asociadas.
- Definir los elementos geomorfológicos, morfometría y morfodinámica presente en la zona.
- Identificar la cobertura y uso del suelo actual en el sector Jerusalén-Canteras.
- Evaluar el carácter hidrológico, hidráulico y climatológico del área de estudio.
- Analizar los antecedentes geotécnicos y de obras de mitigación propuestos y efectuados en el área.
- Ejecutar la exploración directa e indirecta que permita caracterizar el subsuelo y diferenciar los materiales de acuerdo a sus propiedades geotécnicas.
- Caracterizar geotécnicamente los materiales presentes en el área de estudio mediante ensayos de laboratorio y procesamiento geofísico.
- Analizar el comportamiento geotécnico de los materiales presentes en la zona de estudio a partir de sus características físicas y mecánicas.
- Evaluar los factores detonantes generadores de procesos de remoción en masa en el área en estudio.
- Efectuar un análisis de estabilidad de los taludes afectados de acuerdo a modelos geológicos-geotécnicos planteados.

- Realizar recomendaciones geotécnicas que se requieran dentro del estudio definiendo las limitantes geotécnicas.
- Proponer alternativas de obras de estabilización para la resolución de la problemática de remoción en masa en el área.
- Localizar la zona de estudio dentro de la microzonificación sísmica y categorizarla de acuerdo a los parámetros de amenaza sísmica.
- Realizar el diseño detallado de la alternativa escogida
- Desarrollar el diseño geotécnico de las obras proyectadas.
- Realizar el diseño estructural de las obras propuestas.
- Ejecutar el diseño hidráulico de las obras proyectadas.
- Presentar las propuestas urbanísticas en el sector proyectado.
- Desarrollar la estimación del presupuesto de las obras proyectadas junto con su programación, análisis de precios unitarios y memorias de cálculo.
- Realizar las especificaciones técnicas y proceso constructivo de las obras proyectadas.
- Presentar el plan de manejo de tráfico a implementar durante el proceso constructivo de las obras.
- Desarrollar el plan de manejo ambiental requerido para la construcción de las obras proyectadas
- Realizar el plan de gestión social a implementar dentro del proceso constructivo
- Desarrollar el inventario forestal de los individuos localizados en el área aferente a la afectación del proyecto.
- Realizar el análisis predial de las zonas a intervenir.

## **2.2 ALCANCE**

El siguiente documento tiene como alcance presentar el desarrollo de los estudios y diseños realizados para el cumplimiento del objeto contractual en ejecución correspondiente a la consultoría para el ESTUDIO Y DISEÑO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR JERUSALÉN CANTERAS DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR, a partir de la evaluación de información secundaria y propuesta de exploración geotécnica.

## **2.3 RESPONSABLE**

La empresa TORRES ING S.A.S con NIT. 900335343 -4, es la responsable de la ejecución del contrato de Consultoría No. FONDIGER 161-2021 cuyo objeto corresponde a los “ESTUDIO Y DISEÑO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE RIESGOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR JERUSALÉN CANTERAS DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR”

## 2.4 DEFINICIONES

**Cartografía:** Ciencia que se encarga de la recolección, realización y análisis de medidas e información relacionada a diferentes regiones del planeta tierra, para posteriormente ser representadas de forma gráfica y plasmadas en escala reducida en los mapas y de esta manera conocer las características del medio, su topografía, accesibilidad a recursos y la ubicación de puntos específicos de alterca.

**Climatología:** Rama de la geografía que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo, describiendo las variaciones de temperatura, precipitación, presión atmosférica, vientos, entre otros, para elabora registros conocidos como climogramas, con los cuales rastrea el comportamiento climático de una región y lo cotejarlo con el de épocas pasadas.

**Cuenca hidrográfica:** Es un concepto utilizado para designar un territorio, región o zona, cuya característica principal es que el agua de lluvia que cae en esa superficie escurre hacia un cauce común. Es decir que, toda el agua acumulada desemboca ya sea en un afluente más grande, una laguna o el mar.

**Erosión:** proceso o conjunto de procesos externos, físicos y/o químicos que, en la superficie del suelo o a escasa profundidad, eliminan parcial o totalmente los materiales existentes y cuyo efecto es una reducción de las formas y/o del relieve. Los principales agentes de erosión son el agua, el mar, el viento, los glaciares, los movimientos de masa y los seres vivos.

**Estabilidad de taludes:** Es la teoría que estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción, siendo un aspecto directamente relacionado con la geotecnia.

**Formación geológica:** Las formaciones geológicas son agrupaciones de rocas con características similares, es decir cuando los materiales de una capa tienen una edad o composición similar, pueden denominarse formación geológica

**Geología:** Es la ciencia que estudia la composición, estructura, dinámica e historia de la Tierra, incluyendo sus recursos naturales (energía, minerales, agua...), así como los procesos que repercuten en su superficie y, por tanto, en el medio ambiente. También se centra en las alteraciones que estas materias han experimentado desde su origen y en el actual estado de su colocación.

**Geomorfología:** Rama tanto de la geología como de la geografía, que estudia las formas de la superficie terrestre, para comprender su origen, transformaciones y comportamiento actual. Entra en las diversas formas de relieve que presenta la corteza terrestre y los factores que contribuyen a definirlos, como son los elementos climatológicos, hidrográficos, geológicos, antrópicos, etc.

**Hidrografía:** Estudio de todas las masas de agua de la tierra y en un sentido más estricto a la medida, recopilación y representación de los datos relativos al fondo del océano, las costas, las mareas, las corrientes de agua, cuerpos de agua continentales, etc., de forma que puedan ser plasmados sobre un mapa, carta hidrográfica.

**Hidrología:** Rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. Por otra parte, el estudio de las aguas subterráneas corresponde a la hidrogeología.

**IDECA:** Es la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de Bogotá. Se define como el conjunto de datos, estándares, políticas, tecnologías y acuerdos institucionales, que de forma integrada y sostenida, facilitan la producción, disponibilidad y acceso a la información geográfica del Distrito Capital, con el fin de apoyar su desarrollo social, económico y ambiental.

**IDU:** Instituto de Desarrollo Urbano también conocido como IDU, es una institución destinada a ejercer obras viales y de espacio público para el desarrollo urbano de Bogotá.

**Infraestructura:** Conjunto de servicios, medios técnicos e instalaciones que permiten el desarrollo de una actividad, de igual forma comprende el conjunto de obras públicas, instalaciones, instituciones, sistemas y redes que sostienen el funcionamiento de ciudades, países y otras formas de organización social.

**Ingeominas:** Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras que en 2011 se convierte en el Servicio Geológico Colombiano,

**Microcuenca:** Es aquella cuenca cuya área de drenaje es menor a 500 Km<sup>2</sup>. Consideradas unidades básicas de planeación, ya que por su tamaño permiten medir los indicadores de sustentabilidad, debido a que en cuencas muy grandes es difícil plantear recomendaciones e imposible representar en mapas pequeñas porciones de tierra o parcelas agrícolas.

**Microzonificación sísmica:** Consiste en establecer zonas de suelos con comportamiento similar durante un sismo, de manera que puedan definirse allí, recomendaciones precisas para el diseño y la construcción de edificaciones sismo resistentes.

**NSR-10:** El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR 10), es la norma que regula las condiciones mínimas que deben cumplir las estructuras con el fin de que la respuesta a un sismo sea favorable y así preservar la integridad física y los bienes de las personas.

**Predio:** Es una pertenencia inmueble de una cierta extensión superficial, en otras palabras, son tierras o terrenos delimitados.

**Remoción en masa:** Un movimiento en masa es el proceso por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo, tierras, detritos o escombros, se desplaza ladera abajo por acción de la gravedad. Son conocidos popularmente como deslizamientos, derrumbes, procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, fallas de taludes y laderas.

**Servicio geológico colombiano:** Entidad que tiene como objeto realizar la investigación científica básica y aplicada del potencial de recursos del subsuelo; adelantar el seguimiento y monitoreo de amenazas de origen geológico; administrar la información del subsuelo; garantizar la gestión segura de los materiales nucleares y radiactivos en el país; coordinar proyectos de investigación nuclear, con las limitaciones del artículo 81 de la Constitución Política, y el manejo y la utilización del Reactor Nuclear de la Nación".

**Sismicidad:** La sismicidad es la capacidad que tiene una zona determinada de experimentar sismos.

**Superficie de falla:** Superficie o zona delgada a lo largo de la cual un lado se ha desplazado con respecto al otro, en una dirección paralela a la superficie o zona.

**Talud:** Es un terreno que se caracteriza por tener una inclinación o pendiente, la cual puede ser natural o elaborada por el hombre, además de estar formado por suelo o roca.



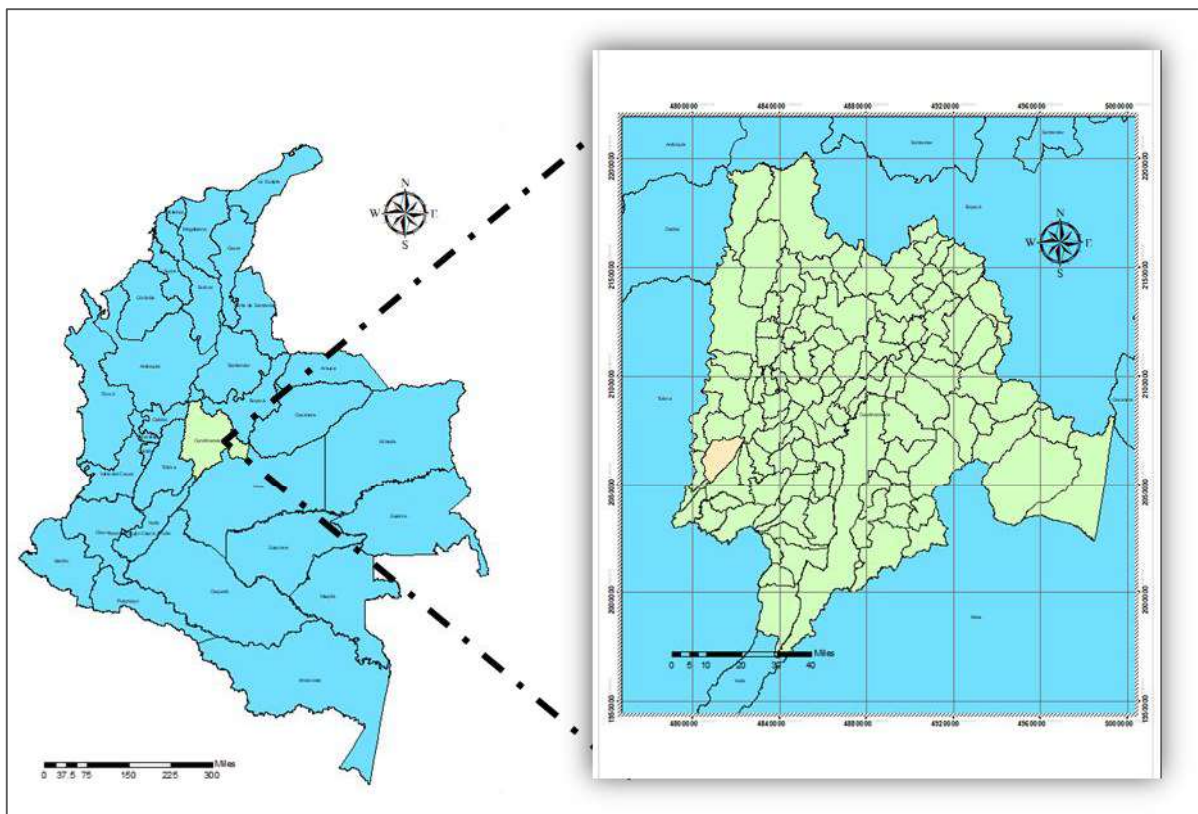
## 2.5 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto se localiza en Bogotá D.C., este se ubica en el departamento de Cundinamarca en la UPS Jerusalén, sector catastral Bellavista de la Localidad Ciudad Bolívar. En el área de estudio se presentan eventos de inestabilidad incluyendo la parte superior e inferior del talud conformando 2.5 Ha.

El Sector Canteras del Barrio Jerusalén se ubica al suroccidente de Bogotá limitando al Norte con la Localidad de Bosa, al Sur con las Localidades Usme y Sumapaz y al Este con las Localidades Tunjuelito y Usme.

En la siguiente figura se presenta la localización general de la zona de estudio del Barrio Jerusalén.

**Figura 1** Localización general del Barrio Jerusalén, Localidad Ciudad Bolívar, Bogotá D.C



**Fuente:** Consultor, Modificado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

El área de estudio tiene delimitaciones del Polígono Jerusalén Canteras de la Localidad de Ciudad Bolívar los cuales se muestran en la Tabla 1 y en la Figura 2 Localización de la zona de estudio- Barrio Jerusalén Sector Canteras. Figura 2 las demarcaciones.

**Tabla 1** Localización del área en estudio en coordenadas MAGNA CIUDAD BOGOTÁ.

<b>Punto</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
<b>1</b>	90774.56	98003.70
<b>2</b>	90822.55	97987.32
<b>3</b>	90807.18	97956.87
<b>4</b>	90793.25	97905.02
<b>5</b>	90778.24	97850.93
<b>6</b>	90766.48	97830.02
<b>7</b>	90770.13	97817.99
<b>8</b>	90787.33	97802.71
<b>9</b>	90808.29	97784.26
<b>10</b>	90752.25	97709.00
<b>11</b>	90736.69	97724.35
<b>12</b>	90710.62	97745.04
<b>13</b>	90674.73	97777.31
<b>14</b>	90650.86	97801.06
<b>15</b>	90690.81	97831.39
<b>16</b>	90677.72	97860.17
<b>17</b>	90699.72	97873.50
<b>18</b>	90703.50	97927.88
<b>19</b>	90735.85	97941.84
<b>20</b>	90726.78	97974.59

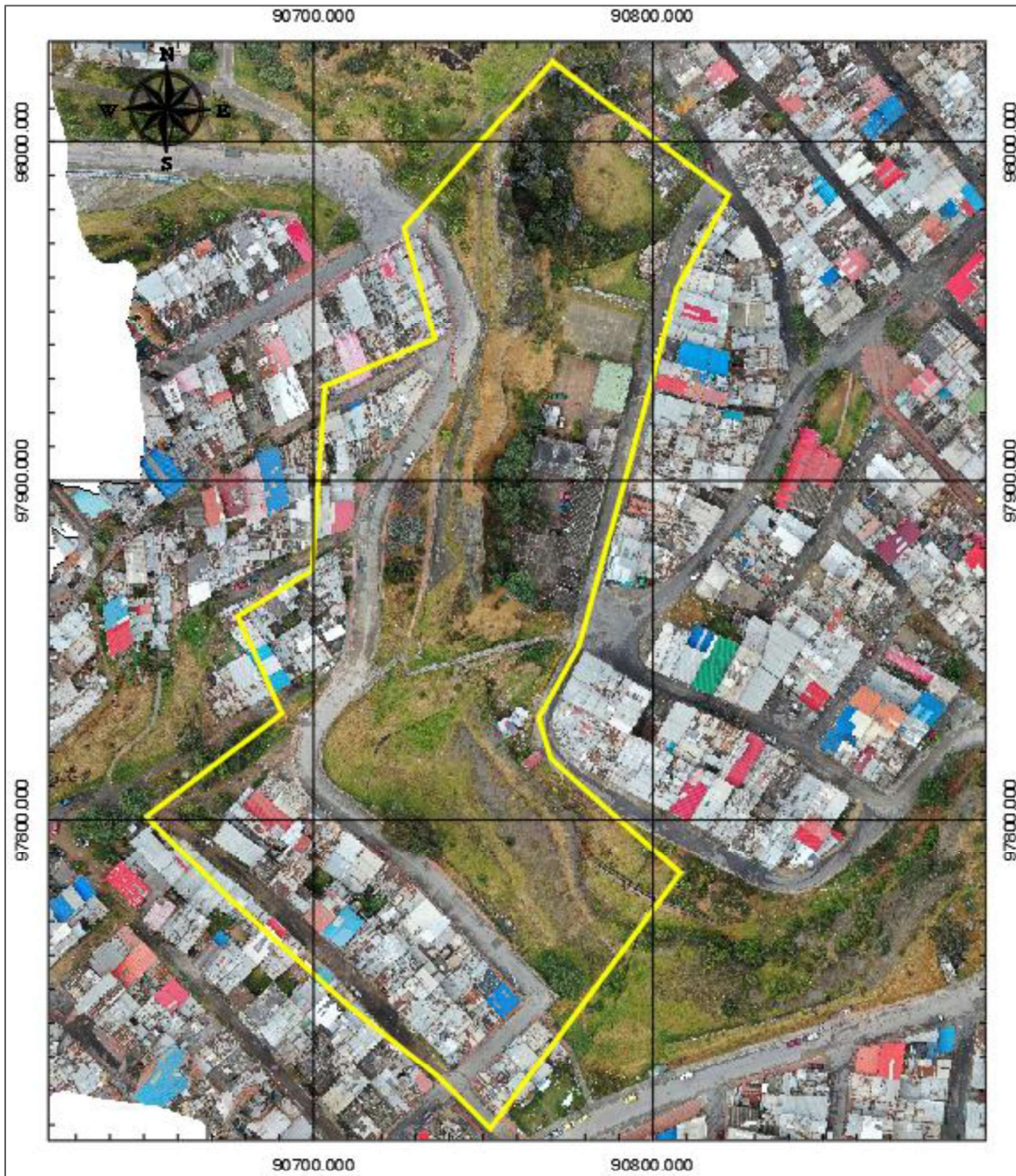
**Fuente:** Anexo Técnico de proceso.

**Figura 2** Localización de la zona de estudio- Barrio Jerusalén Sector Canteras.



**Fuente:** Consultor a partir de google earth PRO.

**Figura 3** Polígono de estudio detallado-Coordenadas MAGNA CIUDAD BOGOTÁ



Fuente: Consultor.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 METODOLOGÍA ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Se desarrolla el proceso del estudio topográfico en campo y oficina. En campo se recolecta la información planimétrica y altimétrica del sitio de estudio levantando todos sus detalles; ya sean naturales o artificiales. El trabajo en oficina revisa y digitaliza la información capturada, con el fin de realizar ajustes de coordenadas, informes y planos.

El levantamiento topográfico comprende la ubicación detallada del sitio de estudio, mediante equipos de precisión, se identifica en terreno puntos de control con buena visibilidad, a su vez se arma o se posiciona el equipo topográfico en estos puntos y desde allí con la ayuda del Rover se captura la información de corredores viales, detalles naturales o artificiales tales como: vías, bordes de vías, zona de deslizamiento, edificaciones, estructuras existentes, linderos, entre otras.

Se realiza revisión de información secundaria de diversas fuentes como el geoportal del acueducto Agua y Alcantarillado de Bogotá – información del IGAC – Instituto Geográfico Agustín Codazzi y google Earth, e información anterior existente.

Identificado el sitio de estudio se procede a realizar el levantamiento topográfico mediante topografía de precisión, detallando cada punto de interés dentro del área indicada donde se va a realizar el levantamiento por medio de equipo topográfico GNSS a través de metodología RTK y levantamiento fotogramétrico con vehículo aéreo no tripulado (drone) siguiendo el proceso se realiza la captura de coordenadas reales en campo, con un punto de partida Mojón específico C-3 con base a estudio realizado en 2017, así mismo se toman coordenadas reales para los seis (6) puntos de control.

Concluidas con las operaciones en campo y con base a lo efectuado se realiza:

- Descargar de la información de los equipos al ordenador, por medio de un interfaz de comunicación y se almacenan en el disco duro, habilitando una carpeta específica para ello.
- Ordenar los datos para realizar el ajuste del levantamiento.
- Diseñar los planos topográficos a escala (representación gráfica o dibujo) de los puntos y objetos de los detalles levantados en campo.
- Realizar perfiles topográficos para la representación lineal y gráfica del relieve del terreno a partir de dos ejes, uno con la altitud y otro con la longitud, lo cual permitirá establecer las diferencias altitudinales que se presenten a lo largo de un recorrido. El anexo 2 presenta los resultados del levantamiento topográfico en el área de estudio.

### 3.2 METODOLOGÍA ESTUDIOS GEOLÓGICOS

De acuerdo con la información existente y la revisión bibliográfica de los estudios realizados por el Servicio Geológico Colombiano-SGC, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM, planes de ordenamiento territorial (POT) de la Alcaldía mayor de Bogotá D.C - Secretaría Distrital de Planeación, entre otros, complementada con la información levantada y recopilada en campo se identifican las unidades geológicas, los componentes o elementos geomorfológicos y la cobertura actual del suelo en el área de estudio, así como el análisis de los componentes de hidrología, clima y sismicidad, insumos fundamentales para el análisis riesgo por movimientos en masa.

En macizos rocosos, se incluye la toma de datos estructurales de diaclasas, parámetros correspondientes a la compresión simple de la matriz rocosa, el RQD (Índice de calidad de la roca), orientación, espaciamiento, rugosidad, continuidad, alteración, relleno, abertura y filtraciones de las discontinuidades, a partir de la cual se evalúa la calidad del macizo rocoso por el método Rock Mass Rating (RMR), propuesto por Bieniawski (1989). Cada parámetro es evaluado asignándosele un valor de acuerdo a la Tabla No. 2.

**Tabla 2** Parámetros de la clasificación RMR

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	< 25 %			
	Valor	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm			
	Valor	20	15	10	8	5			
4	Estado de la discontinuidad	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
	Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm			
	Valor	6	5	3	1	0			
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
	Valor	6	5	3	1	0			
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm			
	Valor	6	4	2	2	0			
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	Valor	15	10	7	4	0			

Fuente: Bieniawski, 1989.

La suma de los valores obtenidos para cada parámetro da como resultado el índice de calidad RMR, el cual debe ser ajustado en función de las discontinuidades, clasificándose finalmente el macizo rocoso según la Tabla No.3.

**Tabla 3** Categorización de la calidad de la roca a partir del análisis RMR

PUNTUACIÓN	CALIDAD	CLASE
100 – 81	Muy buena	I
80 – 61	Buena	II
60 – 41	Media	III
40 – 21	Baja	IV
< 20	Muy baja	V

Fuente: Bieniawski, 1989.

Romana (1985) propone la clasificación de la estabilidad de taludes en roca en función del SMR (Slope Mass Rating), definido como una modificación del sistema RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski (1973). La relación que sugiere Romana para esta clasificación es la mostrada en la ecuación (1) y comprende un "factor de ajuste", que función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado.

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (1)$$

**Tabla 4** Factores de ajuste para las juntas (F1, F2 y F3) para SMR

Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	laj-asl	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
T	laj-as-180°l					
<b>Valor F1</b>		<b>0.15</b>	<b>0.40</b>	<b>0.70</b>	<b>0.85</b>	<b>1.00</b>
P	Bj	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
<b>Valor F2 (P)</b>		<b>0.15</b>	<b>0.40</b>	<b>0.70</b>	<b>0.85</b>	<b>1.00</b>
<b>Valor F2 (T)</b>		<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
P	bj-bs	>10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	<-10°
T	bj+bs	<110°	110°-120°	>120°		--
<b>Valor F3</b>		<b>0</b>	<b>-6</b>	<b>-25</b>	<b>-50</b>	<b>-60</b>

Fuente: Romana, 1985.

Donde;

P = Rotura Plana

T = Rotura por vuelco

as = dirección de buzamiento del talud

bs = buzamiento del talud

aj = dirección de buzamiento de las juntas

bj = buzamiento de las juntas

El factor de ajuste por excavación se muestra en la Tabla No. 5.

**Tabla 5** Factores de ajuste según Método de excavación

Método	Talud Natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o mecánico	Voladura Deficiente
F4	+15	+10	+8	0	-8

Fuente: Romana, 1985.

**Tabla 6** Factores de ajuste según Método de excavación

Clase N°	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy Mala	Mala	Normal	Buena	Muy Buena
Estabilidad	Totalmente Inestable	Inestable	Parcialmente Estable	Estable	Totalmente Estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas Juntas o muchas cuñas	Algunos Bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: Romana, 1985.

Finalmente, Romana (1985) presenta una recomendación de medidas de corrección de acuerdo al valor de SMR estimado, tal como se presenta en la Tabla No. 7.

**Tabla 7** Medidas de corrección propuestas por el SMR

Tipo de Sostenimiento	Intervalos SMR	Medida de Corrección
Re excavación	10-30	Reexcavación Muros de Contención
Drenaje	10-40	Superficial-Profundo
Hormigón	20-60	Hormigón Proyectado-Hormigón Dental-Muros de pie
Refuerzo	30-75	Bulones-Anclajes
Protección	45-70	Zanjas de Pie Vallas (de pie o talud) Redes y/o mallas (sobre la superficies del talud)
Sin Sostenimiento	65-100	Saneos- Ninguno

Fuente: Romana, 1985.

En el análisis de la geomorfología, se tiene en cuenta los componentes de morfogénesis, morfometría y morfodinámica. La identificación de los componentes o elementos geomorfológicos se realiza a partir de la fointerpretación de imágenes satelitales de



Google Earth y fotografías aéreas que, junto con las campañas de campo y los lineamientos presentados por el Servicio Geológico Colombiano, permiten definir las unidades morfogénicas a escala detallada.

Para el análisis morfométrico se consideran las pendientes del terreno cuyo procesamiento es realizado en un Sistema de Información Geográfica (SIG). En cuanto al inventario de procesos morfodinámicos se realiza a partir de fotointerpretación, y el reconocimiento en campo de estos fenómenos que se encuentran dentro del área de estudio de la presente investigación.

Por otra parte, la identificación de usos del suelo sigue los lineamientos de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia desde el año 2014 a escala 1:100.000. La cartografía se realiza a nivel detallado, empleando herramientas de análisis SIG y valoración en campo de los usos actuales del suelo, definiendo la relación de éstos con la geología local y la posible incidencia de fenómenos de remoción en masa de acuerdo a las prácticas y modificaciones de estos escenarios.

Para la asignación de atributos a cada una de las coberturas se optó por la metodología “Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra – Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, Escala 1:100.000” propuesta por el IDEAM 2010, donde se establecen niveles de acuerdo al detalle necesario, es así que en la presente interpretación se muestran los resultados obtenidos correspondiente al nivel 1, nivel 2 y nivel 3 (Tabla No. 8). En el presente estudio se hace una clasificación de algunos de los polígonos en un nivel 4, propuesto por el consultor, por tratarse principalmente de territorios artificializados con características especiales.

**Tabla 8** Ejemplo de niveles de clasificación de territorios artificializados

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	CÓDIGO
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	1.1.1.
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales.	1.2.1.
		1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados.	1.2.2.
		1.2.5 Obras hidráulicas.	1.2.5.

Fuente: Corine Land Cover.

### 3.3 METODOLOGÍA ESTUDIO Y DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO

#### 3.3.1 Recopilación de información existente y revisión bibliográfica

Se realiza la revisión de información secundaria de diversas fuentes como el Plan de Ordenamiento Territorial, Servicio Geológico Colombiano, entre otras.

Posteriormente, se reconoce la zona de estudio con el propósito de definir la exploración geotécnica y realizar la referenciación geológica y geotécnica del área con base en observaciones de campo e información existente previamente recopilada.

### **3.3.2 Exploración geotécnica**

A partir de la ubicación determinada para realizar los ensayos de exploración directa, se procede a su ejecución con el objetivo de hacer un reconocimiento general del terreno, caracterizando los materiales del subsuelo e identificando sus espesores.

Se realizan apiques, trincheras y perforaciones en aquellos sitios de interés geotécnico a partir de los cuales se obtienen muestras inalteradas con el fin de conservar las propiedades naturales del subsuelo. Se registra en los formatos establecidos el tipo de suelo y profundidad.

Se incluye una exploración indirecta a través de la ejecución de líneas de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas de superficie (MASW), así como tomografías.

Para todos los ensayos de exploración en campo se toma el respectivo registro fotográfico.

### **3.3.3 Ensayos de laboratorio**

Con las muestras recuperadas de la exploración directa se procede a realizar los ensayos de laboratorio para la estimación de propiedades físicas y mecánicas que permitan definir el comportamiento del suelo, estableciendo las propiedades y limitantes de tipo geotécnico que se presentan en el área en estudio, y relacionando los estratos y cambios litológicos en profundidad. Se incluye los resultados del procesamiento de las líneas de refracción sísmica, MASW, y tomografía eléctrica con el fin de establecer perfiles sísmicos y obtener un modelo del subsuelo.

### **3.3.4 Análisis e interpretación de resultados**

Mediante los resultados de laboratorio, y el procesamiento de los datos obtenidos mediante la exploración geotécnica se caracteriza el subsuelo para así definir su comportamiento geotécnico. De acuerdo a este diagnóstico, se determinan las limitaciones y características mecánicas del suelo, que permiten emitir las recomendaciones geotécnicas correspondientes para el diseño de las estructuras requeridas.

### **3.3.5 Determinación de los factores condicionantes:**

Involucra la identificación y cartografía de unidades geológicas para ingeniería, el análisis de elementos geomorfológicos en tres componentes: Morfogénesis, morfometría y morfodinámica, el desarrollo de la topografía detallada y la exploración y caracterización de los materiales en profundidad, con el fin de generar modelos geológicos-geotécnicos que permitan delimitar las zonas geotécnicas homogéneas en el área de estudio.

### **3.3.6 Determinación de factores detonantes:**

Compone la determinación de factores como la lluvia y los sismos, que pueden modificar las condiciones de estabilidad de una ladera, éstos se consideran detonantes y para el alcance de este proyecto son evaluados por medio de modelos determinísticos.

### **3.3.7 Evaluación de factores de seguridad y planteamiento de alternativas de mitigación**

El análisis de estabilidad en el software Slide V 6.0 es ejecutado en cada uno de los cinco perfiles críticos del proyecto, evaluando tres escenarios: condiciones estáticas, condiciones pseudoestáticas y condiciones saturadas del terreno. Con ello se obtienen factores de seguridad por cada uno de los métodos empleados en el programa y se realiza el análisis y planteamiento de alternativas; así pues, los perfiles geológicos-geotécnicos son modelados nuevamente con obras para conocer su eficacia en la estabilidad de las laderas.

## 4. ANÁLISIS DEL CONTEXTO

### 4.1 ANTECEDENTES

La zona de estudio se encuentra sobre la ladera oriental de uno de los cerros suroccidentales de Santa Fe de Bogotá, que bordean el extremo sur de la Sabana de Bogotá. Existen diversos fenómenos naturales adversos a los pobladores que habitan el sector ya que la zona fue denominada zona de riesgo.

Con la necesidad de tomar las acciones y medidas para mitigar el riesgo por movimientos en masa mediante la intervención de medidas que permitan reducir y prevenir su frecuencia, las diferentes entidades a nivel departamental y local han llevado a cabo las respectivas visitas al Sector Canteras, así como se han adelantado diferentes estudios y conceptos en el sector los cuales se relacionan a continuación:

A nivel de información base de referencia, se identifican los siguientes documentos, los cuales son la información de referencia para los diferentes estudios y conceptos realizados con posterioridad en el área en estudio:

Información cartográfica en escala 1:2000, 1:10 000 y 1: 25 000 disponible en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC.

Información urbana y cartográfica en las bases digitales elaboradas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, y por el Catastro Distrital.

- Proyecto de Factibilidad para el Mejoramiento y/o Localización de Asentamientos Humanos Ubicados en Zonas de Alto Riesgo en la Localidad de Ciudad Bolívar, por María de los Ángeles Vargas, 1992.
- Estudio de Investigación Técnica en Áreas de Riesgo en Ciudad Bolívar, Sector Candelaria y Jerusalén, por Javier Pava, 1993.
- Programa de Fortalecimiento y Cualificación del Comité Local de Emergencias en la Localidad de Ciudad Bolívar, por María de los Ángeles Vargas, 1992.
- Estratigrafía y Sedimentología de la Parte Inferior de la Formación Guaduas al sur de la Sabana de Bogotá, por Julivert, 1963.
- Los Rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá, y los Mecanismos de Formación de las Estructuras, por Julivert, 1963.
- Cartografía geológica general de la zona donde se encuentra el sitio de estudio, Ingeominas.
- Estudio geológico y geotécnico, Barrio Jerusalén; por J.D. Bateman, 1991, para la Alcaldía Mayor de Bogotá - Secretaría de Obras Públicas.

Posterior al análisis de la información de referencia, se presenta a continuación los estudios detallados realizados en el sector de canteras a partir de 1995, a continuación, se presenta la descripción y las principales conclusiones de cada uno de los estudios analizados.

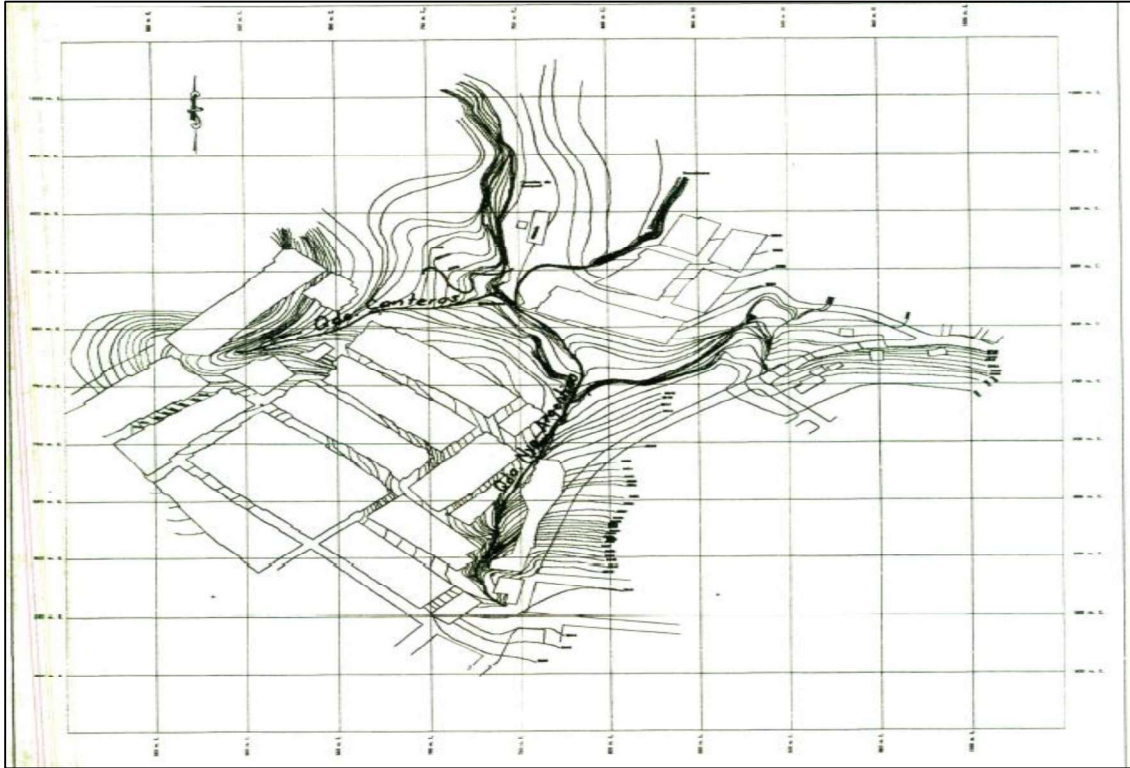
#### **4.1.1 Estudio Jerusalén, sector canteras fase ii (Ingeominas, 1995)**

El presente informe fue desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS) en el año 1995, el informe mencionado fue realizado a partir de la revisión geológica del sector así como el desarrollo de investigación geotécnica adelantada en dicha época la cual consistió en el levantamiento detallado de los afloramientos rocosos, 3 líneas de prospección geofísica y 2 columnas estratigráficas detalladas; A partir de la investigación realizada el estudio define que la geología superficial del área se identifican afloramientos de rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Guaduas-Conjunto Medio (KTgm), arcillolitas y lodolitas grises amarillentas, con bandas grises-verdosas, Suprayaciendo a estas, se encuentran depósitos coluviales (Qc), Materiales de desechos y/o de exploraciones mineras (Qre); en cuanto a la geomorfología se identifican geoformas de origen denudacional- estructural ocupando las zonas medias y bajas de los cerros sur occidentales.

La estabilidad de la zona es categorizada en estabilidad IV y V, siendo laderas con procesos denudativos asociados a periodos de lluvia, en el sector se evidencian procesos antiguos de remoción en masa, alto grado de erosión, las laderas con morfología muy vertical, alto grado de exposición del macizo rocoso al intemperismo, adicional a lo anterior una alta influencia de factores antrópicos sobre los cauces naturales como lo son la Quebrada Canteras.

Como principales conclusiones del este estudio fue la proyección de obras de recuperación de la Quebrada Canteras, para ello se propuso dos alternativas, la primera en la canalización del cauce con una sección trapezoidal y la modificación del perfil realizando rellenos de nivelación en forma escalonada, la segunda alternativa involucra entubar 111 m y reconfigurar los márgenes mediante escalonamiento habilitando el área como paso peatonal; para las aguas de escorrentía se propuso la construcción de cunetas viales con descole hacia la quebrada, se proyectaron zanjas interceptoras y filtros profundos, como obras paisajísticas, se proyectó la empradización de las cimas de los taludes y siembra de especies nativas.

Uno de los productos más relevantes para el análisis del presente estudio tomado de los anexos del estudio del INGEOMINAS 1995 corresponde a la localización de las quebradas Canteras y Nueva Argentina, siendo estos trazados coherentes con la morfología en el área de estudio.

**Figura 4** Polígono de estudio detallado-Coordenadas MAGNA CIUDAD BOGOTÁ

Fuente: Estudio Jerusalén Canteras Ingeominas, 1995.

#### **4.1.2 Estudios y diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de diferentes sitios de Ciudad Bolívar, Santa Fé de Bogotá - informe final sitio 1.3: barrio Jerusalén - sector canteras y Nueva Argentina (INGETEC S.A, 1998).**

En el estudio en mención se realiza la evaluación de información secundaria de la zona de Canteras, así como el análisis y descripción, geológica, geomorfológica, sismológica útil para los diseños de estabilidad requeridos en el área en estudio en la revisión desarrollada se referencia la “Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá” (INGEOMINAS, 1997), donde se establece para el área en estudio la Zona 1-Cerros con una aceleración máxima ( $A_m$ ) igual a 0.24g.

En cuanto a la geología estructural en el presente estudio se define que “Las capas de la Formación Guaduas hacen parte del flanco occidental del Sinclinal Usme, aunque localmente estas capas están plegadas suavemente y afectadas por tres fallas locales, presentando orientaciones un poco diferentes al patrón regional. La estratificación en el talud occidental presenta orientaciones de N-S/10°W en el sector sur y de N22°-75°E/10-30°NW en los sectores central y norte; en el talud sur de N45°-70°W/10°-13°SW y en el

talud suroccidental de N30°-43°E/12°-15°NW. Esta disposición indica que las capas de la Formación Guaduas en este sitio

hacen parte del cierre sur de un suave pliegue anticlinal cuyo eje debe tener una dirección aproximada N25°E, siguiendo el curso de la quebrada Nueva Argentina. La parte central y/o extremo norte de este pliegue están cubiertas por depósitos del Cuaternario”

A nivel geotécnico, la exploración del subsuelo fue realizada mediante 5 apiques en total complementarios a los estudios desarrollados en 1995, en el presente estudio desarrollaron ensayos de corte directo obtienen parámetros de resistencia considerados como elevados para tipo de suelo identificado ( $\phi = 72^\circ$  C= 53 kPa).

#### **4.1.1 Concepto técnico no. 3744 del 14 de junio de 2002 realizado por Luis Jairo Pérez geólogo analista de riesgos de la dirección de prevención y atención de emergencias DPAE**

Documento que relacionan las delimitaciones de los predios en amenaza alta, media y baja por los problemas de desprendimiento y desplome de roca propiciados por la fuente de inclinación, el fracturamiento de las rocas y el hecho de haberse desconfinado el macizo, adicionalmente, el aporte del agua tanto lluvias como servidas ha sido decisivo en el desencadenamiento de eventos de remoción en masa. Por otro lado, se presentan rasgos de erosión diferencial en sitios puntuales, generadas por las lluvias que corren por el sector medio de escarpe. Para reducir las condiciones de riesgo existente se recomendaron medidas de protección y control en la totalidad de las laderas expuestas a erosión por medio de la siembra de especies vegetales, lo anterior, contempla obras de control de erosión, de recuperación morfológica de cortes y obras de infraestructura evitando que continúe el deterioro de las laderas en este sector.

#### **4.1.3 Diagnóstico técnico no. 1666 del 16 de septiembre de 2002 realizado por José Vicente Amórtegui Gil director de división de geotecnia de la dirección de prevención y atención de emergencias DPAE.**

En este documento, realizó la revisión del talud de una de las canteras vecinas al CED Canteras Jerusalén, el cual fue revestido con concreto lanzado y reforzado con personas, hace varios años. Se identificaron manchas de arena y algunas fisuras en la cobertura de concreto. Durante la

inspección se observaron fisuras en el flanco oriental y especialmente una de gran longitud paralela a la cara del talud, dispuesta a unos 2m de ella, ésta es una fisura normal en todos los taludes de roca y se presenta por el relajamiento de los esfuerzos debido a la falta de confinamiento. La obra se trabajó en condiciones satisfactorias, sin embargo, se requiere algunas labores de mantenimiento para mejorar la impermeabilización de la parte vecina a

la corona del escarpe, mediante una cobertura de malla-mortero; la instalación de lloraderos y la reparación se sectores afectados. Además, se recomienda sembrar una barrera arbórea con árboles de crecimiento rápido.

#### **4.1.4 Diagnóstico técnico 1998 del 22 de abril de 2004 realizado por Carlos Eduardo Motta Tierradentro de la dirección de prevención y atención de emergencias DPAE.**

Se describe el desprendimiento y caída de aproximadamente 25 m<sup>2</sup> de malla de mortero que cubre y protege aproximadamente dos tercios (2/3) del talud de la antigua fachada minera, en cuyo patio se encuentra el Centro Educativo de la Cantera Jerusalén, como se describe. El desprendimiento se produjo en el borde sur del área protegida y según observaciones de campo se debió a la presión de la acumulación de agua en su parte trasera. De igual manera, el agua existente hace que la superficie del macizo rocoso se ablande en este lugar y por ende caiga hacia la zona aislada de la estructura.

#### **4.1.5 Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras de estabilización, protección y control recomendadas para el escarpe adyacente al ced-plan canteras, de la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá D.C. 2004 MGL LTDA.**

En el estudio mencionado, se elaboró un levantamiento topográfico materializando 3 mojones en el área del proyecto siendo la superficie total 22649.4 m<sup>2</sup>, el levantamiento incluyó el escarpe de la antigua cantera, las áreas del CED y del Jardín Infantil, así como las vías perimetrales.

Mediante el estudio geológico se delimitó que el proyecto se localiza sobre la Formación Guaduas, a nivel morfológico se identificaron procesos correspondientes a caída de bloque y procesos erosivos; dentro del estudio geotécnico realizaron 7 apiques y cuatro trincheras con profundidad máxima de 11.9m; se realizó análisis cinemático del talud para evaluar su estabilidad.

La alternativa de obras recomendada en el presente estudio correspondió a: un parapeto elaborado con elementos metálicos verticales: tubos o perfiles y mallas reforzadas con cables de acero, complementada con coberturas "rígidas", barreras arbóreas y coberturas vegetales, así como la reparación de las coberturas existentes y el mejoramiento de los elementos de drenaje.

Diagnóstico técnico 2180 del 27 de octubre de 2004 realizado por Edison Orlando Hoyos Cerón de la dirección de prevención y atención de emergencias DPAE.

En la zona de estudio se evaluó el desprendimiento de bloques de roca en un volumen aproximado de 7m<sup>3</sup> proveniente de la base del talud, que se depositó detrás de la barrera



metálica de protección como estaba previsto en el concepto de diseñador. Sin embargo, el agente detonante del fenómeno de remoción en masa fueron las intensas lluvias antecedentes y resultó favorecido por el voladizo y la pendiente negativa que tiene el macizo rocoso en este sector. Hacia el sector norte del talud se presentó un pequeño flujo de tierras de menos de 0.5m<sup>3</sup>, producto de la erosión superficial de la cara del talud que perdió protección de malla mortero. No

obstante, se recomendó retirar el material caído en la zona del aislamiento en el periodo seco y adelantarla construcción de obras de mitigación recomendadas en el estudio realizado por la firma de consultoría MOYA & GARCÍA LTDA.

#### **4.1.6 Diagnóstico técnico 3043 del 20 de noviembre de 2006 realizado por Alfonso Lazo Beltrán de la dirección de prevención y atención de emergencias DPAE.**

El presente documento describe dos eventos relacionados con caída de bloques y flujos de tierra de un talud correspondiente a la antigua explotación minera, localizado en el Jerusalén-Sector canteras de la Localidad de Ciudad Bolívar. El sector corresponde a un escarpe rocoso con un antiguo frente de explotación de canteras, de 70m de longitud, con una altura promedio de 18m y una inclinación entre 60 ° y 80 ° aproximadamente, haciéndose notable también en algunos sectores del talud, inclinaciones negativas debido a los procesos de erosión diferencial. El macizo rocoso está constituido por intercalaciones de areniscas y arcillolita. En la zona de estudio se identificaron dos cuñas con un volumen total de 400m<sup>3</sup> con probabilidad de presentar una falla general, afectando cuatro viviendas localizadas en la parte baja del talud a unos 10 m de la pata de este. De acuerdo a ello, se recomendó mantener evacuadas las viviendas aledañas al sector de estudio hasta que se evalué la posibilidad de intervenir mediante la implementación de obras de mitigación.

#### **4.1.7 Diagnóstico técnico 3146 del 23 de marzo de 2007 realizado Por Elkin Fabián Ulloa Castellanos de la dirección de prevención y atención de emergencias DPAE.**

En este informe se presenta el deslizamiento de arcillolita de estrato superior del escarpe, aproximadamente de 250 m<sup>3</sup>, que ocasionó la ruptura del recubrimiento en malla mortero y averió el parapeto metálico en una longitud de aproximadamente 20m, teniendo en cuenta las obras de

mantenimiento previamente realizadas se mitigó la amenaza. Sin embargo, se nota un incremento en la abertura de las grietas de la parte superior del talud causando un cambio en su morfología lo que implica que los materiales se caigan y se deslicen superando la barrera metálica de protección, lo que constituye una amenaza para la comunidad. Desde entonces se recomendó realizar la reubicación definitiva del CED Plan Canteras de Jerusalén.

#### **4.1.8 Diseños detallados, presupuestos y especificaciones técnicas, de las obras de mantenimiento para proteger la parte superior del talud de las obras de mitigación de riesgo construidas por el FOPAE, en el CED Jerusalén plan canteras, de la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá d.c (georiesgos, 2007)**

En el presente estudio fue realizado por la firma Georiesgos en el año 2007, se desarrolló levantamiento topográfico escala 1:250 con curvas de nivel cada 50 cm, dentro de las actividades que adelando el consultor, se realizó la geología del área en estudio ubicando como Formación principal nuevamente a la Formación Guaduas (KPggg) la cual se encuentra en contacto con la

unidad denominada Complejo de Conos del Tunjuelo (Qcc), ASÍ COMO Botaderos y Rellenos (Qrm + Qb).

En la exploración geotécnica el consultor realizó exploración directa mediante 5 sondeos mecánicos con profundidad máxima de 20.5 m y apiques con profundidad de 3.2 m.

Dentro del presente informe se plantearon como obras de control, el desarrollo de un terracedo en el lomo superior del talud (arcillolitas) y la construcción de un muro de contención anclado.

#### **4.1.9 Diagnóstico técnico 3866 del 30 de junio de 2008 realizado por Juan Sebastián Mahecha Ávila de la dirección de prevención y atención de emergencias DPAE.**

En este documento técnico se evaluó el desprendimiento del material rocoso y de sectores de concreto lanzado de las obras de estabilización del talud perteneciente a un antiguo frente de explotación localizado en el Barrio Plan Canteras de la Localidad de Ciudad Bolívar. El proceso de remoción en masa se presentó en la parte norte del talud y movilizó en volumen de material aproximado de 100m<sup>3</sup> los cuales se depositaron en la parte baja del talud cuyas dimensiones son de aproximadamente unos 200m de longitud y 15m de altura. Dentro de las causas que generó el proceso de remoción en masa del talud es que se encuentra en alto grado de fracturamiento del macizo rocoso, así como presiones hidrostáticas y la saturación de los materiales que lo componen por causa de las lluvias y posibles fugas en las redes de acueducto y alcantarillado pertenecientes al desarrollo urbano localizado en la parte alta del escarpe rocoso.

Se recomendó realizar la gestión con las entidades competentes a fin de ejecutar los estudios técnicos que puedan determinar las obras necesarias para la reconfiguración y rehabilitación de las obras de estabilización del talud rocoso en estudio.

#### **4.1.10 Diagnóstico técnico 4138 del 12 de mayo de 2009 realizado Por Marco Antonio Amaya de la dirección de prevención y atención de emergencias DPAE.**

En este diagnóstico se analizó el costado oriental de los taludes de corte que conforman el antiguo frente de explotación de materiales para el respectivo según la valoración de remoción en masa de carácter local afectando los taludes de corte en cemento

comprometiendo la estabilidad estructural de las edificaciones que conforman el Centro Educativo- Plan Canteras y la estabilidad estructural de la vivienda emplazada en el predio de la Calle 68G Bis Sur #49D-73. Los desprendimientos de roca, suelo, detritos y escombros derivados del colapso parcial y/o total de la cobertura provista a los taludes de corte que conforman el antiguo frente de explotación de materiales evaluado, así como posible compromiso de estabilidad estructural las edificaciones ubicadas dentro de la zona de influencia del mismo. De lo anterior, se recomendó evaluar la viabilidad técnica y económica de gestionar la implementación de estudios detallados de las obras de mantenimiento para proteger la parte superior del talud de las obras de mitigación de riesgo

construidas por el FOPAE en el CED Jerusalén Plan Canteras de la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D.C.

#### **4.1.11 Proyecto de estabilización de talud en barrio Jerusalén Bogotá**

Donde En el talud se instala el sistema TECCO® en combinación con pernos de anclaje de 8,00 m de largo y diámetro 32 mm para darle estabilización a la ladera, adicional a esto se realiza el sistema combinado con muros de tendones anclados. Para controlar la erosión y el lavado de finos se utiliza el manto TECMAT por debajo de la malla TECCO. Lo anterior con el fin de evitar el deslizamiento del talud sobre las viviendas, las cuales perdían soporte antes los deslizamientos que se presentaban en la ladera puesto que son materiales con estratos de arenisca y arcillolita meteorizados.

#### **4.1.12 Revisión de noticias y recortes de prensa**

Adicional a los antecedentes analizados mediante los estudios previos realizados en la zona en estudio, se realiza la identificación de las noticias que han presentado relevancia en los procesos

de remoción en masa registrados en el área en estudio, siendo los más significativos los presentados a continuación:

- **“Montaña amenaza a la escuela”**. La amenaza de la montaña del Sector Canteras del barrio Jerusalén de la Localidad Ciudad Bolívar provocó un deslizamiento que cubrió el patio de la Institución educativa. Se realizaron estudios y construcción de una barrera de mitigación de protección, perfilado del talud y protección en malla de mortero y sellado de las fisuras con asfalto para prevenir posibles riesgos del talud de corte, lo anterior a cargo de la Dirección de Prevención y Atención de Desastres DPAE. (EL TIEMPO, Montaña amenaza a la escuela, 2004)

- **“Cierran escuela distrital Plan Canteras”.** Los riesgos de la montaña localizada en el Barrio Jerusalén sector Canteras continuaron. El colegio se cerró por decisiones de la Secretaría

de Educación y del DPAE. Se produjo un desprendimiento de la montaña debido a las fuertes lluvias presentadas en la época, sin embargo, reubicaron a los estudiantes para no perjudicarlos. El DPAE continuó con los trabajos de mitigación en el talud que quedó tras varios años de ser explotado. (EL TIEMPO, Cierran escuela distrital Plan Canteras, 2004)

- **“Distrito intervendrá zonas de riesgo por deslizamientos en 30 barrios”.** La Administración Distrital planteó construir muros de contención para mitigar el riesgo de remoción en masa en 30 barrios de la capital, dentro de esos el Barrio Jerusalén sector Canteras. Se revisaron los diseños de perfilado de taludes, drenajes, cunetas y estabilización de las viviendas afectadas. En este sector se presenta el desprendimiento de rocas y de material vegetal poniendo

en peligro las viviendas ubicadas en la parte alta del talud de corte y la seguridad de las estructuras presentes en la parte baja del mismo. (EL ESPECTADOR, Distrito intervendrá zonas de riesgo por deslizamientos en 30 barrios, 2011)

- **“No le saque la piedra a la montaña”** La localidad de Ciudad Bolívar se caracteriza por la pobreza en general, es decir, los servicios públicos son precarios y las calles se encuentran en afirmado, además, tiene varios problemas de minería a cielo abierto, alrededor de 50 jóvenes pretenden frenar estas actividades. Hay tres empresas encargadas de la explotación de recebo a cielo abierto dejando en el aire partículas de polvillo. Cabe resaltar que las canteras debían cumplir condiciones de siembra, construcción de tanques de manejo de agua de escorrentía y almacenamiento y por último la resiembra sobre la capa orgánica descapotada. Al prohibir estas actividades en la Canteras Jerusalén se eviten los impactos y daños en las vías y viviendas del sector. (EL ESPECTADOR, No le saque la piedra a la montaña, 2015)

#### 4.1.13 Análisis cartográfico y predial

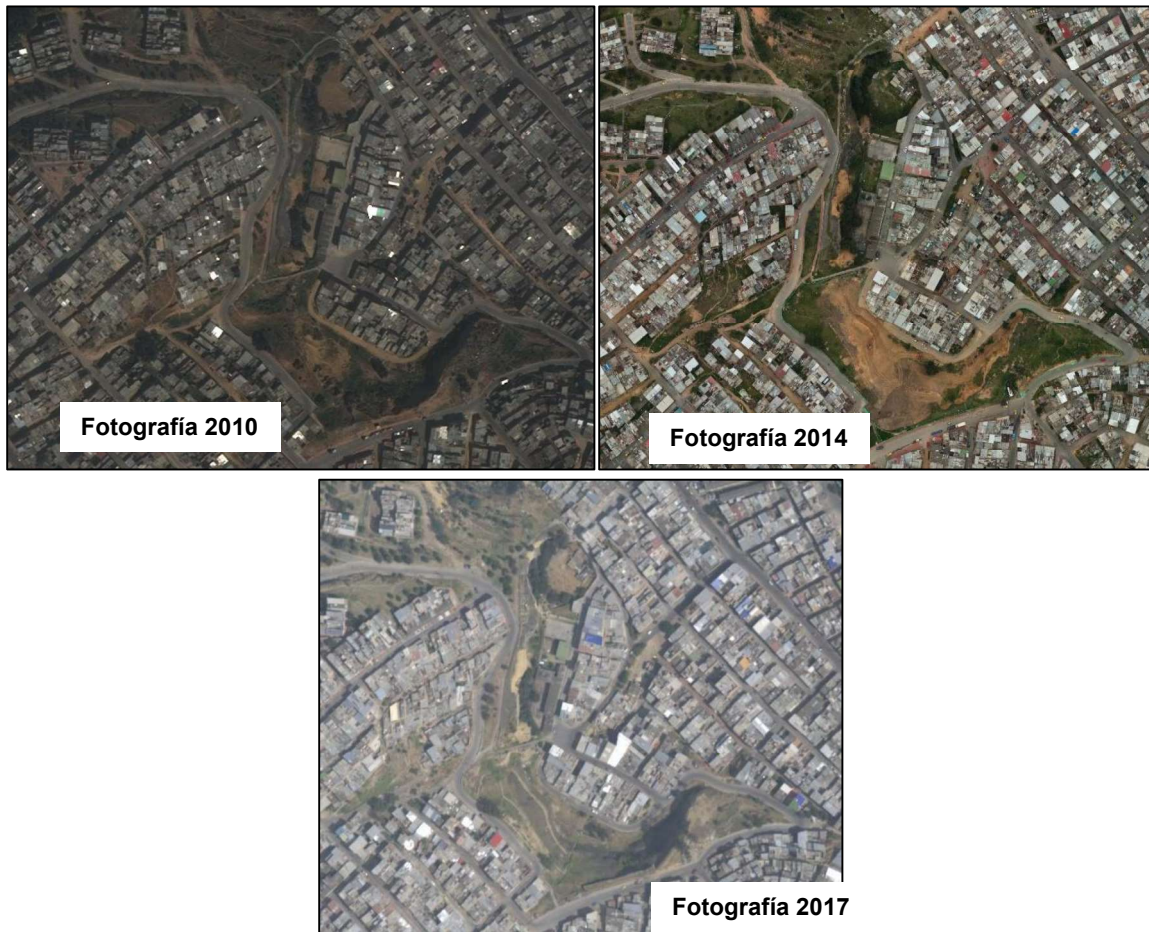
Como insumos cartográficos secundarios para el proyecto se cuenta con la plancha del IGAC 246 IIB (Anterior a 1990), así mismo se cuenta con la cartografía actualizada existente en la plataforma IDECA, la cual contiene las curvas de nivel de la ciudad actualizadas al año 2016 –UAECD, la hidrografía actualizada al año 2021 así como las diferentes entidades temáticas relacionadas al transporte, Educación, Salud, Seguridad, Ambiente y desarrollo sostenible, así como imágenes y fotografías aéreas de la ciudad; a partir de esta información se realiza el análisis multi-temporal del área en estudio.

**Figura 5      Información cartográfica y de manzanas y predios  
en el área en estudio**



Fuente: IDECA

**Figura 6** Información cartográfica y de manzanas y predios en el área en estudio



Fuente: IDECA

De acuerdo a la revisión del análisis multitemporal se identifican las siguientes condiciones:

- En la fotografía del año 1998 es evidente el paso de la quebrada Canteras, donde la misma no contaba con una debida canalización, afectando directamente el área en estudio, generando procesos erosivos y de socavación en los taludes explotados por actividades mineras.
- Desde la imagen más antigua (1998) se identifica la existencia de la institución educativa, la cancha y el jardín infantil.
- A partir de la fotografía aérea del año 2004 se evidencia la construcción de las escaleras por las cuales se transporta la canalización de la quebrada canteras.
- Desde la imagen identificada en el 2004 hasta la imagen del año 2014 son evidentes la amplia afectación que ha tenido el talud y las evidencias de erosión del mismo, mientras que en la fotografía del 2017 se observa el resultado de las obras de recubrimiento en el talud sur oeste, situación muy diferente al talud nor-este, es cual mantiene el avance de afectación debida a los procesos erosivos.

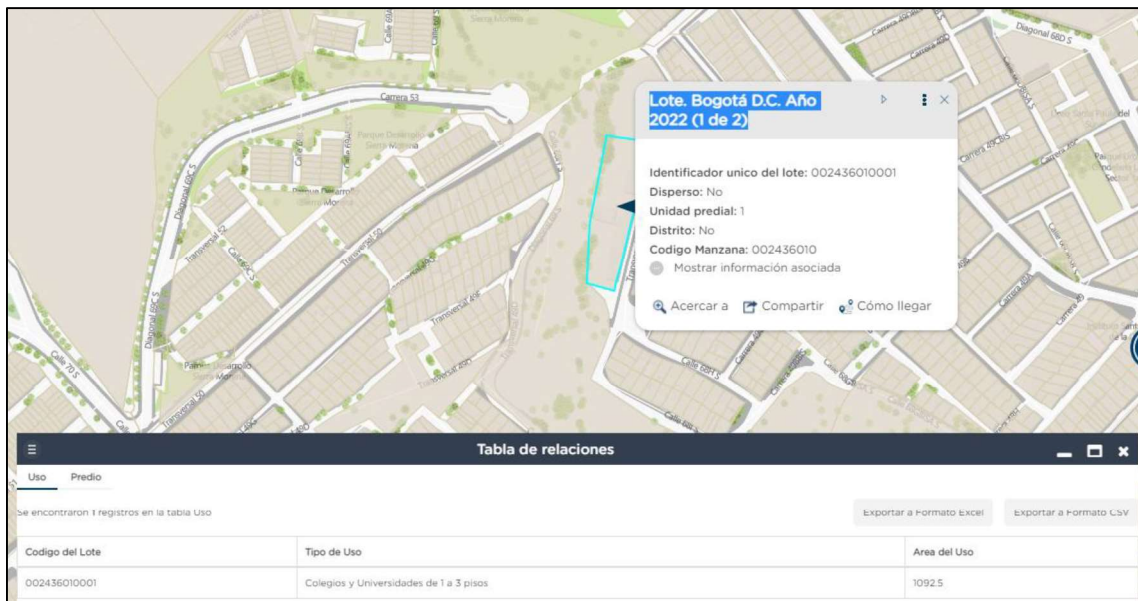
Para el análisis y predial, se desarrolló la verificación en el componente catastral de la base de datos del IDECA, a partir de esta base de datos se categoriza el polígono en estudio a partir de la información relacionada en esta base de datos; en la siguiente figura se presenta la descripción de manzanas de acuerdo a la información existente para el área en estudio.

**Figura 7 Información cartográfica y de manzanas y predios en el área en estudio**



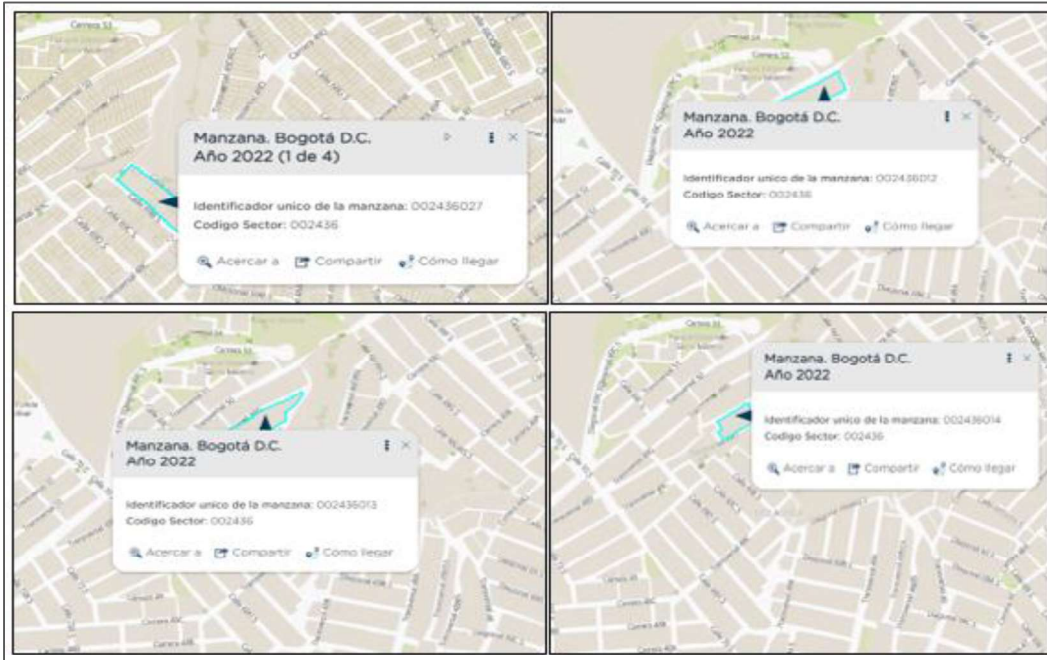
Fuente: IDECA

**Figura 8 Información cartográfica y de manzanas y predios en el área en estudio**



Fuente: IDECA

**Figura 9** Información cartográfica y de manzanas y predios en el área en estudio



Fuente: IDECA

Así mismo el IDIGER en el año 2020, desarrollo la perfectibilidad catastral del proyecto, mediante el cual identifique 73 predios afectados dentro del polígono en estudio, en la siguiente figura se presenta el polígono afectado y los predios incluidos en el mismo.

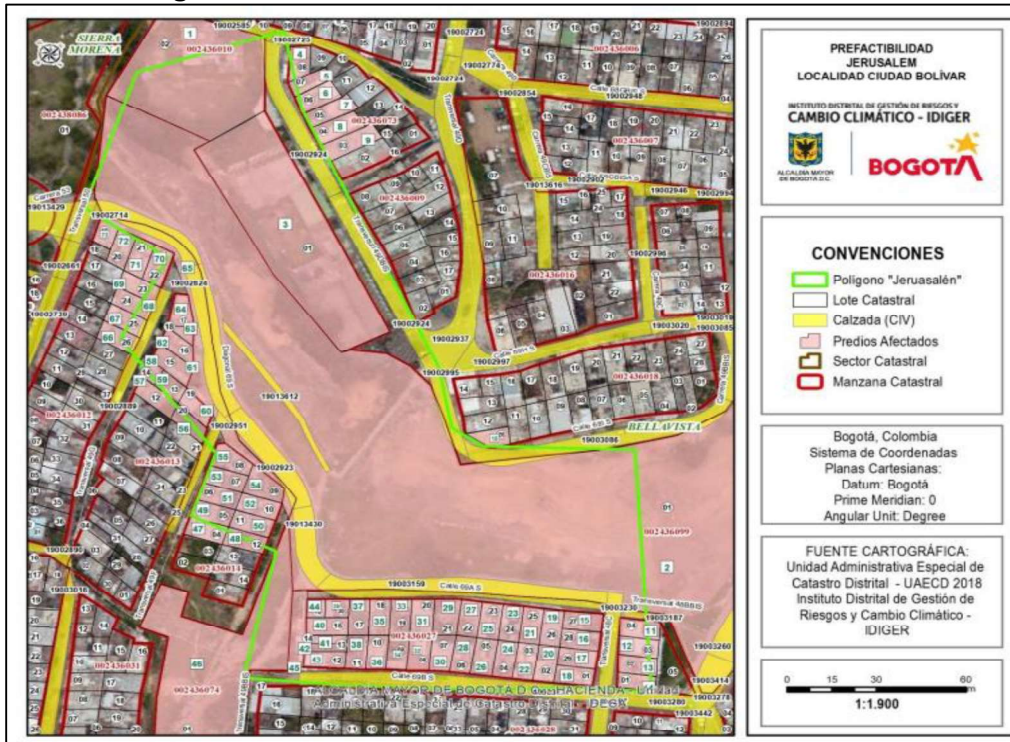
**Figura 10** Delimitación predial del área en estudio



Fuente: Informe de perfectibilidad IDIGER (2020).

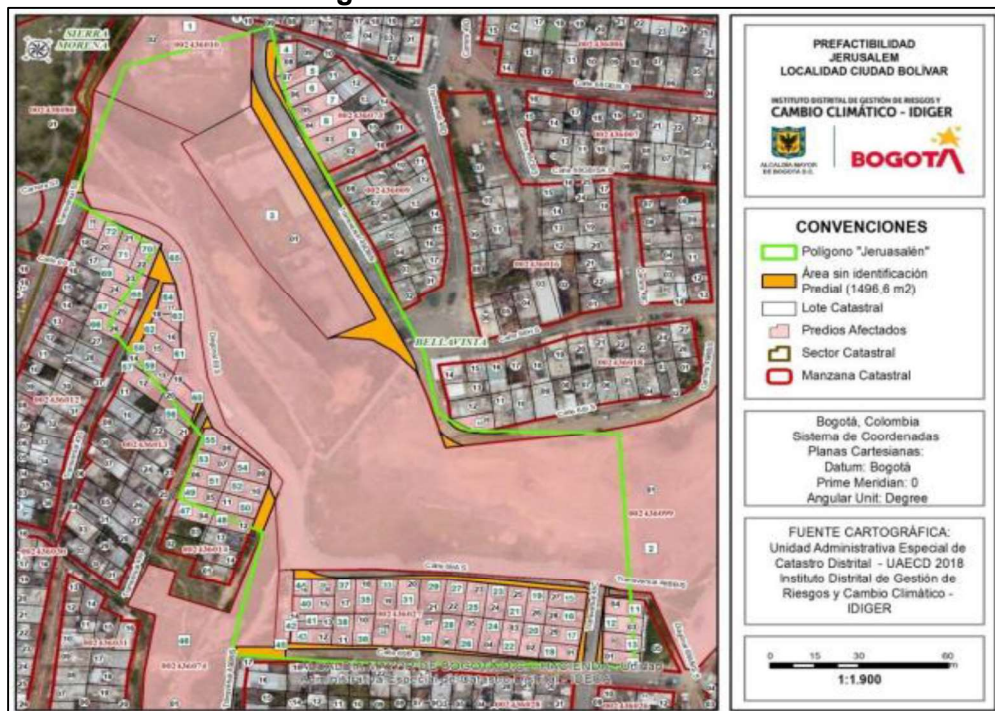


**Figura 11** Áreas inmersas en vías



Fuente: Informe de pefactibilidad IDIGER (2020).

**Figura 12** Áreas sin identificar



Fuente: Informe de pefactibilidad IDIGER (2020).

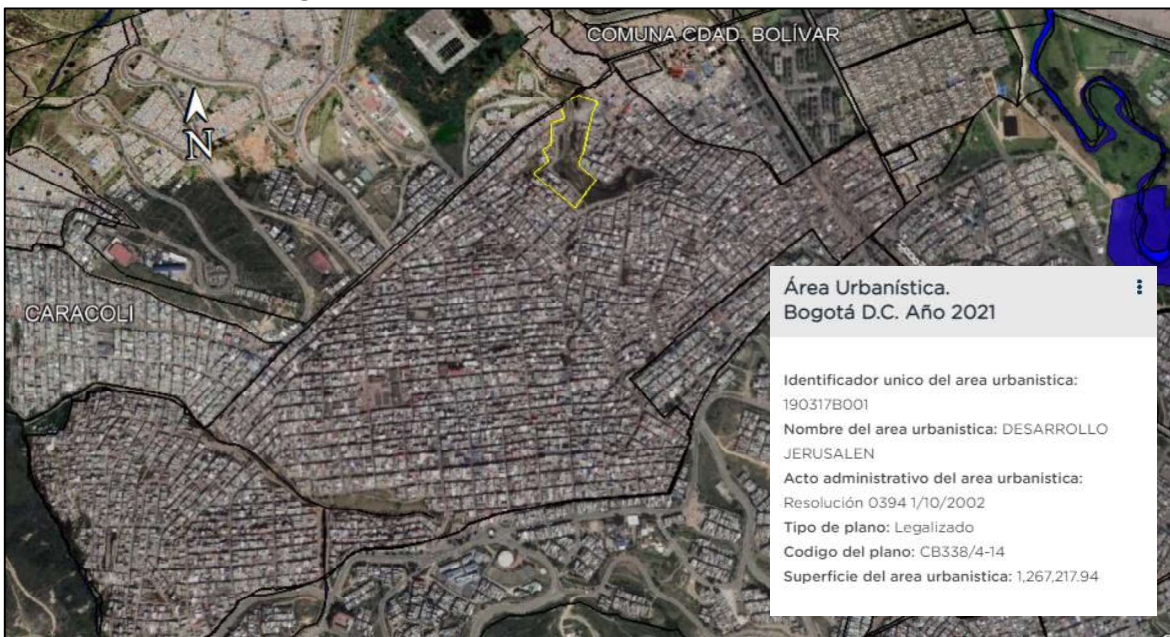
A partir de la revisión de información evaluada en la pefactibilidad predial, es posible identificar que dentro del polígono en estudio con un área aproximada de 2.5 ha se

identifican 73 predios de los cuales únicamente 13 predios se encuentran registrados y cuentan con matrícula, los predios restantes no se encuentran registrados en la UAECD ni en la capa geográfica DADEP, adicionalmente se identifica que existen 12 polígonos pertenecientes a la malla vial, con área total igual a 4.070,03 m<sup>2</sup>, también a partir de este estudio es posible identificar que existe una franja de 1496.6 m<sup>2</sup> que no se encuentra identificada, es decir no cuenta con titularidad ni tampoco pertenece a la malla vial, razón por la cual se hace necesario identificar esta titularidad siempre que las obras a proyectar afecten dichas áreas.

#### 4.1.14 Determinantes urbanas e infraestructura

Para la revisión de determinantes urbanas e infraestructura, se realiza la verificación inicialmente en la base de datos abiertos del IDECA, en la misma se identifica que el polígono en estudio se localiza sobre el área urbanística identificada como 190317B004 mediante resolución 0394 del 01 de octubre del 2002, este desarrollo urbanístico fue denominado como “DESARROLLO JERUSALEN” el cual cuenta con una superficie igual a 126.7 ha, en la siguiente figura se presenta gráficamente el desarrollo urbanístico mencionado, junto con los límites de este, en la delimitación presentada también es posible identificar que el desarrollo urbanístico se encuentra en estado: Legalizado.

**Figura 13** Delimitación del desarrollo urbanístico.



Fuente: IDECA

Así mismo, se realiza la consulta en el sistema geográfico IDU, con el fin de evaluar y verificar las condiciones urbanísticas, localización de calzada y afectación en el área en estudio, estas se visualizan en las siguientes imágenes.

**Figura 14** Inventario e intervenciones Urbanísticas IDU

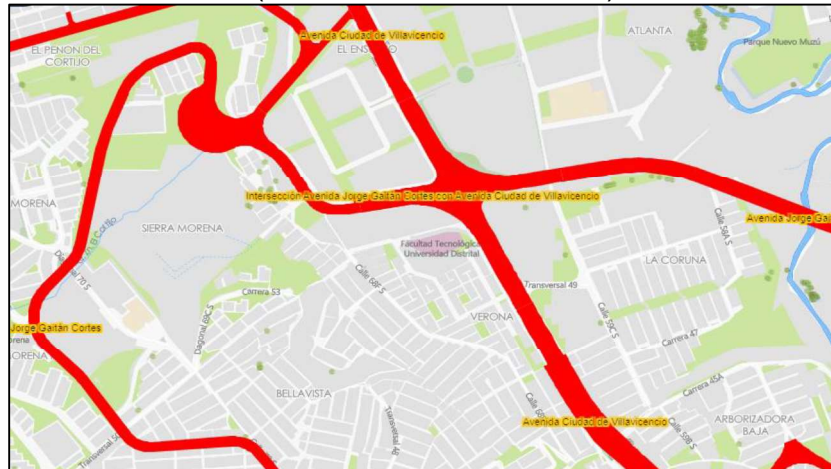


Fuente: <https://idu.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6950db8fa2d440ffbb3946c468eaae4a>

Teniendo en cuenta la información urbanística presentada por el IDU, se identifican suelos clasificados como urbanos, así mismo perimetralmente al área en estudio se delimitan elementos urbanísticos tales como calzadas intermedias y andenes, junto con circuitos de movilidad correspondientes a las escaleras existentes para descender del talud.

En la base de datos de la secretaría distrital de planeación se evalúan y verifican las áreas de planeación, identificando si dentro de la planeación territorial existen afectaciones sobre el área en estudio, al verificar el plano correspondiente a la reserva vial (2019), se identifica que el área en estudio no presenta afectación por dicha planeación.

**Figura 15** Reserva Vial (No se identifica afectación)



Fuente: SDP, (2019).

#### 4.1.15 Recopilación y análisis de información de servicios públicos

Para la recopilación y análisis de la información referente a los servicios públicos se realiza la solicitud de información en las diferentes empresas de prestadoras de servicios públicos en el predio en estudio, las mismas corresponden a EPM Bogotá, ETB y EAAB, teniendo en cuenta la importancia que tienen las redes hidráulicas, sanitarias y pluviales en la proyección de obras estas se describen en detalle a partir de la información contenida en la base de datos del Geoportal establecido por la empresa acueducto, agua y alcantarillado de Bogotá en la siguiente figura se presenta la delimitación de las redes mencionadas.

**Figura 16** Redes de acueducto y alcantarillado en el área del proyecto



Fuente: [https://eab-](https://eab-sigue.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ad170bd1cdc450b823bd22d0786431d&scale=40000)

[sigue.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ad170bd1cdc450b823bd22d0786431d&scale=40000](https://eab-sigue.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ad170bd1cdc450b823bd22d0786431d&scale=40000)

A partir de la información existente se identifica que en el sector en estudio cuenta con alcantarillado Sanitario y alcantarillado pluvial, no se identifica alcantarillado combinado, el alcantarillado Sanitario existente está compuesto por tubería de concreto sin refuerzo con diámetros variable entre 8” y 12”, si bien la plataforma presenta alcantarillado pluvial separado del alcantarillado sanitario, teniendo en cuenta el diámetro de la tubería correspondiente a 30” y 36” en el área donde se ubicaba la canalización de la quebrada Canteras es posible considerar que esta tubería corresponde a una red combinada.

**Figura 17** Detalle de la localización de la red sanitaria 36”



Fuente: [https://eab-](https://eab-sigue.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ad170bd1cdc450b823bd22d0786431d&scale=40000)

[sigue.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ad170bd1cdc450b823bd22d0786431d&scale=40000](https://eab-sigue.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ad170bd1cdc450b823bd22d0786431d&scale=40000)

La red Pluvial corresponde a tubería en concreto sin refuerzo con diámetros de 12”, 24” y 1.30 m”, esta red se encuentra ubicada técnicamente en D4-PL-Tunjuelo-378.

En cuanto a la red de acueducto, se identifica que el polígono en estudio se encuentra en el sector 436, perimetral al talud en estudio se identifica la trayectoria de una red menor en policloruro de vinilo, en servicio con diámetro igual a 3”.

## 4.2 ESTUDIOS BÁSICOS

### 4.2.1 GEOLOGÍA

#### 4.2.1.1 Geología regional

La Sabana de Bogotá está localizada en la parte central de la Cordillera Oriental y en ella afloran rocas desde el Cretácico Superior al Cuaternario las cuales evidencian diferentes condiciones de sedimentación. Comprende la Cuenca Hidrográfica Alta del río Bogotá; y fisiográficamente está conformada por un altiplano o superficie plana con una altura promedio de 2.600 m.s.n.m, la cual es rodeada por montañas con alturas hasta los 3.600 m.s.n.m (INGEOMINAS, 2005). Su deformación tectónica ha sido interpretada en función de la orogenia andina, con estructuras principales orientadas NNE-SSW (Fierro y Ángel, s.f).

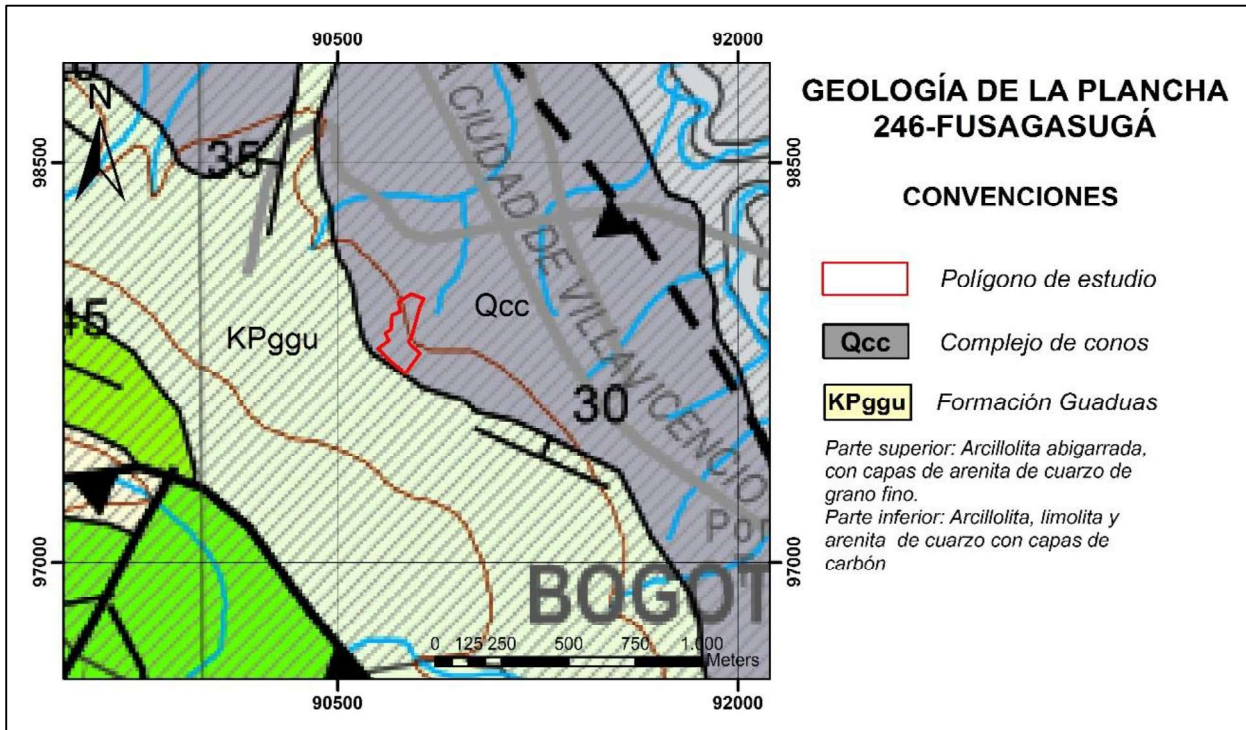
Según la plancha 246 Fusagasugá a escala 1:100.000 generada por el Servicio Geológico Colombiano SGC, el Barrio Jerusalén sector Canteras, ubicado hacia el suroccidente de Bogotá, presenta una alta complejidad estructural, con cambios faciales de algunas unidades litoestratigráficas aflorantes.

La Figura 18 **Recorte de la plancha 246-Fusagasugá** presenta la localización del polígono de estudio en la cartografía geológica regional del SGC. Se reconoce el límite de dos formaciones, complejo de conos, de edad cuaternaria y formación Guaduas, de edad cretácica-paleógena.

El complejo de Conos o Abanicos (Qcc), tal y como es definido por (FOPAE, 2010) consiste de bancos de bloques, guijarros y guijos dentro de una matriz areno arcillosa en las zonas apicales y hacia las partes distales se encuentran materiales predominantemente arenosos y limo arcillosos.

La Formación Guaduas KPggu, con un espesor estimado de 500 m, aflora hacia el sector oriental de la plancha 246 y se diferencia en tres niveles de acuerdo a su carácter litológico y textural. Un nivel inferior, cartografiado con un espesor de 70 m, está constituido por arcillolitas grises amarillentas, con intercalaciones de areniscas de cuarzo, finas, en capas medias a muy gruesas; suprayacido por una secuencia alternante de limolitas de cuarzo, en capas delgadas a medias y arcillolitas grises oscuras. El nivel medio está constituido por areniscas de cuarzo, finas a gruesas, en capas muy gruesas, plano paralelas a ondulosas, con intercalaciones de arcillolitas grises oscuras y amarillentas. Finalmente, el nivel superior consta de lodolitas rojas, con esporádicas intercalaciones de areniscas de cuarzo (INGEOMINAS, 2001).

**Figura 18** Recorte de la plancha 246-Fusagasugá

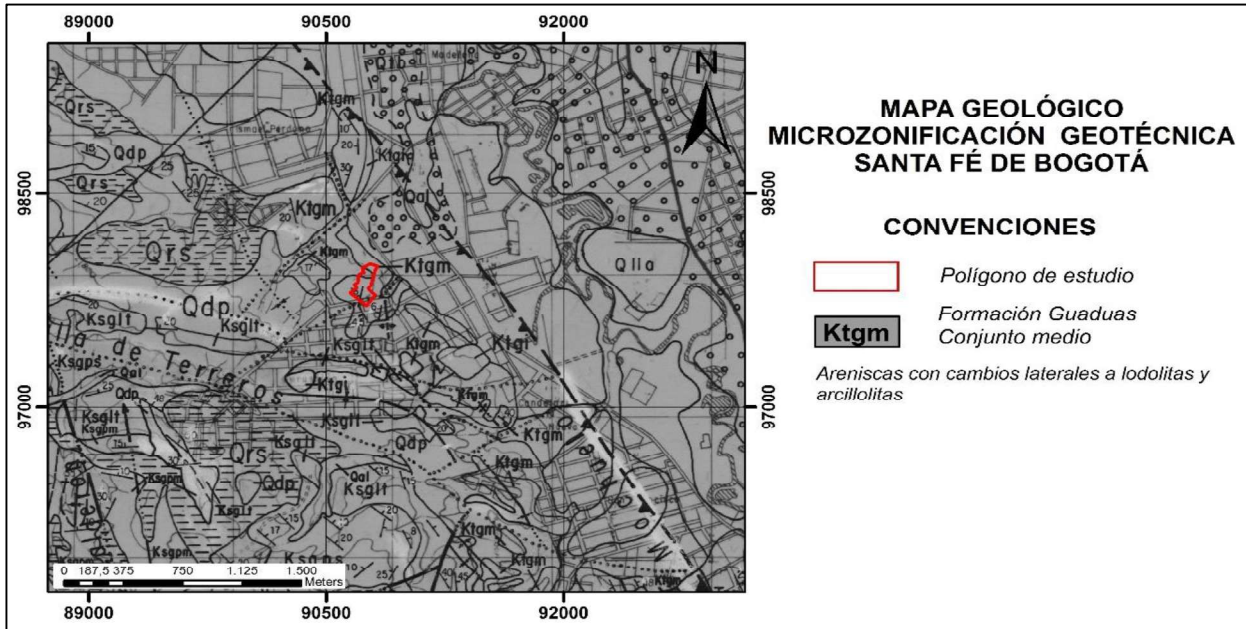


Fuente: SGC (2001)

Previamente INGEOMINAS (1988) expone en su estudio de microzonificación geotécnica un mapa geológico a escala 1:25.000 de la ciudad de Bogotá, en donde se georreferencia al polígono de estudio dentro de la Formación Guaduas-Conjunto medio. Este nivel litológicamente es descrito como areniscas gris claras cuando están frescas y amarillas al encontrarse alteradas; cuarzosas, grano fino a conglomerático, subangular a subredondeado, esfericidad media a alta, de moderadamente a bien sorteadas y con frecuentes cambios laterales a lodolitas y arcillolitas, presentan además intercalaciones de arcillolitas gris oscuras y amarillas (alteradas), blandas, laminadas con restos de plantas y hacia la parte media un manto de carbón de 0.4 m de espesor. Así mismo INGEOMINAS (1988) define una influencia tectónica en el área por la actividad de dos fallas inversas: Falla Mochuelo, con su bloque occidental levantado y rumbo que varía entre N40E

para su parte sur y N40W en su sector norte; y Falla Terreros, con orientación aproximada E-W, la cual evidencia un acentuado fracturamiento y meteorización de las rocas; la intensa meteorización se manifiesta por el desarrollo de suelos residuales de buen espesor, hasta los 3 m. (INGEOMINAS, 2000).

**Figura 19** Formación Guaduas, conjunto medio



Fuente: Consultor

A partir de la revisión en el IDECA Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital de la Unidad Administrativa Especial de Catastro Digital, bajo la revisión de Ambiente y Desarrollo Sostenible se identificó el mapa del levantamiento Geológico Urbano (2017) en escala 1:5000 elaborado por el IDIGER para la zonificación de amenaza por movimientos en masa para el suelo urbano y de expansión urbana. Para el polígono en estudio, se identifica la Formación Guaduas-Conjunto Medio, junto con rellenos y depósitos antrópicos.

A continuación, se describen las unidades identificadas dentro del polígono en estudio (Figura No. 6).

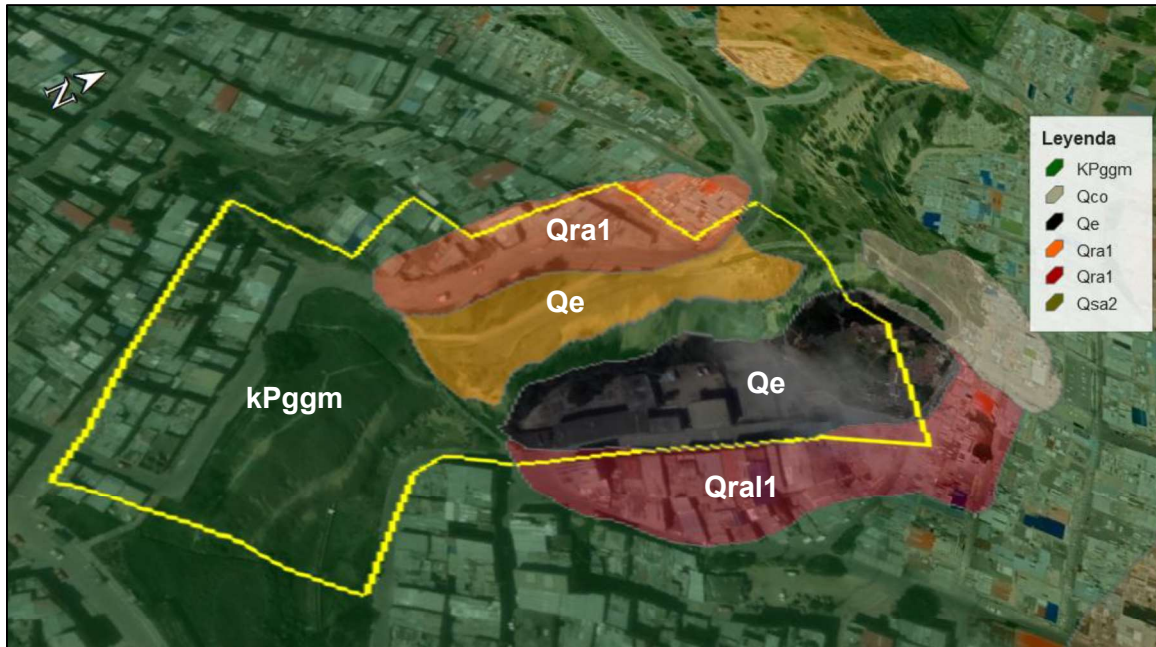
**Formación Guaduas (kPqgm):** Formación Guaduas, Conjunto Medio. Compuesto por arcillolitas frecuentemente carbonosas, (mantos de carbón explotables) y dos niveles de areniscas: La Guía (inferior) y La Lajosa (superior).

**Depósitos de escombros (Qe):** Depósitos antrópicos de escombros sin compactación, como los desechos de actividades mineras.

**Rellenos Antrópicos (Qra1):** Rellenos Antrópicos compactación de escombros, desechos y basuras.



**Figura 20** Mapa de Unidades Geológicas presentadas en el distrito Capital área urbana y sub-urbana, en el polígono en estudio



Fuente: Modificado por el consultor, a partir del Estudio zonificación de amenaza por movimientos en masa para el suelo urbano y de expansión urbana, IDIGER (2017).

#### **4.2.1.2 Geología local**

A nivel local, tal y como fue descrito por diversos autores en estudios anteriores, se reconoce el dominio de la Formación Guaduas- Conjunto medio a través de afloramientos rocosos donde fue posible la toma de datos estructurales y otras características propias del macizo; así como la existencia de saprolitos producto de la meteorización de la unidad en mención. Por otra parte, fueron cartografiados depósitos coluviales asociados a movimientos en masa y antrópicos; incluidos de forma generalizada como depósitos cuaternarios en este capítulo.

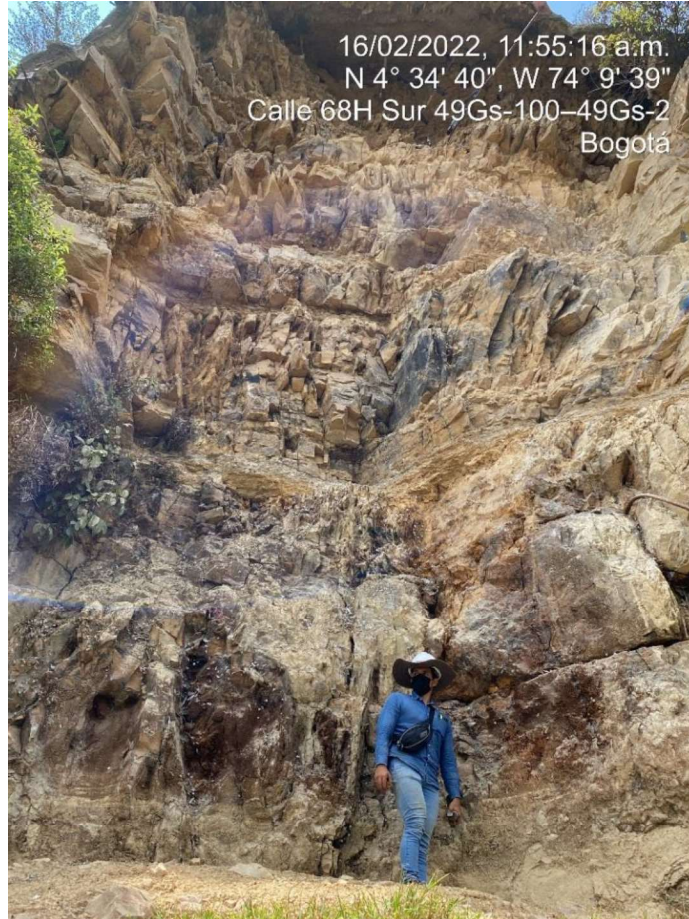
A continuación, se presenta la ubicación, registro fotográfico y caracterización de los afloramientos estudiados en el sector Jerusalén Canteras de la localidad de Ciudad Bolívar.

##### **Afloramiento 1:**

Afloramiento constituido con areniscas cuarzosas competentes de grano muy fino a fino con estratificación cuasi horizontal y bajo ángulo de buzamiento (N62°E/12NW, N65°E/10°NW), de color grisáceo claro, muy fracturadas, intercaladas hacia el sector medio del talud con arcillolitas friables, de tonalidades pardas, quienes se presentan en forma de intercalaciones lenticulares centimétricos. Hacia el tope del afloramiento continúa los

niveles estratificados de arenisca, con una dirección principal de diaclasamiento ortogonal a la estratificación de la unidad.

**Figura 21** Afloramiento 1-Formación Guaduas conjunto medio. Coordenadas 90768,491 mE, 97958,535 mN



Fuente: Consultor

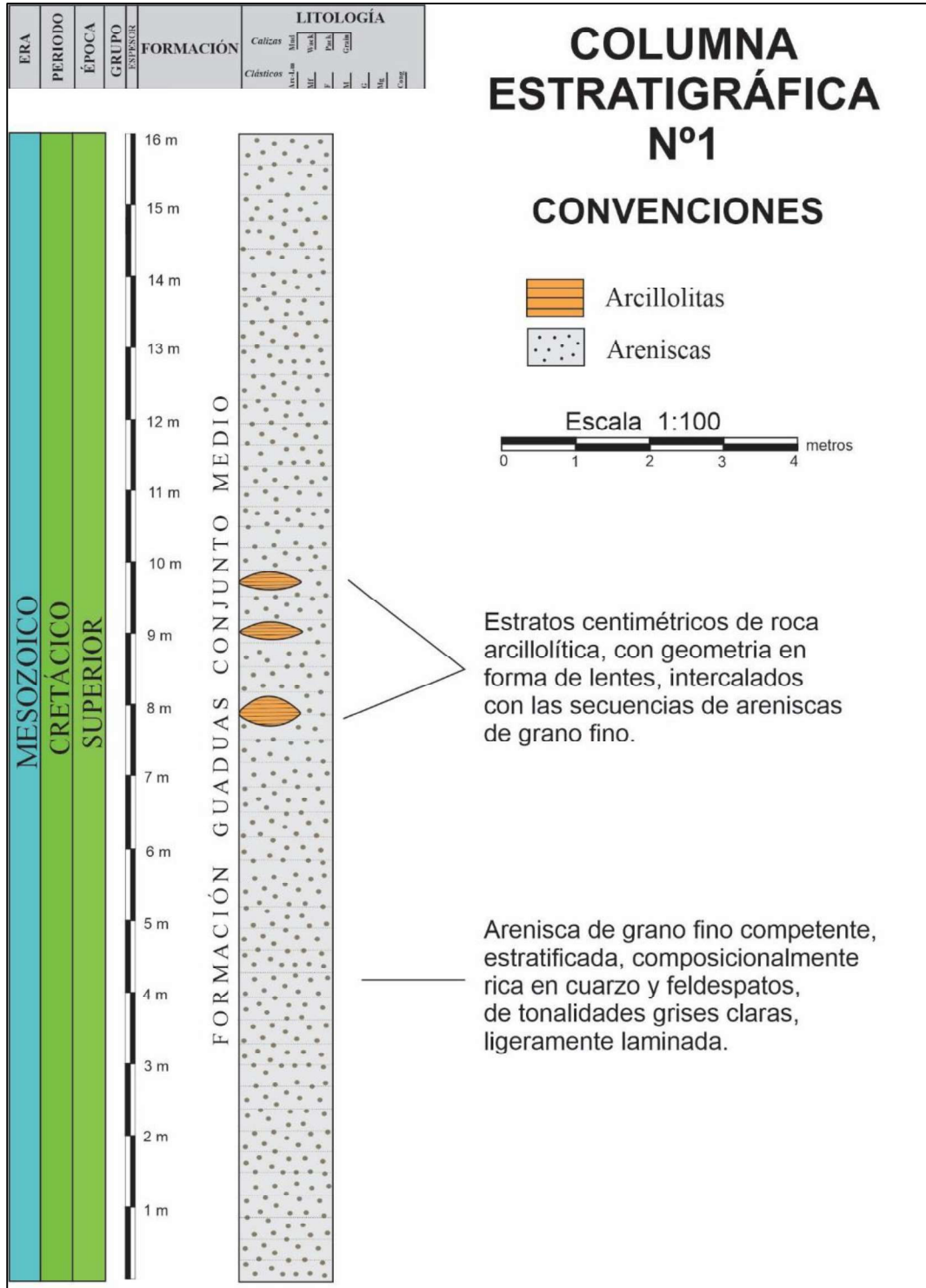
**Figura 22** Niveles centimétricos de roca arcillolita en forma de lentes intercalando la secuencia de arenisca



Fuente: Consultor

Con lo anterior se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica detallada (Figura No.9), donde se especificaron las variaciones texturales, espesores y otras características definidas en el macizo rocoso.

**Figura 23 Levantamiento columna estratigráfica afloramiento 1**



Fuente: Consultor

### Afloramiento 2:

El talud expuesto presenta un proceso morfodinámico activo, el cual será explicado con más detalle en el numeral 7.4. En este sector fue posible identificar las litologías aflorantes, pero no se conoce con exactitud la continuidad de los estratos y el espesor de los mismos. Las evidencias del depósito coluvial en la base del afloramiento y el talud negativo en los niveles superiores del mismo indican una predominancia de roca arcillolítica, intercalados con estratos de arenisca de baja compacidad muy fracturados. En la parte media y la base del talud continúan niveles arenosos de baja compacidad, afectados por procesos erosivos intensos que afectan la calidad del macizo.

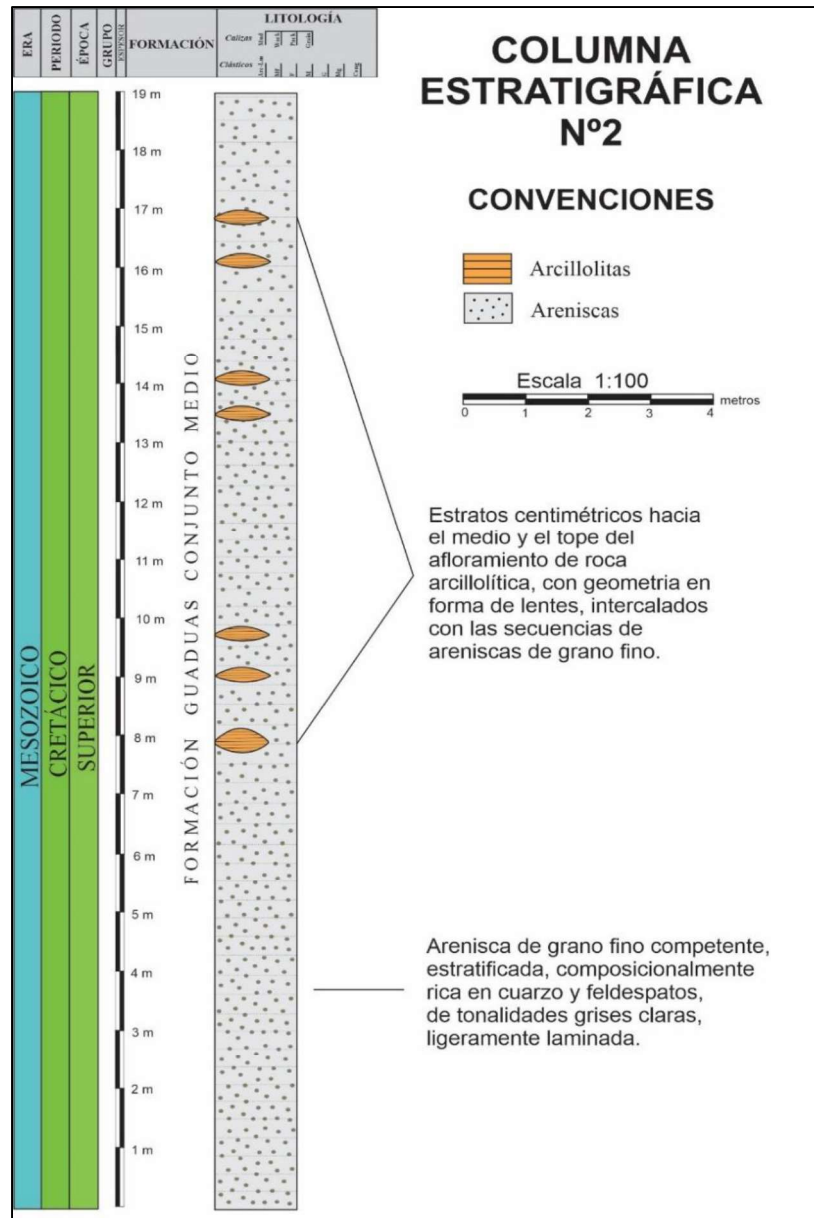
**Figura 24** Afloramiento 2-Formación Guaduas Conjunto medio. (A) Niveles de arenisca de baja compacidad y muy fracturados (B) Fragmentos de roca arcillolítica formando el depósito coluvial en la base del talud. Coordenadas 90761,811 mE 97937,087 mN



Fuente: Consultor

Con lo anterior se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica detallada (Figura No. 11), donde se especificaron las variaciones texturales, espesores y otras características definidas en el macizo rocoso.

**Figura 25** Levantamiento columna estratigráfica afloramiento 2

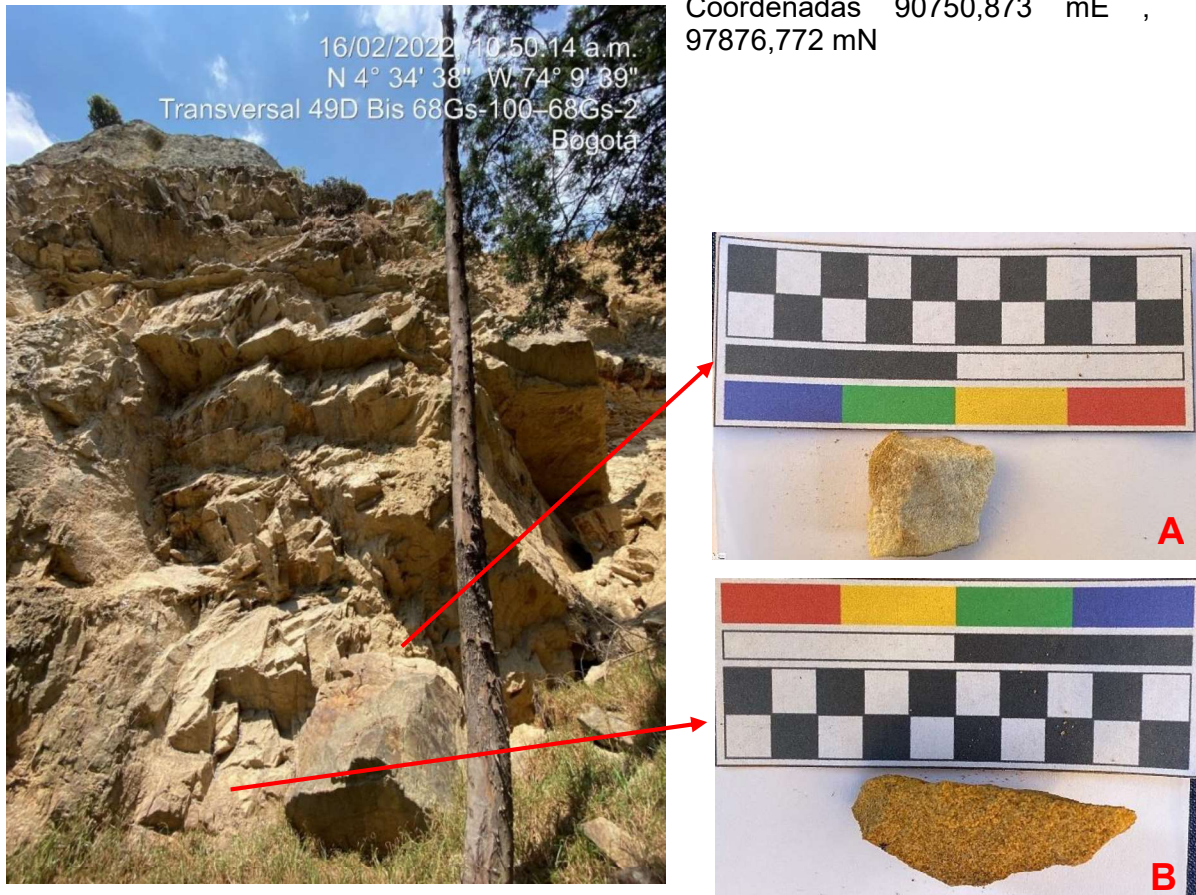


Fuente: Consultor

**Afloramiento 3:**

Se considera el afloramiento más representativo de la zona de estudio, pues fue posible realizar una interpretación de las principales familias de diaclasamiento y evaluar las diferencias texturales de la roca.

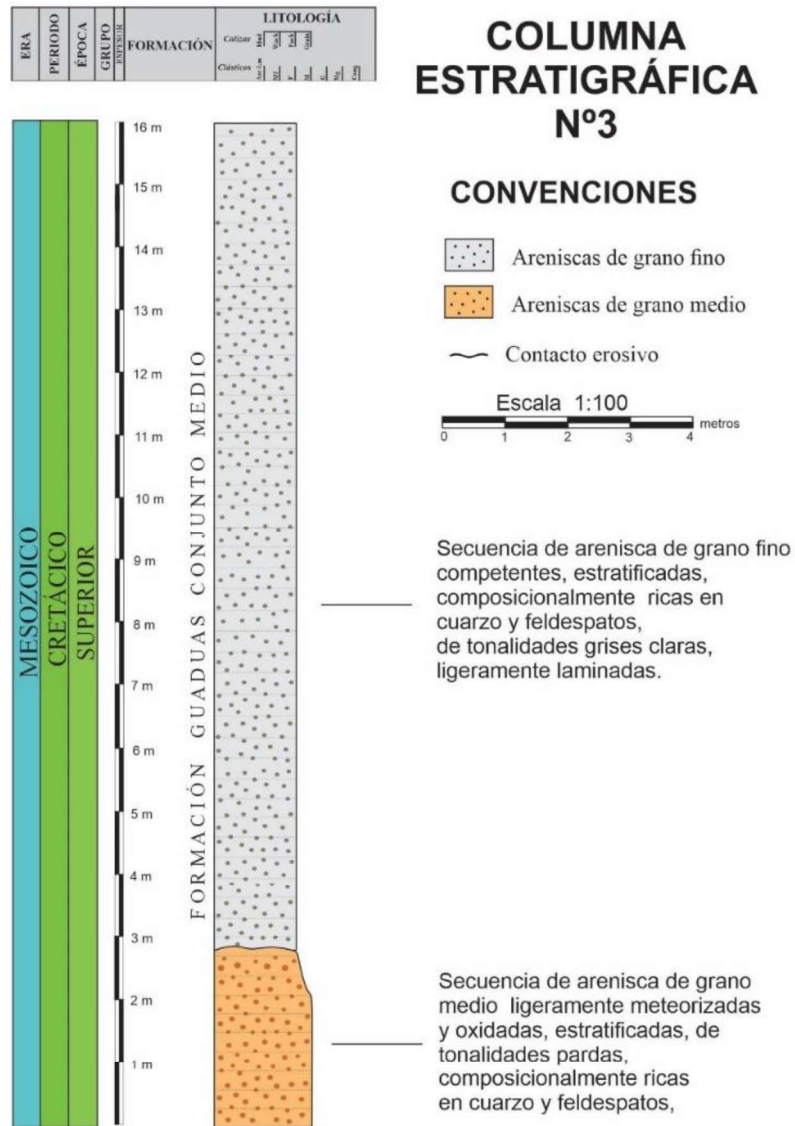
**Figura 26** Afloramiento 3-Formación Guaduas Conjunto medio. (A) Arenisca cuarzosa de grano fino a muy fino (B) Arenisca cuarzosa de grano medio. Coordenadas 90750,873 mE , 97876,772 mN



Fuente: Consultor

El talud presenta una secuencia continua de niveles de areniscas, sin evidencia de niveles de arcillolita intercalando la unidad. La roca presenta una variación en su tamaño de grano, identificando una secuencia grano decreciente con una arenisca de grano medio, cuarzosa, de tonalidades pardas y muy meteorizada en la base de la secuencia que transiciona a niveles de arenisca de tamaño fino a muy fino de tonalidades grisáceas claras. El grado de resistencia a la compresión para esta secuencia de areniscas se encuentra en el orden de 40-50 MPa. Presenta 4 direcciones preferenciales de diaclasamiento. Con lo anterior se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica detallada (Figura No. 13), donde se especificaron las variaciones texturales, espesores y otras características definidas en el macizo rocoso.

**Figura 27** Levantamiento columna estratigráfica afloramiento 3

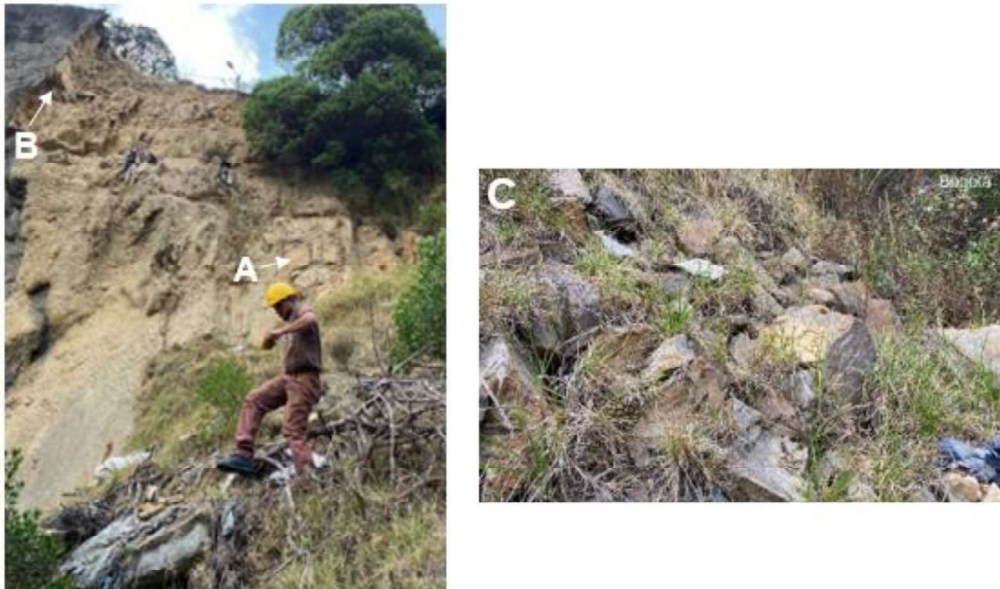


Fuente: Consultor

En apoyo a la cartografía de afloramientos rocosos, se realizó un recorrido y georreferenciación de puntos de control en las zonas donde no era posible caracterizar los materiales por no evidenciarse taludes expuestos. Dicha revisión estuvo localizada principalmente hacia el SE y N del área. Igualmente, la exploración geotécnica contribuye a su vez a la caracterización de los materiales en estos sectores.

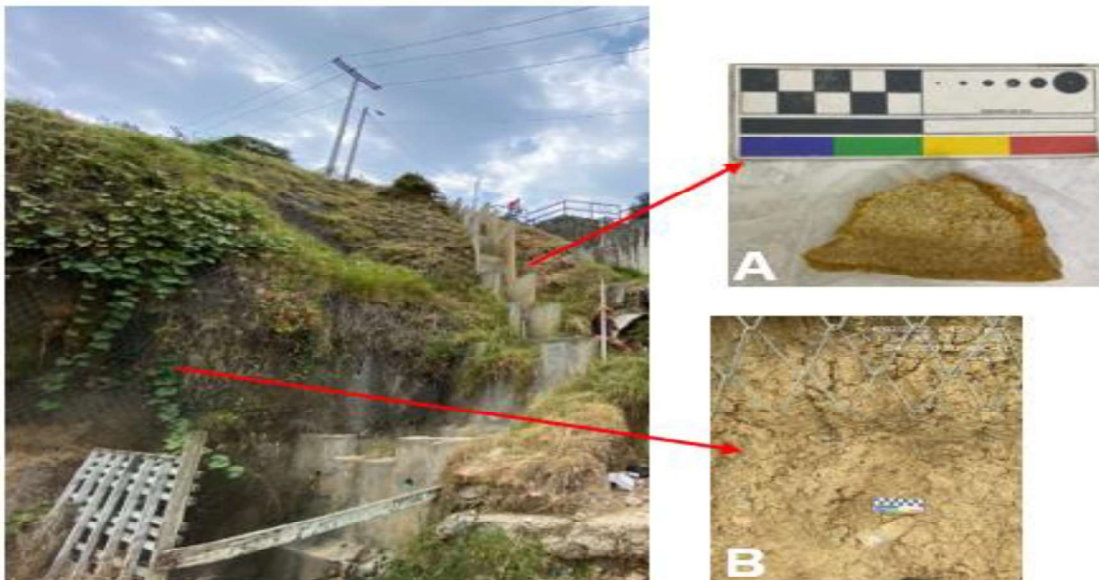


**Figura 28** Punto de control 1-Formación Guaduas Conjunto medio (A) Arenisca cuarzosa de grano medio (B) Niveles centimétricos de arcillolitas (C) Depósitos coluviales por caída de rocas. Coordenadas 90764,887 mE 97987,866 mN



Fuente: Consulto

**Figura 29** Punto de control 2-Formación Guaduas Conjunto medio. Talud intervenido con otra geotécnicas de estabilización y otras obras hidráulicas (A) Niveles de arenisca de grano medio meteorizados y con aureolas de oxidación (B) Saprolitos de los niveles de areniscas. Coordenadas 90745,625 mE 97845,25 mN



Fuente: Consulto

A continuación, se expone el mapa de geología local del área de estudio, donde se diferencian

s sectores que aún conservan materiales autóctonos de la unidad geológica Guaduas y las zonas en donde se han generado depósitos cuaternarios.

**Figura 30** Mapa geológico local del área de estudio



Fuente: Consultor

Los depósitos cuaternarios presentan composiciones y espesores variables, y una distribución predominante en el área a causa de los cambios totales de las condiciones geológicas del terreno por la intervención y adecuación urbana, los cuales depositan y consolidan con el tiempo niveles de escombros, desechos, antiguos materiales de explotación y de construcción, mezclados con materia orgánica, y, en algunas ocasiones, con materiales in situ como suelos y fragmentos de roca.

#### **4.2.1.3 Geología estructural**

La tectónica de la Sabana de Bogotá ha sido definida como de estilo estructural compresivo, donde son típicos los anticlinales estrechos y los sinclinales amplios, con una tendencia de

dirección NNE-SSW, generalmente limitados por fallas de cabalgamiento definidas por la falta de registro estratigráfico (Fierro y Ángel, s.f). Regionalmente, INGEOMINAS (1988) define la

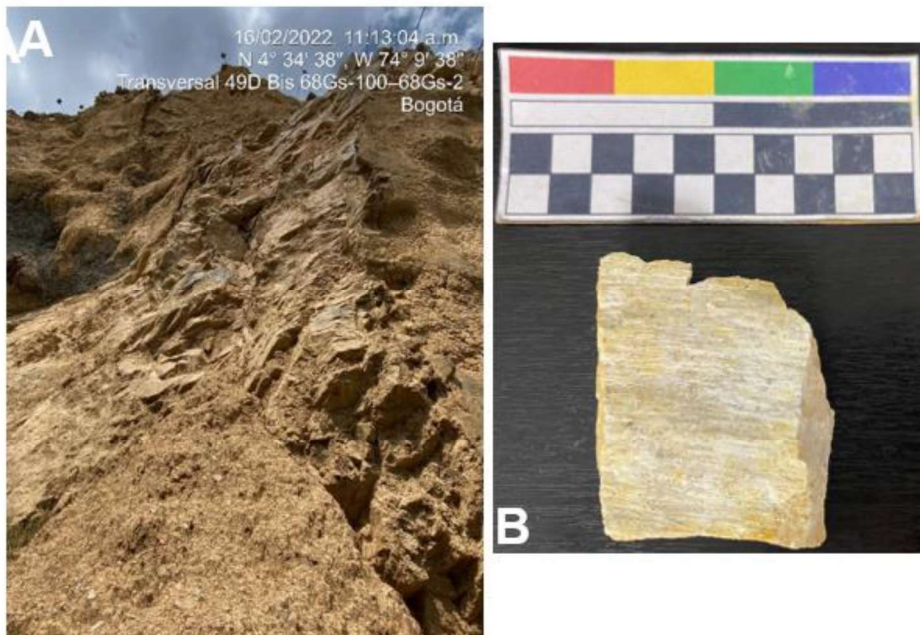
influencia de dos fallas inversas, la Falla Mochuelo y la Falla Terreros. El trazo de estas estructuras es expuesto en la Figura No. 5.

Posteriormente, INGEOMINAS (1995) en la evaluación geotécnica realizada para el sector Canteras del barrio Jerusalén, distingue 3 fallas locales de poco desplazamiento, de la siguiente

manera: Sector Canteras, orientada N70°E/90; Sector intermedio N60°E/70-90S y Sector Nueva Argentina N60E/75SE.

Los estudios geológicos adelantados en esta investigación corroboraron los antecedentes de la dinámica estructural presente en el área. Se identificó una falla geológica de carácter local, aparentemente con un alto ángulo de buzamiento, las evidencias en roca indican un fuerte diaclasamiento con la disgregación casi total de los niveles estratificados formando perfiles saprolíticos continuos, procesos morfodinámicos activos de tipo caída y flujo, estrías de falla y harina de falla en fragmentos que forman depósitos coluviales y acuñaamiento de estratos de arcillolita en la parte media y superior del afloramiento lo que indica una interrupción de la estratificación por la actividad tectónica presente en el sector. Aunque no fue posible definir el tipo de movimiento por la inexistencia de una capa guía en el talud, se estima que la estructura presenta una dirección NE y su dinámica causó el levantamiento del bloque izquierdo donde fue cartografiado el afloramiento N°3, lo que confirmaría que la inexistencia de niveles arcillosos en este talud fue debido a la erosión de las capas superiores de la Formación Guaduas dejando expuesto solo niveles continuos de areniscas estratificadas. La Figura No. 17 presenta algunas de las evidencias de la zona de falla descrita anteriormente.

**Figura 31** Zona de falla de carácter local afectando a las litologías de la Formación Guaduas. (A) Niveles de arenisca fracturados y meteorizados. (B) Estrías de falla en fragmentos de roca arenisca transportados y depositados en la base del talud (C) Estratificación discontinua con acuñaamiento de capas de arcillolita. Coordenadas 90747 E 97900 N





Fuente: Consultor

#### 4.2.1.4 Análisis cinemático del macizo rocoso

El estudio de la orientación de las discontinuidades y su influencia en la estabilidad de taludes se lleva a cabo mediante el empleo de la técnica conocida como proyección estereográfica. Fundamentalmente existen tres tipologías de inestabilidad de taludes en roca: rotura plana, rotura por cuñas (cuneiforme) y vuelco (toppling). Con esta herramienta es posible analizar la estructura del macizo rocoso en relación con los taludes a ejecutar, y determinar si la orientación de las discontinuidades y su rugosidad hacen que se cumplan los requisitos cinemáticos que puedan dar lugar a una de las 3 tipologías de inestabilidad de taludes en roca (Laín Huerta, s.f)

**Falla por rotura planar:** La rotura plana de taludes tiene lugar sobre todo en macizos rocosos constituidos por rocas de resistencia media o alta afectadas por fallas y diaclasas. Este tipo de rotura consiste en el deslizamiento de una masa de roca a lo largo de un plano de discontinuidad que ha quedado descalzado por la cara del talud. Para que se produzca este tipo de rotura debe cumplir que, el buzamiento del plano del talud sea mayor que el de la discontinuidad, y por otra parte, que el rumbo del plano de discontinuidad por donde tiene lugar la rotura sea paralelo o casi paralelo al rumbo del plano del talud, con una desviación máxima de 20° (Laín Fuerta, s. f)

**Falla por rotura en cuña:** La rotura en cuña es un tipo de deslizamiento traslacional que está controlado por dos o más discontinuidades (estratificación, esquistosidad, diaclasas, fallas, etc). Este tipo de deslizamientos generalmente se dan en macizo rocosos resistentes, con discontinuidades bien marcadas. Cuando la cuña está formada por la intersección de dos

discontinuidades o superficies de debilidad, si ambas superficies se inclinan en sentido diferente, se denomina cuña directa. Cuando la inclinación de dichas discontinuidades va en el mismo sentido, reciben el nombre de cuña inversa. Para que se produzca el

deslizamiento de la cuña es necesario que la línea de intersección de los dos planos de discontinuidad tenga menor

inclinación que el plano del talud, que aflore en éste y, además, que los planos que forman la cuña afloren en el terreno natural (Laín Huerta, s. f).

**Falla por rotura en vuelco:** Las roturas por vuelco de taludes aparecen principalmente cuando el rumbo del plano de discontinuidad, falla, estratificación, etc, coincide aproximadamente con el del plano del talud y además tiene un fuerte buzamiento hacia el interior del macizo rocoso, mayor a 65° (Laín Fuerta, s. f). Se caracteriza por una rotación de la columna o bloque de roca sobre su base, bajo la acción de la gravedad, fuerzas desarrolladas por rocas adyacentes o empuje del agua al penetrar en las discontinuidades.

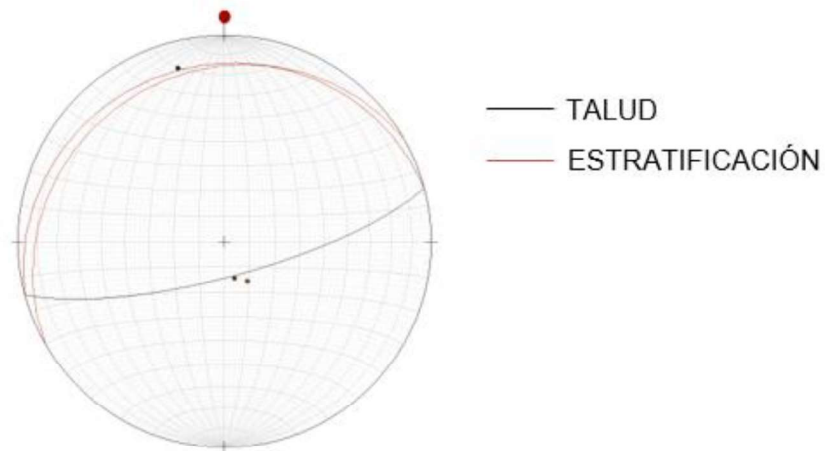
A continuación, se presenta el análisis cinemático realizado en estereogramas a partir de las familias de diaclasas definidas en el afloramiento N°3 del área de estudio. Para la digitalización de los estereogramas se utilizó las herramientas de Stereonet Program de Visible Geology (<https://app.visiblegeology.com/stereonetApp.html>). Los datos estructurales recolectados en campo se exponen en la Tabla No. 9.

**Tabla 9** Dirección de discontinuidades en el afloramiento 3

SISTEMA	DISCONTINUIDAD	DATO ESTRUCTURAL
D1	1	N86°E/53°SE
	2	N88°E/55°SE
	3	N89°E/53°SE
	4	N86°E/50°SE
	5	N85°E/55°SE
D2	1	N35°W/76°NE
	2	N29°W/70°NE
	3	N36°W/79°NE
	4	N40°W/75°NE
D3	1	N65°E/45°NW
	2	N60°E/50°NW
	3	N50°E/55°NW
	4	N56°E/60°NW
D4	1	N20°E/82°NW
	2	N15°E/83°NW
	3	N13°E/80°NW
	4	N18°E/80°NW
ESTRATIFICACIÓN	1	N70°E/15°NW
	2	N61°E/18°NW
TALUD	1	N75°E/76°SE

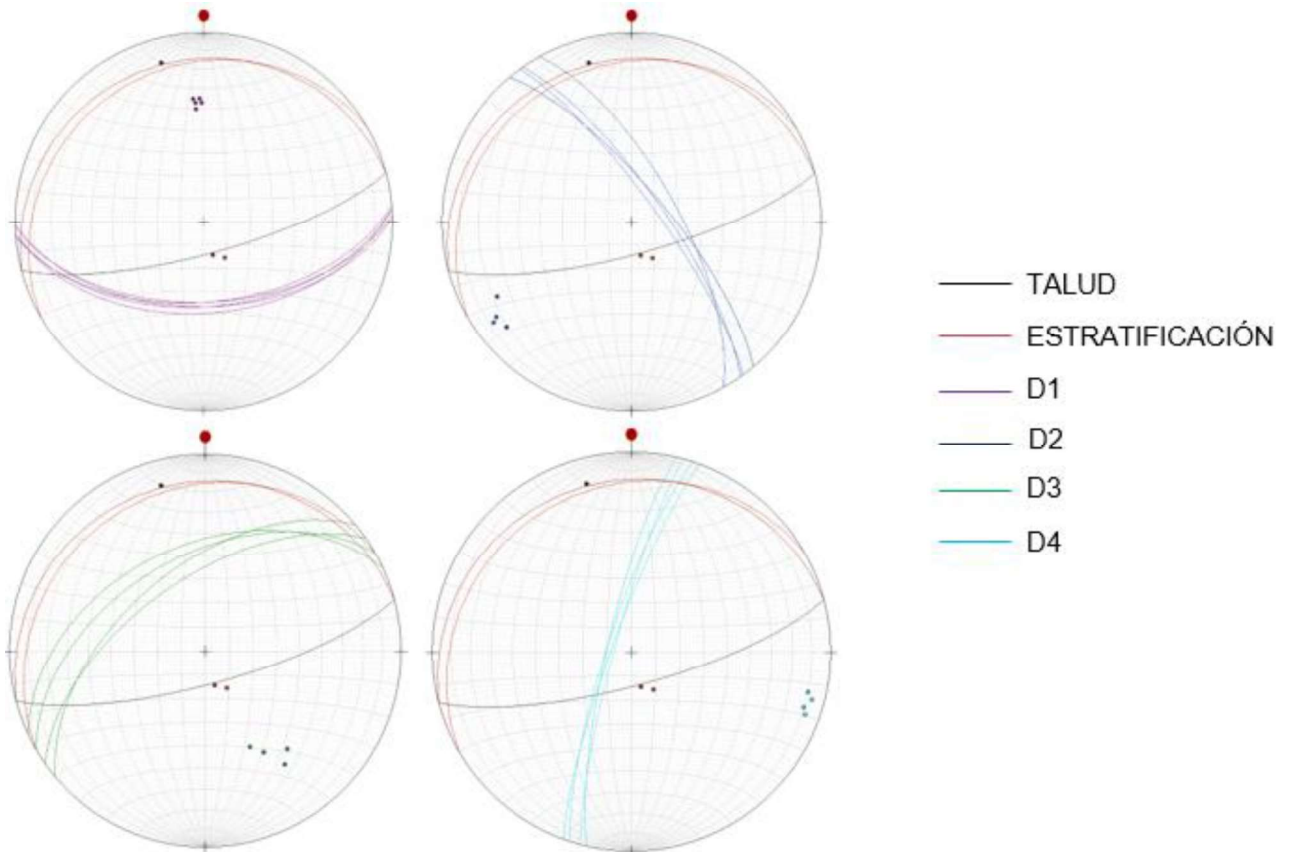
Fuente: Consultor

**Figura 32** Proyección estereográfica del plano de estratificación para el análisis del macizo rocoso en el afloramiento N°3



Fuente: Consultor.

**Figura 33** Proyección estereográfica de los planos de discontinuidades para el análisis del macizo rocoso en el afloramiento N°3

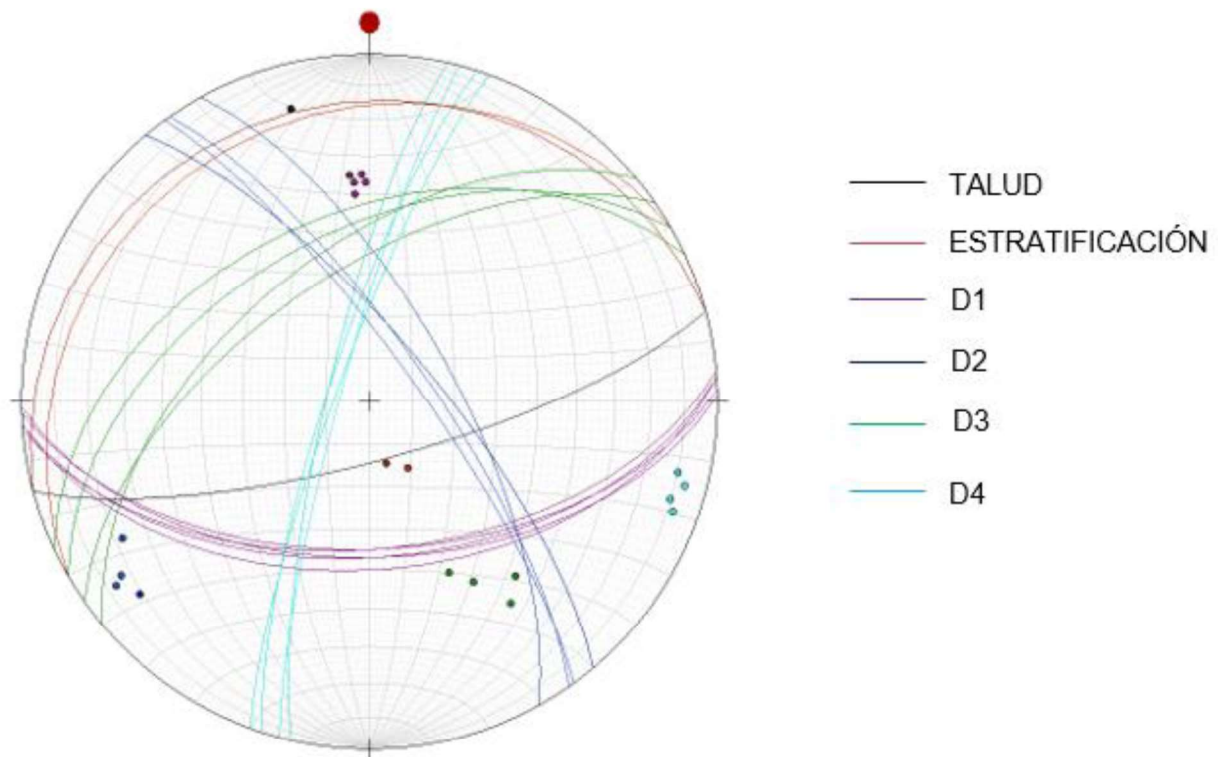


Fuente: Consultor.

La proyección estereográfica de la Figura No. 18 corrobora las evidencias en campo sobre la disposición de los estratos, pues el rumbo de la estratificación coincide aproximadamente con el dato del talud y buza en contra de la pendiente de éste. Al buzar con bajo ángulo (15-18°) no se genera una rotura en vuelco. Lo mismo ocurre con la familia de diaclasas D3 que se observa en la Figura No. 19, si bien la discontinuidad buza en dirección contraria a la pendiente del talud, su dato de rumbo se aleja considerablemente y su buzamiento no es de alto ángulo, con mediciones promedio de 50°.

Por otra parte, en la Figura No. 19 se puede identificar un tipo de rotura plana en el macizo a causa de la familia de diaclasas D1, pues el rumbo de las discontinuidades es casi paralelo al rumbo del plano del talud, con una desviación máxima de 14°, los planos de las diaclasas buzan en dirección favorable a la pendiente y presentan ángulos menores al buzamiento medido en el talud de roca.

**Figura 34** Proyección estereográfica general para el afloramiento N°3



Fuente: Consultor.

Finalmente, la proyección estereográfica general para el afloramiento (Figura No. 20), donde se encuentran graficados todos los planos de discontinuidad medidos en campo, muestra que, las familias de diaclasas D1 y D3 forman un tipo de rotura en cuña, los planos de debilidad buzan en

direcciones contrarias entre sí y la línea de intersección entre ellos presenta menor inclinación que el plano del talud.

#### 4.2.1.5 Caracterización del macizo rocoso

A continuación, se presenta los análisis RMR Y SMR con el fin de categorizar la calidad del macizo rocoso evaluado en el afloramiento N°3.

**Tabla 10 Alificación del macizo rocoso a partir del método RMR**

Parámetro		Valor	
1	Resistencia de la roca intacta	Compresión simple (MPa)	40
		Valor	4
2		RQD	<25%
		Valor	3
3		Espaciado de las discontinuidades (m)	6-20 cm
		Valor	8
4	Estado de la discontinuidad	Longitud de la discontinuidad (m)	1-3 m
		Valor	4
		Abertura	1-5 mm
		Valor	1
		Rugosidad	Ligeramente Rugosa
		Valor	3
		Relleno	Duro (<5mm)
		Valor	4
		Alteración	Muy alterada
		Valor	1
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	Nulo
		Condiciones generales	Seco
		Valor	15
<b>PUNTUACIÓN</b>		<b>43</b>	
<b>CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>			
Medianamente desfavorable		-25	
<b>PUNTUACIÓN FINAL</b>		<b>18</b>	

Fuente: Consultor.

La suma de los valores obtenidos para cada parámetro da como resultado el índice de calidad RMR, el cual fue ajustado en función de las discontinuidades, categorizando a las diaclasas como medianamente desfavorables, ya que su disposición permite la generación de fallas tipo planar y en cuña como fue explicado anteriormente en el análisis cinemático del talud. Finalmente, el macizo se clasifica con una puntuación <20, ubicándose en la clase V, con calidad muy baja.



Con los resultados anteriores, se realiza la clasificación SMR, el cual corresponde a un método que determina los factores de corrección adecuados para aplicar la clasificación RMR y caracterizar el tipo de estabilidad que presentan los taludes.

Los resultados del análisis, expuestos en la Tabla No. 11 corroboran la calidad actual del macizo, quien se cataloga como totalmente inestable y requiere medidas de tratamiento y/o corrección como la reexcavación y muros de contención para lograr la protección del talud.

**Tabla 11** Clasificación y estabilidad de los macizos rocosos de acuerdo al método SMR, definiéndose la acción a utilizar

UNIDAD GEOLÓGICA	SMR		CLASE	CLASIFICACIÓN	ESTABILIDAD	ACCIÓN A UTILIZAR
	P	T				
Formación Guaduas-Conjunto medio	12	21.68	V	Muy mala	Totalmente inestable	Reexcavación Muros de contención

Fuente: Consultor.

Los datos recopilados para efectuar el análisis SMR son sintetizados en la Tabla No. 12.

**Tabla 12** Calificación del macizo rocoso a partir del método SMR, afloramiento N°3

Familia	Discontinuidad	$\alpha J$	$\beta J$	$\alpha s$	$\beta s$	Tipo de rotura	F1	F2	F3	F4	RMR	$(F1*F2*F3)+F4$	SMR
D1	1	86	53	75	76	P	0.7	1	-60	10	18	-32	-14
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	2	88	55	75	76	P	0.7	1	-60	10	18	-32	-14
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	3	89	53	75	76	P	0.7	1	-60	10	18	-32	-14
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	4	86	50	75	76	P	0.7	1	-60	10	18	-32	-14
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	5	85	55	75	76	P	0.85	1	-60	10	18	-41	-23
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
D2	1	325	76	75	76	P	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	2	331	70	75	76	P	0.15	1	-50	10	18	2.5	20.5
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	3	324	79	75	76	P	0.15	1	-6	10	18	9.1	27.1
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	4	320	75	75	76	P	0.15	1	-50	10	18	2.5	20.5
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
D3	1	245	45	75	76	P	0.15	0.85	-60	10	18	2.35	20.35
						T	0.85	1	-25	10	18	-11	6.75
	2	240	50	75	76	P	0.15	1	-60	10	18	1	19
						T	0.70	1	-25	10	18	-7.5	10.5
	3	230	55	75	76	P	0.15	1	-60	10	18	1	19
						T	0.40	1	-25	10	18	0	18
	4	235	60	75	76	P	0.15	1	-60	10	18	1	19

						T	0.40	1	-25	10	18	0	18
D4	1	200	82	75	76	P	0.15	1	-6	10	18	9.1	27.1
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	2	195	83	75	76	P	0.15	1	-6	10	18	9.1	27.1
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	3	193	80	75	76	P	0.15	1	-6	10	18	9.7	27.1
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25
	4	198	80	75	76	P	0.15	1	-6	10	18	9.1	27.1
						T	0.15	1	-25	10	18	6.25	24.25

Fuente: Consultor.

## 4.2.2 GEOMORFOLOGÍA

### 4.2.2.1 Geomorfología regional

Los procesos geomorfológicos son dinámicos y corresponden a los cambios que ha sufrido la tierra desde sus comienzos producto de procesos endógenos (geodinámica interna) y exógenos (interacción con la hidrósfera, atmósfera y biósfera) (Carvajal, 2012).

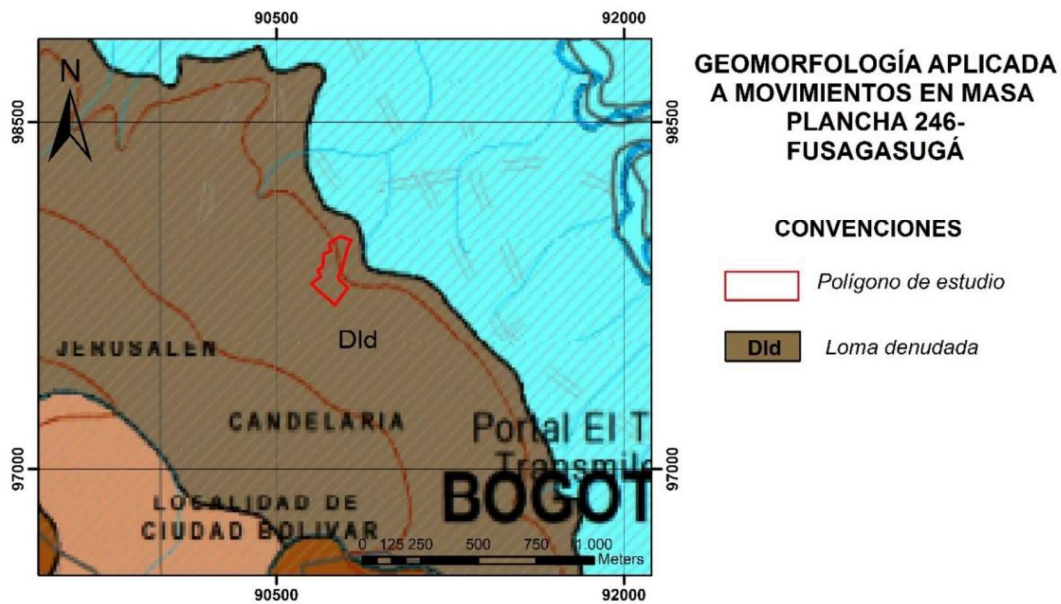
A partir de la información suministrada por el mapa Geomorfológico aplicado a movimientos en masa plancha 246 Fusagasugá a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano (2018), el sector de estudio se rige por un ambiente morfogenético denudacional, con la acción de procesos moderados a intensos de lluvia-escorrentía, meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial. En este orden, INGEOMINAS (2018) describe que dichos procesos erosivos modelan y reducen la topografía existente, generando relictos o remanentes de las unidades originales, tal es el caso de la formación Guaduas, de gran interés en el área, la cual se originó a partir de la erosión y meteorización de rocas del Cretácico.

### 4.2.2.2 Morfogénesis

Se define como el origen de las formas del terreno producto de procesos endógenos y exógenos que dan como resultado el modelado del relieve. Estos procesos ocurren con diferente intensidad y durante intervalos de tiempos geológicos (Carvajal en Rivera & Jácome, 2016)

La Figura No. 21 localiza regionalmente al polígono de estudio sobre una única unidad geomorfológica, loma denudada (Dld), definida como una prominencia topográfica con altura menor de 200 m sobre su nivel de base local, morfología de tipo alomada y elongada, con laderas cortas a muy cortas, pendientes muy inclinadas a abruptas que oscilan entre los 11° y 30° y cimas agudas a subredondeadas. Presenta un patrón de drenaje paralelo a subparalelo con alto grado de incisión, el origen de esta unidad geomorfológica está relacionado con procesos intensos de meteorización y erosión diferencial (INGEOMINAS, 2018).

**Figura 35** Recorte de la plancha de geomorfología regional aplicada a movimientos en masa 246-Fusagasugá



Fuente: SGC (2018).

#### 4.2.2.3 Elementos geomorfológicos

Según lo dictamina la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del SGC (2016), en atención a la escala de trabajo, se requiere de un mapa geomorfológico detallado en lo referente a elementos geomorfológicos, máximo nivel de detalle de una unidad geomorfológica, definido por los rasgos de relieve y por la morfometría detallada del terreno.

Por lo anterior, inicialmente se delimitan los polígonos que identifican los elementos geomorfológicos con el apoyo de los sensores remotos disponibles en el área de estudio. Las herramientas utilizadas para efectuar dicho análisis corresponden a un modelo digital de elevación (DEM) con una resolución de 2 metros, obtenido a partir del procesamiento de una ortofoto previamente georeferenciada del área de estudio con fecha de febrero del 2022. Con el DEM se generaron una serie de capas (mapa de pendientes, sombras, curvatura, aspecto) que permitieron la definición preliminar de los elementos geomorfológicos por el contraste y tendencia de estos insumos empleando un sistema de información geográfica.

Posteriormente, esta fotointerpretación fue complementada con la toma de información en campo, realizando la revisión de geofomas con cambios parciales o totales de cobertura de suelos, laderas con procesos de erosión intensos, zonas intervenidas antrópicamente, etc. De esta manera, se concluye que toda el área de estudio pertenece a un ambiente geomorfológico

antrópico, con el modelado del terreno producto de la excavación y/o relleno efectuado tanto en las antiguas labores mineras como, posteriormente, con la instalación de urbanización en el sector. De igual manera, se tiene en cuenta que el deterioro al que se ven expuestos los taludes en la actualidad, luego de haber sido intervenidos y modificados, es debido a los agentes erosivos y denudacionales activos que se favorecen de factores como la pérdida de cobertura vegetal, el grado pendiente, el nivel de diaclasamiento de los macizos, etc.

#### **4.2.2.4 Ambiente antrópico**

Incluye las geformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, las cuáles modifican la morfología natural del terreno; En total se identificaron y cartografiaron 9 elementos geomorfológicos dentro de este ambiente, los cuales son explicados a continuación:

**Explanación antrópica (Ae):** Superficies del terreno rellenadas por antiguos relaves de la cantera y explanadas para la adecuación de centros poblados y vías.

**Escarpe de explanación antrópica (Aee):** Escarpe formado por el desnivel de explanaciones antrópicas que constituyen centros poblados y vías.

**Talud de corte muy escarpado activo (Atmea):** Talud en roca, principalmente areniscas y niveles saprolíticos, de geometría rugosa, con pendientes superiores a los 45°, cubierto parcialmente por obras de mitigación a causa de la inestabilidad del escarpe por fenómenos de erosión intensos y movimientos en masa activos de tipo caída.

Talud de corte escarpado inactivo (Atei): Talud en roca, principalmente areniscas y niveles saprolíticos, de geometría escalonada, con pendientes hasta los 45°, cubierto por obras de mitigación a causa de la inestabilidad de las laderas por movimientos en masa estabilizados.

**Talud de corte muy abrupto inactivo (Atmai):** Talud en roca, principalmente areniscas y niveles saprolíticos, de geometría ondulada, con pendientes hasta los 30°, cubierto por obras de mitigación a causa de la inestabilidad de las laderas por movimientos en masa estabilizados.

**Ladera inclinada inactiva (Alii):** Superficie del terreno modelada por actividades mineras antiguas, de pendientes suavizadas (<10%) constituidas principalmente por niveles arenosos.

**Ladera muy abrupta con intervención antrópica (Alma):**

Superficie del terreno con morfología irregular, de pendientes hasta los 30°, intervenida antrópicamente con la construcción de obras hidráulicas, constituida principalmente por niveles rocosos de arenisca y saprolitos.

**Ladera muy inclinada activa (Almia):** Superficie del terreno modelada por actividades mineras antiguas, con pendientes entre 10 y 15°, las cuales forman depósitos con fragmentos de roca de tamaño variable hasta bloques, suelos y relaves de construcción desprendidos desde las partes medias y altas del talud.

**Ladera muy inclinada con intervención antrópica (Almi):** Superficie del terreno con morfología irregular, intervenida antrópicamente con la construcción de urbanizaciones sobre niveles rocosos de arenisca

#### 4.2.2.5 Ambiente denudacional

Corresponde a geoformas definidas por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte pluvial y gravitacional que generan nuevas formas por acumulación de sedimentos; En total se identificó 1 elemento geomorfológico dentro de este ambiente, el cuál es explicado a continuación:

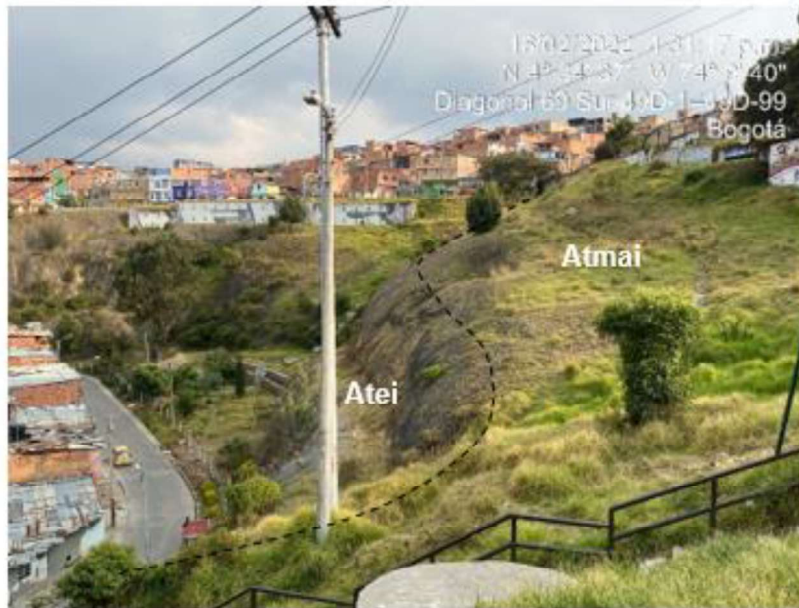
**Cono de talus (Dct):** Estructura en forma de cono o lóbulo localizada en la base del talud de corte muy escarpado activo (Atmea). Su origen está relacionado a procesos de acumulación mecánica por procesos de caída de fragmentos de roca y niveles de suelos que se desprendieron de las partes altas del talud, así como relaves de la obra de contención (porciones de concreto) que perdieron estabilidad y fueron formando un depósito coluvial en la base.

**Figura 36** Talud de corte muy escarpado activo y cono de talus



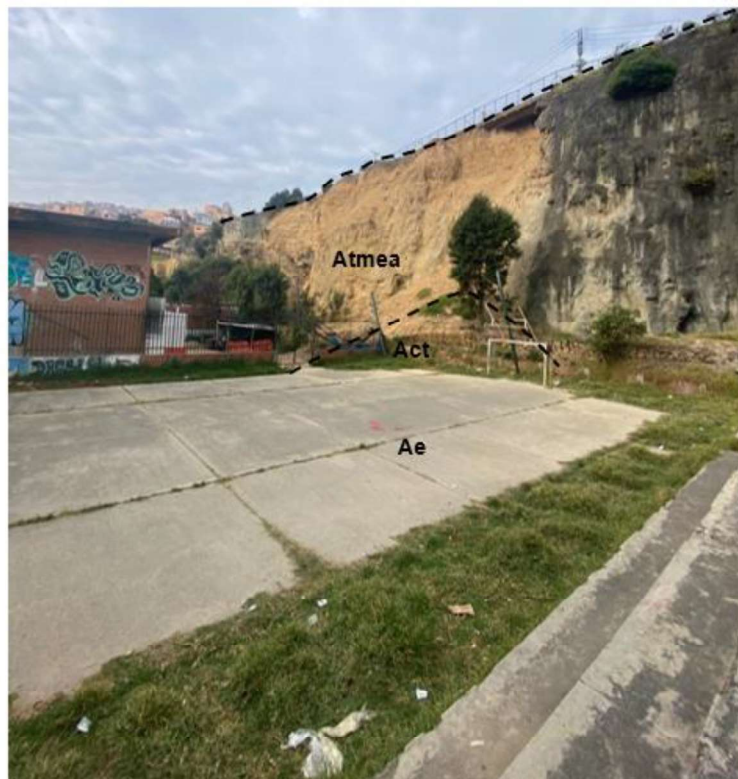
Fuente: Consultor.

**Figura 37** Talud de corte muy abrupto y escarpado con obra de mitigación existente



Fuente: Consultor

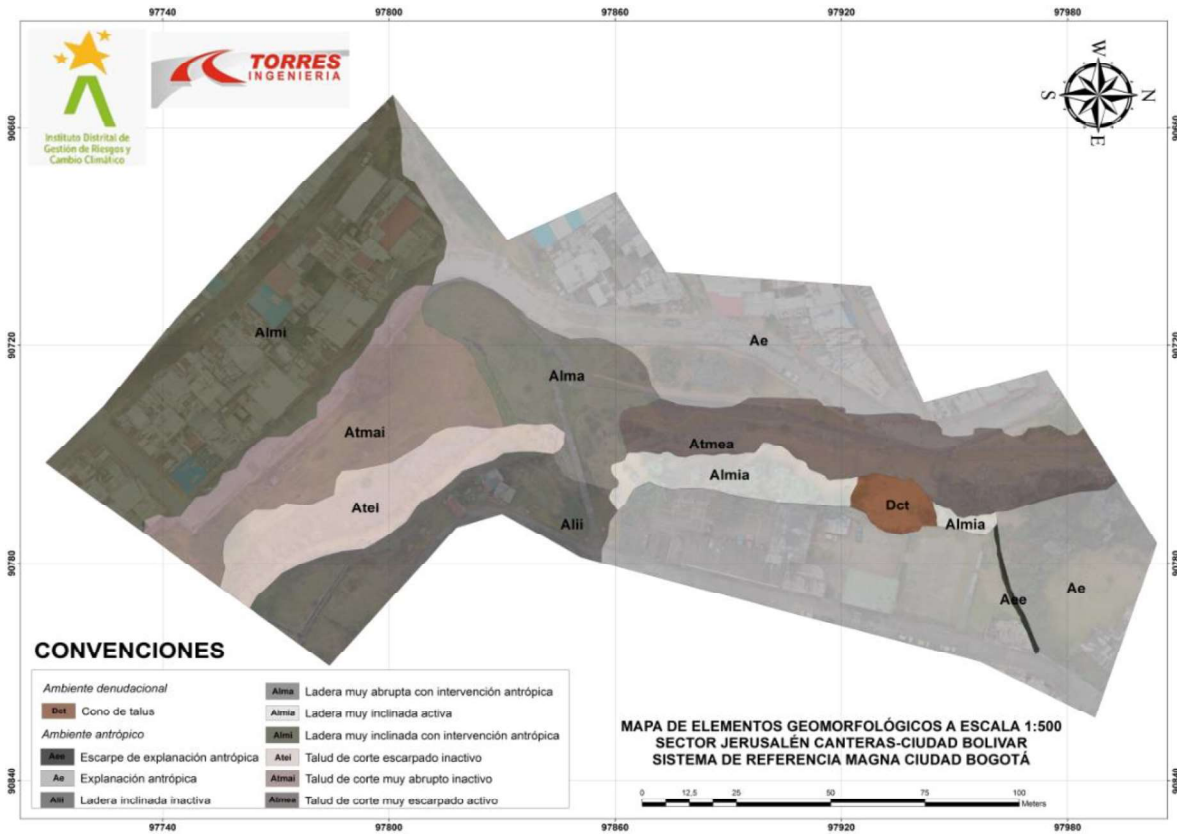
**Figura 38** Geoforma de explanación antrópica



Fuente: Consultor

El mapa de elementos geomorfológicos del área de estudio es mostrado en la Figura No. 25.

**Figura 39** Mapa de elementos geomorfológicos del área de estudio



Fuente: Consultor

#### 4.2.2.6 Morfometría

Este componente evalúa la superficie del terreno de forma cuantitativa, definiéndose los rasgos topográficos del terreno. Se tiene en cuenta las pendientes definidas como el ángulo entre la superficie natural del terreno y la horizontal (SGC, 2017).

La pendiente está muy relacionada con la aparición de movimientos en masa dado que es el principal factor geométrico que aparece en los análisis de estabilidad y es una de las principales condiciones para que ocurra un movimiento en masa (IDEAM, 2012).

La reclasificación de pendientes y demás atributos de las geoformas utilizados con propósitos de análisis ingenieril se llevó a cabo según el documento de referencia

“Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia” de Carvajal (2012). El rango de pendientes es expuesto en la Tabla No. 13.

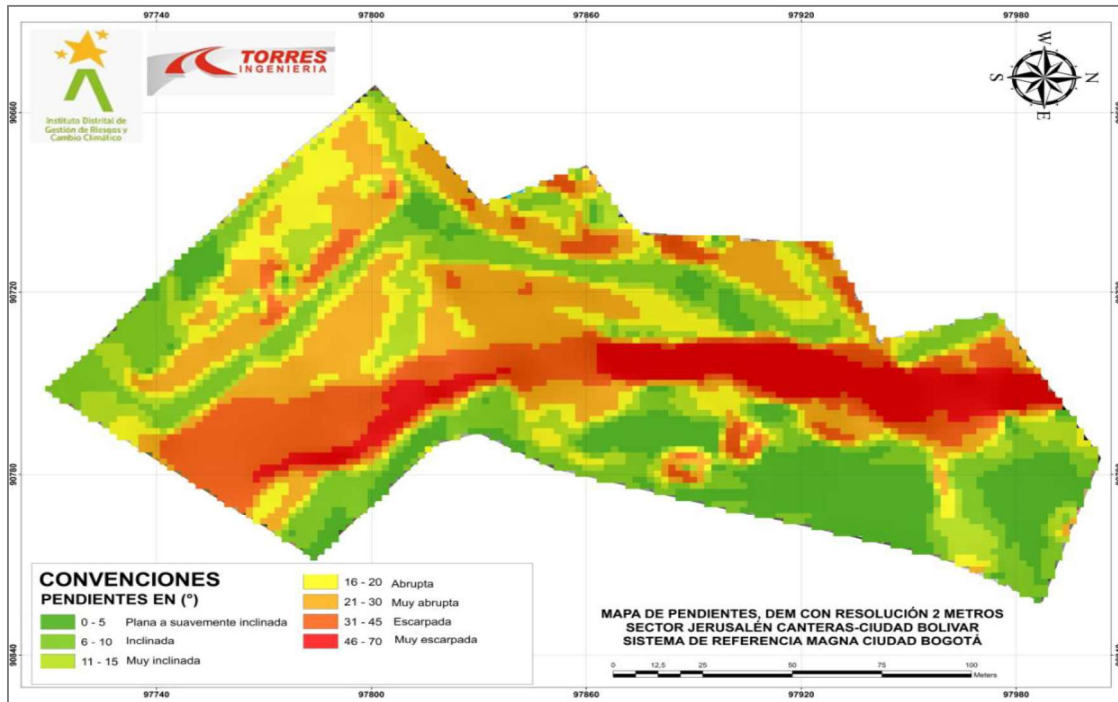
**Tabla 13** Rango de pendientes para estudios geomorfológicos

INCLINACIÓN (°)	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL Y COMPORTAMIENTO
0-5	Plana a suavemente inclinada	Muy blanda y muy baja susceptibilidad a los movimientos en masa (MM)
6-10	Inclinada	Blanda y baja susceptibilidad a MM
11-15	Muy inclinada	Moderadamente blanda y moderada susceptibilidad a MM
16-20	Abrupta	Moderadamente resistente y moderada susceptibilidad a MM
21-30	Muy abrupta	Resistente y alta susceptibilidad a MM
31-45	Escarpada	Muy resistente y alta susceptibilidad a MM
45-90	Muy escarpada	Extremadamente resistente, alta susceptibilidad a MM

Fuente: Carvajal (2012)

El modelo digital de elevación (DEM) de resolución de 2 metros permitió la creación de un mapa de pendientes a escala detallada expuesto en la Figura No. 26, el cual oscila entre 0° y 70°.

**Figura 40** Mapa de pendientes del área de estudio



Fuente: Consultor



#### **4.2.2.7 Morfodinámica**

Evalúa los procesos superficiales que afectan al terreno, especialmente aquellos que han ocurrido en el pasado, se encuentren activos y que se puedan activar en el futuro (INGEOMINAS en SGC, 2017).

Los procesos morfodinámicos cartografiados incluyen zonas con eventos activos o latentes de deslizamientos, reptaciones, flujos de tierras y caída de rocas, incluyendo las laderas con fuerte influencia de erosión y meteorización que pueden desencadenar movimientos en masa futuros. A su vez, se analiza la distribución de los procesos dentro de los elementos geomorfológicos y UGI definidas a lo largo del sector en estudio, con el objetivo de conocer el comportamiento y la incidencia de dichos eventos en las estructuras cartografiadas previamente

#### **4.2.2.8 Inventario de movimientos en masa**

El inventario de movimientos en masa se realiza teniendo en cuenta los lineamientos consignados en la “Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa Escala Detallada” (SGC-UNAL, 2015). Cada uno de los movimientos en masa inventariados contiene atributos con información relevante que permite identificar sus características principales, características geotécnicas y distribución espacial, entre otras.

Para el sector de estudio se identificaron 5 movimientos en masa, diferenciados a partir de fotointerpretación y trabajo de campo.

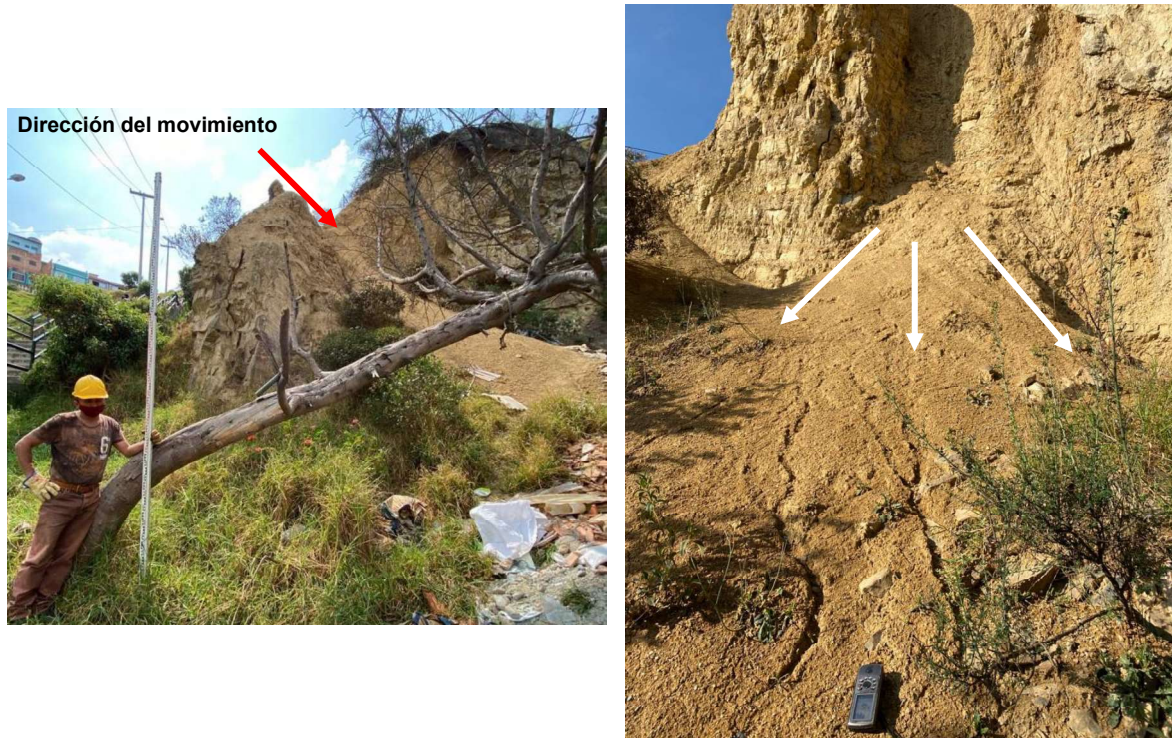
A continuación, se presenta un resumen de los movimientos en masa cartografiados, que incluye su referencia geográfica, tipo de movimiento y ciertas características que permiten evaluar preliminarmente su influencia y/o grado de afectación.

**Tabla 14**      Formato para inventario de movimiento en masa N°1

<b>FORMATO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA SEGÚN SGC (2016)</b>	
<b>Ubicación</b>	90755,019 mE , 97863,162 mN
<b>Tipo de movimiento</b>	Caída
<b>Subtipo de movimiento</b>	Caída de tierras y detritos
<b>Tipo de material</b>	Tierra (suelos residuales) y Detritos (roca saprotelizada)
<b>Área de afectación</b>	148 m2
<b>Humedad</b>	Seco
<b>Estado del movimiento</b>	Activo
<b>Distribución</b>	Creciente
<b>Edad</b>	1-5 años
<b>Causas del movimiento</b>	Erosión pluvial, minería, ausencia de vegetación
<b>Tipo y grado de erosión</b>	Superficial (surcos), severa
<b>Cobertura y uso del suelo</b>	Sin cobertura

Fuente: SGC (2016)

**Figura 41**      Movimiento en masa N°1 tipo caída de tierra y detritos.



Fuente: Consultor

**Tabla 15**      Formato para inventario de movimiento en masa N°2

<b>FORMATO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA SEGÚN SGC (2016)</b>	
<b>Ubicación</b>	90750,873 mE , 97876,772 mN
<b>Tipo de movimiento</b>	Caída
<b>Subtipo de movimiento</b>	Caída de roca
<b>Tipo de material</b>	Roca
<b>Área de afectación</b>	154 m2
<b>Humedad</b>	Seco
<b>Estado del movimiento</b>	Activo
<b>Distribución</b>	Confinado
<b>Edad</b>	6-10 años
<b>Causas del movimiento</b>	Orientación desfavorable de discontinuidades, material fisurado y agrietado
<b>Tipo y grado de erosión</b>	Superficial, moderada
<b>Cobertura y uso del suelo</b>	Sin cobertura

Fuente: SGC (2016)

**Figura 42**      Movimiento en masa N°2 tipo caída de rocas



Fuente: Consultor

**Tabla 16**      Formato para inventario de movimiento en masa N°3

<b>FORMATO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA SEGÚN SGC (2016)</b>	
<b>Ubicación</b>	90753,498 mE , 97908,088 mN
<b>Tipo de movimiento</b>	Caída
<b>Subtipo de movimiento</b>	Caída de tierras y detritos
<b>Tipo de material</b>	Tierra (suelos residuales) y Detritos (roca saprotilizada)
<b>Área de afectación</b>	77 m2
<b>Humedad</b>	Seco
<b>Estado del movimiento</b>	Reactivado/ Parcialmente estabilizado
<b>Distribución</b>	Creciente
<b>Edad</b>	1-5 años
<b>Causas del movimiento</b>	Erosión pluvial, minería, ausencia de vegetación
<b>Tipo y grado de erosión</b>	Superficial (surcos), severa
<b>Cobertura y uso del suelo</b>	Sin cobertura
<b>Observaciones</b>	Los depósitos presentan relaves de la obra de contención

Fuente: SGC (2016)

**Figura 43** Movimiento en masa N°3 tipo caída de tierra y detritos



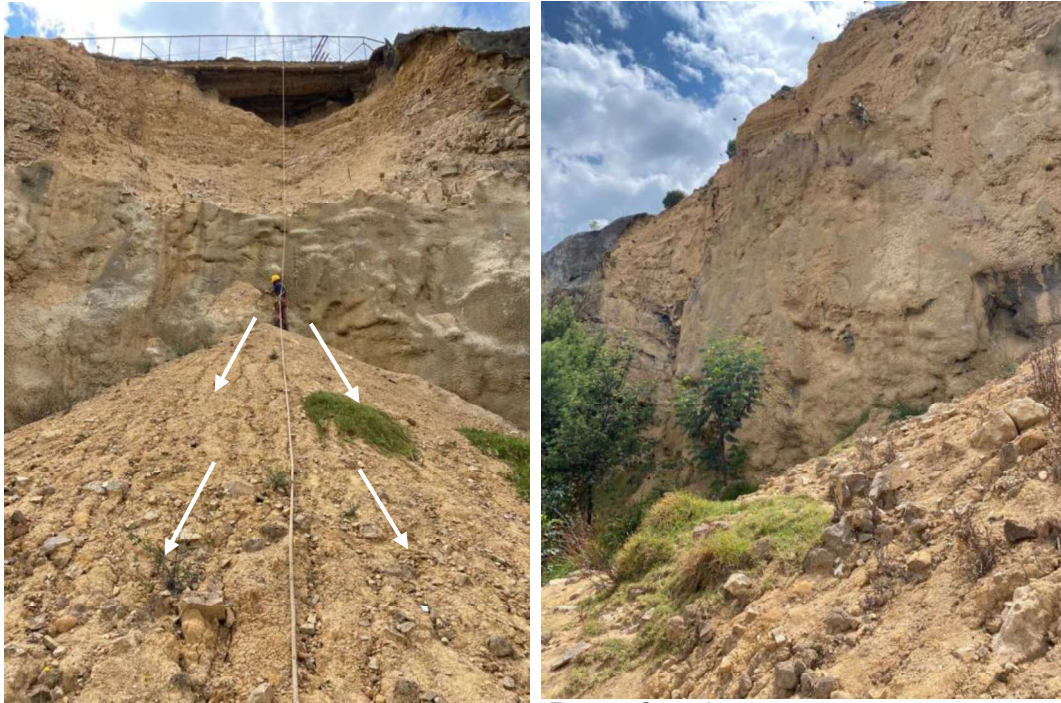
Fuente: Consultor

**Tabla 17** Formato para inventario de movimiento en masa N°4

<b>FORMATO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA SEGÚN SGC (2016)</b>	
<b>Ubicación</b>	90761,811 mE , 97937,087 mN
<b>Tipo de movimiento</b>	Caída
<b>Subtipo de movimiento</b>	Caída de tierras y detritos
<b>Tipo de material</b>	Tierra (suelos residuales) y Detritos (roca saprotelizada)
<b>Área de afectación</b>	246 m2
<b>Humedad</b>	Seco
<b>Estado del movimiento</b>	Reactivado/ Parcialmente estabilizado
<b>Distribución</b>	Creciente
<b>Edad</b>	1-5 años
<b>Causas del movimiento</b>	Erosión pluvial, minería, ausencia de vegetación
<b>Tipo y grado de erosión</b>	Superficial (surcos), severa
<b>Cobertura y uso del suelo</b>	Sin cobertura
<b>Observaciones</b>	El depósito presenta relaves de la obra de contención

Fuente: SGC (2016)

**Figura 44** Movimiento en masa N°4 tipo caída de tierra y detritos



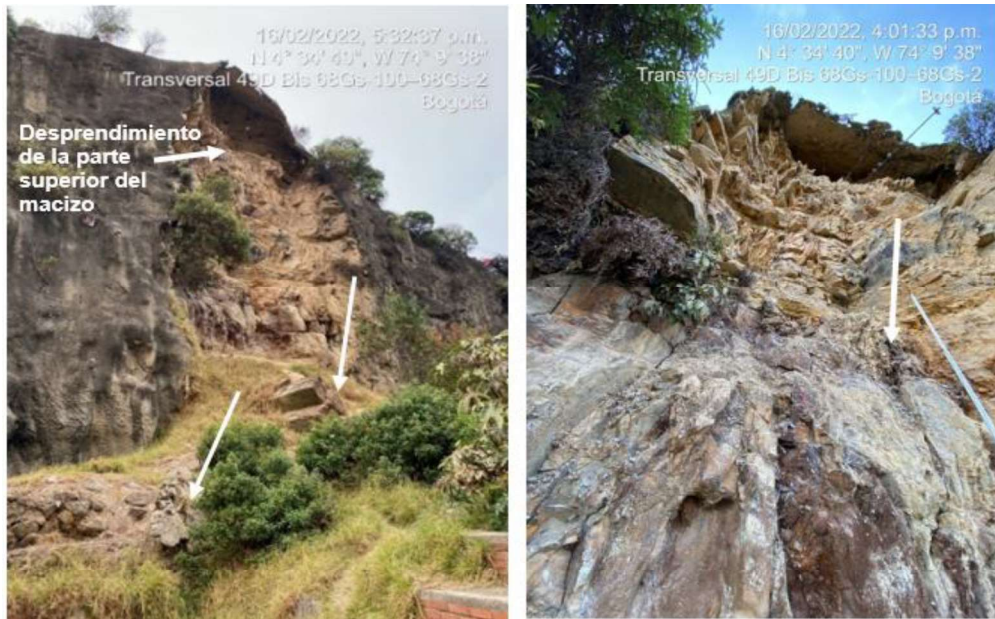
Fuente: Consultor

**Tabla 18** Formato para inventario de movimiento en masa N°5

<b>FORMATO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA SEGÚN SGC (2016)</b>	
<b>Ubicación</b>	90768,991 mE , 97958,535 mN
<b>Tipo de movimiento</b>	Caída
<b>Subtipo de movimiento</b>	Caída de roca
<b>Tipo de material</b>	Roca
<b>Área de afectación</b>	37 m2
<b>Humedad</b>	Seco
<b>Estado del movimiento</b>	Activo/ Parcialmente estabilizado
<b>Distribución</b>	Creciente
<b>Edad</b>	6-10 años
<b>Causas del movimiento</b>	Orientación desfavorable de discontinuidades, material fisurado y agrietado
<b>Tipo y grado de erosión</b>	Superficial, severa
<b>Cobertura y uso del suelo</b>	Pastos

Fuente: SGC (2016)

**Figura 45** Movimiento en masa N°5 tipo caída de roca



Fuente: Consultor

El mapa de morfodinámica del sector Jerusalén-Canteras es mostrado a continuación.

**Figura 46** Mapa de morfodinámica sector Jerusalén-Canteras



Fuente: Consultor

### 4.2.3 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

La metodología CORINE Land Cover, adaptada a las condiciones del territorio colombiano, se convierte en una herramienta para avanzar en el conocimiento de las coberturas de la tierra y para la actualización permanente de la información, con lo cual se espera que se faciliten los procesos de seguimiento y evaluación de la dinámica de los cambios de las coberturas terrestres. (IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA; 2008).

De acuerdo con la metodología propuesta, se realiza la cartografía de cobertura y usos del suelo del área de estudio como producto escala detallada; donde se identifican principalmente coberturas de carácter antrópico, tierras desnudas, afloramientos rocosos y herbazales; en menor medida arbustales y ninguna evidencia de coberturas de bosques. A continuación, se presenta la descripción y registro fotográfico de las coberturas cartografiadas en el área de estudio.

#### 4.2.3.1 Territorios artificializados

Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos (IDEAM, 2010).

En esta clasificación se incluyeron las unidades de zonas urbanizadas comprendidas por: Residencial, educativo, vía vehicular y vías y senderos peatonales.

**Figura 47** Cobertura residencial en el sector Jerusalén-Cantera



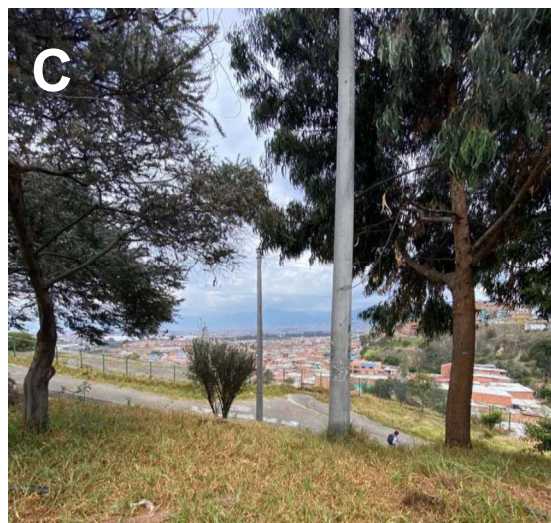
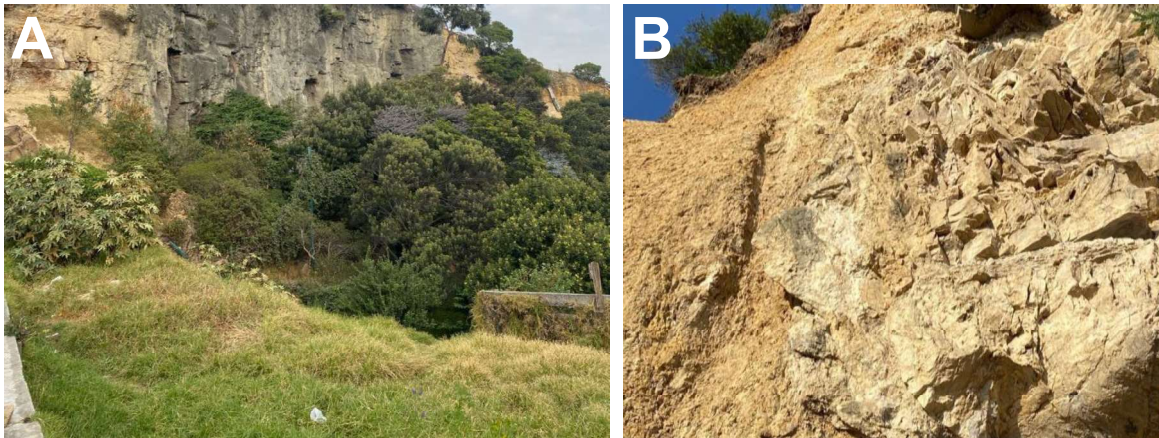
Fuente: Consultor

#### **4.2.3.2 Bosques y áreas seminaturales**

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación (IDEAM, 2010)

En esta clasificación se incluyeron las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva: Arbustal denso, arbustal abierto, herbazal abierto, herbazal abierto con arbustos y herbazal abierto rocoso; y las áreas abiertas, sin o con poca vegetación: Afloramientos rocosos, y tierras desnudas y degradadas.

**Figura 48** Arbustal denso (A), tierras desnudas y degradadas (B), herbazal abierto con arbustos (C)

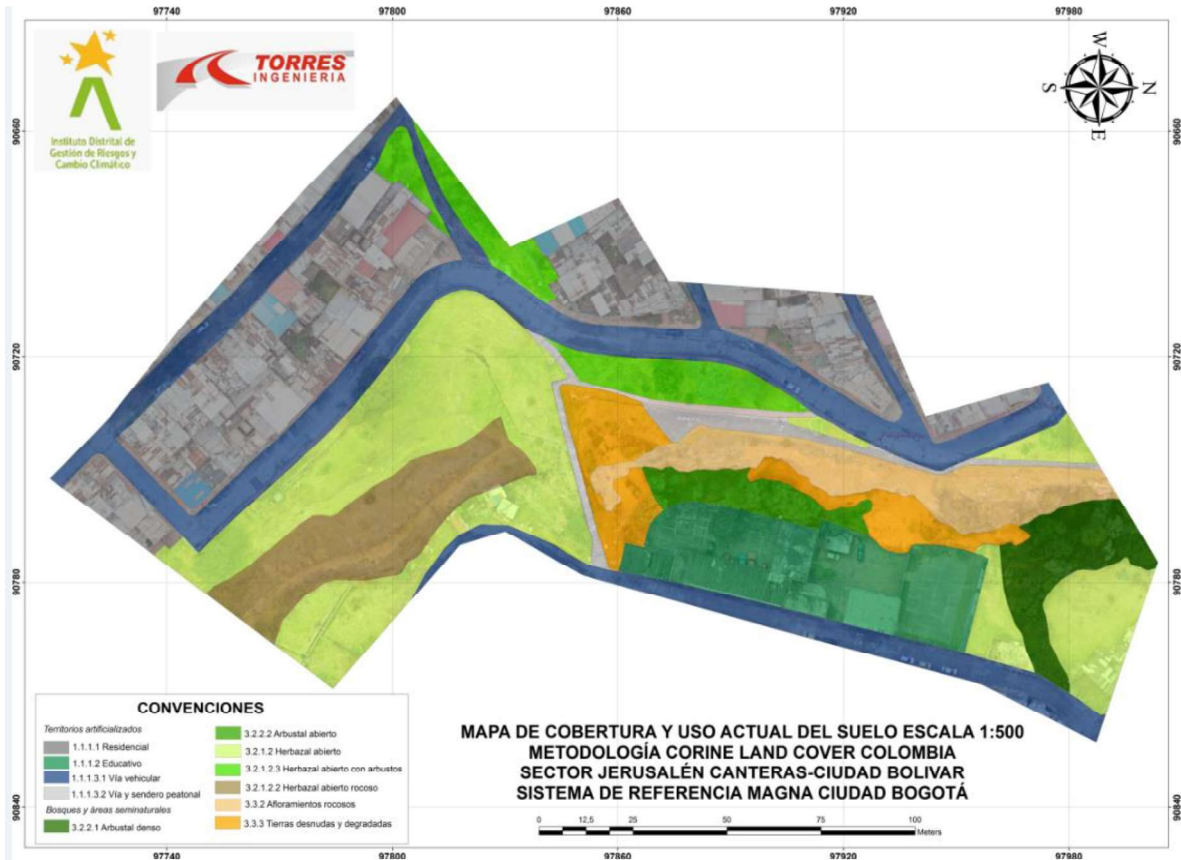


Fuente: Consultor



El mapa de cobertura y uso actual del suelo para el área de estudio es mostrado a continuación.

**Figura 49** Mapa de cobertura y uso actual del suelo sector Jerusalén - Canteras

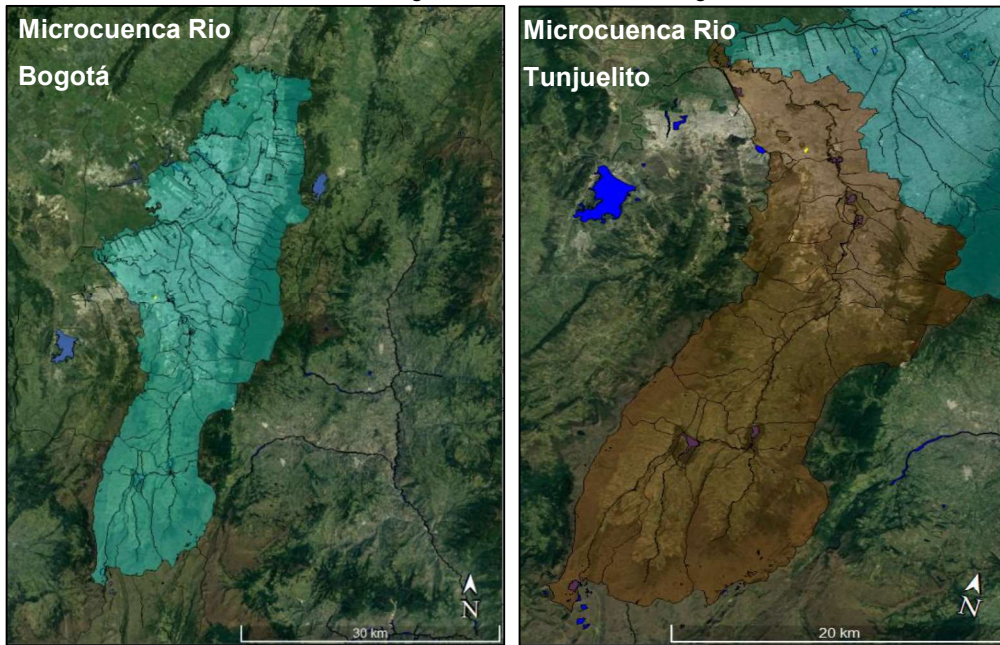


Fuente: Consultor

#### 4.2.4 HIDROLOGÍA Y EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL

Hidrográficamente el sector de estudio se encuentra ubicado en la subzona hidrográfica del río Bogotá (Código IDEAM: 2120), zona hidrográfica Alto Magdalena (Código IDEAM: 21) perteneciente al área hidrográfica Magdalena – Cauca (Código IDEAM: 2). Tiene una extensión superficial de 5915.07 Km<sup>2</sup> (Figura No. 36); a nivel de microcuencas el polígono en estudio se localiza dentro de la microcuenca del Río Tunjuelito Bajo-21200701 (2.641 ha), este a su vez se localiza en la microcuenca del río Tunjuelito-212007, el cual se encuentra en la subzona hidrográfica del río Bogotá.

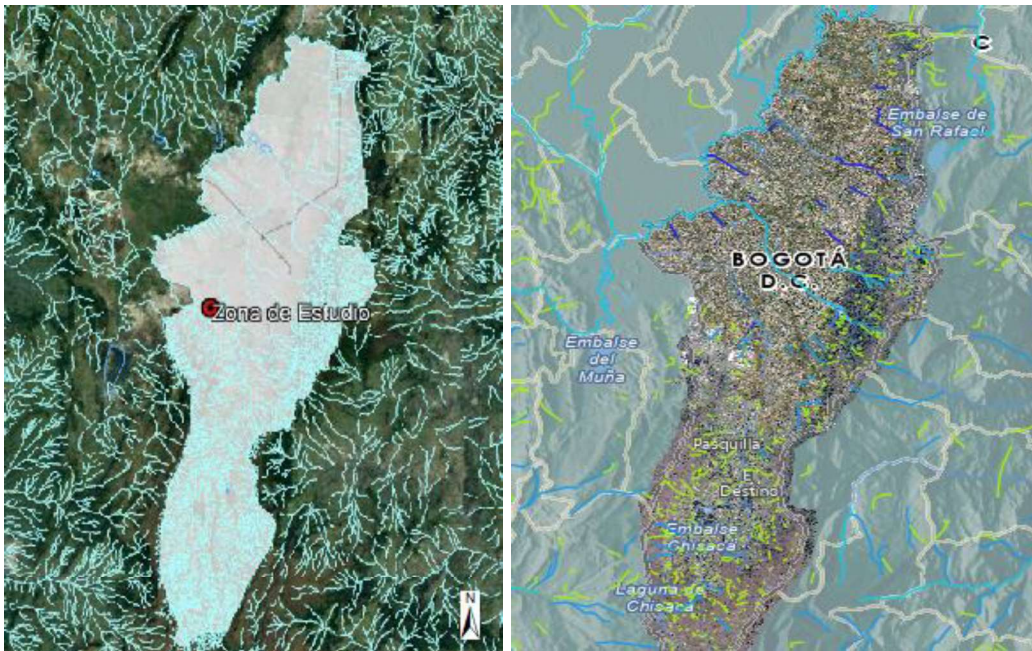
**Figura 50** Localización de la subzona hidrográfica, subcuencas río Bogotá, microcuenca del Río Tunjuelito



Fuente: Modificado de IDECA

La zona de estudio se encuentra cerca de los siguientes drenajes; Drenaje Canal Tanque Casablanca 1 (código IDECA: 501), Drenaje Quebrada Zanjón El cortijo (código IDECA: 502), los cuales pertenecen a la Cuenca Río Bogotá y subcuenca Río Tunjuelo Bajo.

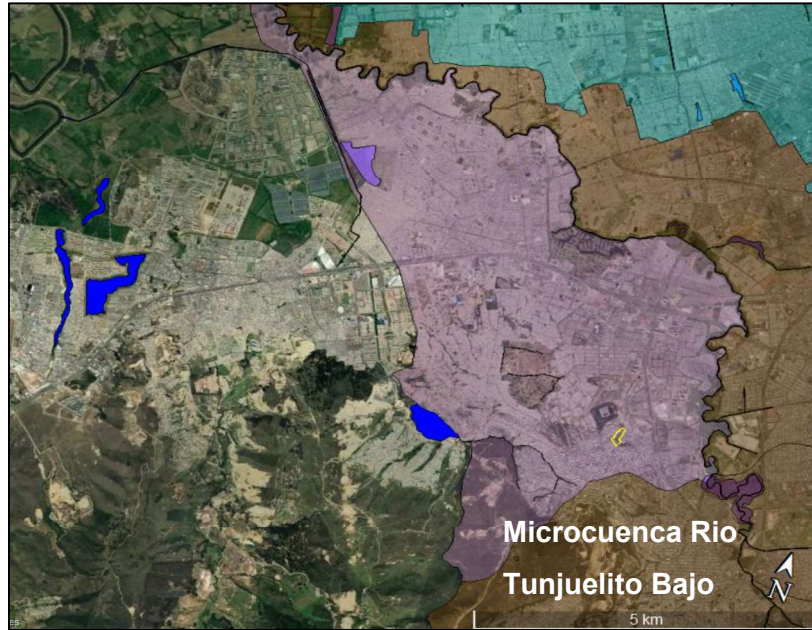
**Figura 51** Drenajes cuenca río Bogotá



Fuente: Modificado de IDEC

En cartografías previas al año 1995 del INGEOMINAS también ha sido posible identificar que en el área en estudio se localizaba el paso de una quebrada denominada quebrada Canteras, esta área de drenaje pertenece a la microcuenca del Río Tunjuelito Bajo.

**Figura 52** Localización Submicrocuenca del Río Tunjuelito Bajo

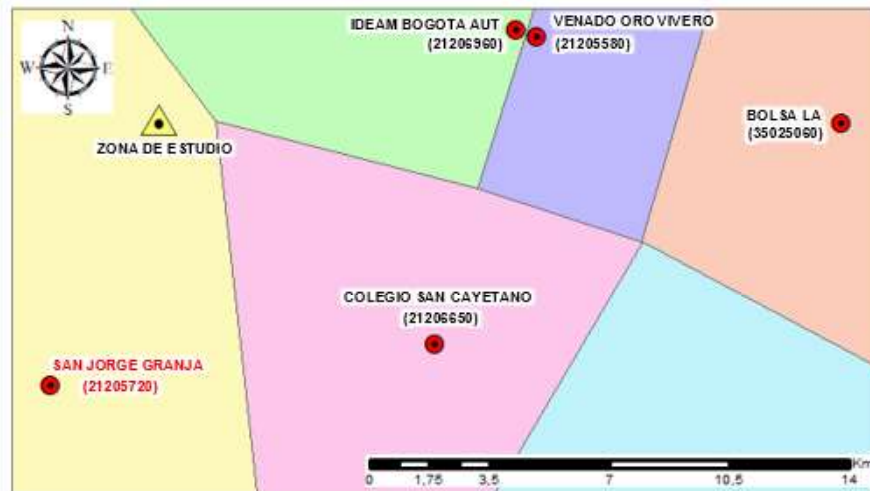


Fuente: Modificado de IDECA

#### 4.2.4.1 Climatología

Mediante los polígonos de Thiessen se establece que, para el análisis climatológico, la estación con influencia en el área de estudio es la Estación San Jorge Granja, localizada en el municipio de Soacha, departamento de Cundinamarca.

**Figura 53** Polígonos de Thiessen, sitio de estudio

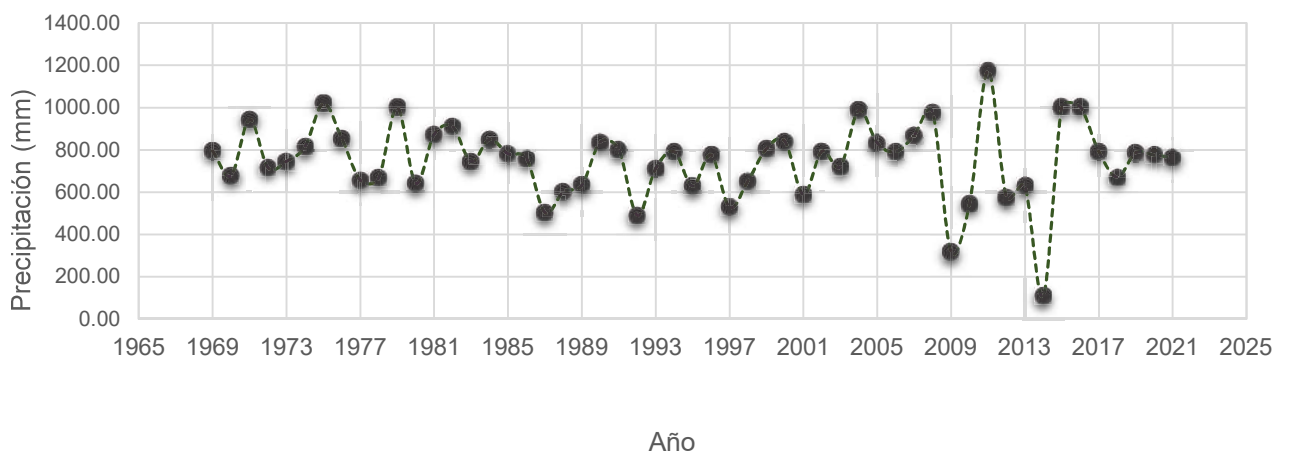


Fuente: Modificado de IDEAM

Se considera las series históricas de la información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM de la Estación San Jorge Granja (Código IDEAM: 21205720) para los años 1968 a 2021. Estación activa, de categoría climática principal, ubicada en las coordenadas geográficas 4,50575° N y -74,189278° W, a una elevación de 2900 m.s.n.m. Se encuentra a aproximadamente a 8.44 Km del sector de estudio.

A partir de las series históricas de la Estación San Jorge Granja, se evalúa el comportamiento de las precipitaciones totales acumuladas con respecto a la serie anual, la cual se presenta en la Figura No. 40. En promedio, las precipitaciones totales son superiores a 1003,1 mm/año, resaltando la magnitud de la precipitación registrada en el año 2011, que supera el promedio anual con un valor de 1173,8 mm.

**Figura 54** Precipitación total acumulada (mm)serie anual de la Estación San Jorge Granja.

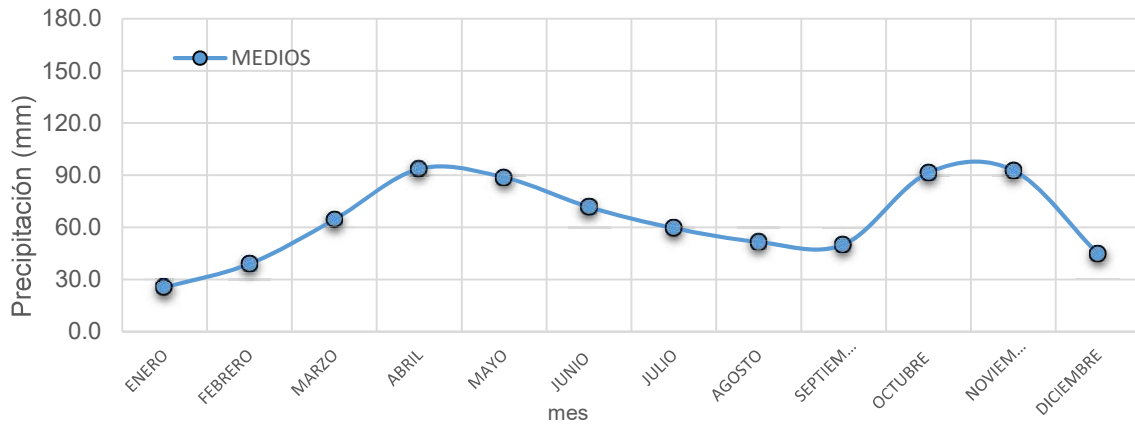


Fuente: Consultor

Según el IDEAM el departamento de Cundinamarca, Bogotá para un periodo de 1981 a 2010 en valores medios multianuales, se presentan; una temperatura media de 13.7°C, una humedad relativa del 80%, un brillo solar en horas y decimas de 4.4 y un ETP-Evapotranspiración Potencial de 1079,2 mm.

Las precipitaciones totales de la media anual multianual del registro histórico de la Estación San Jorge Granja se presentan en la Figura No. 41 con un valor promedio de 64,4 mm/mes evidenciando un régimen de lluvias bimodal, con precipitaciones máximas en los meses de abril, mayo y octubre, noviembre. Para el mes de enero a febrero se presentan bajos niveles de las precipitaciones, estos valores se incrementan del mes de marzo a mayo, decrecen en el mes de junio a agosto, y vuelven a aumentar en el mes de septiembre hasta noviembre, hasta presentar decrecimiento en el mes de diciembre.

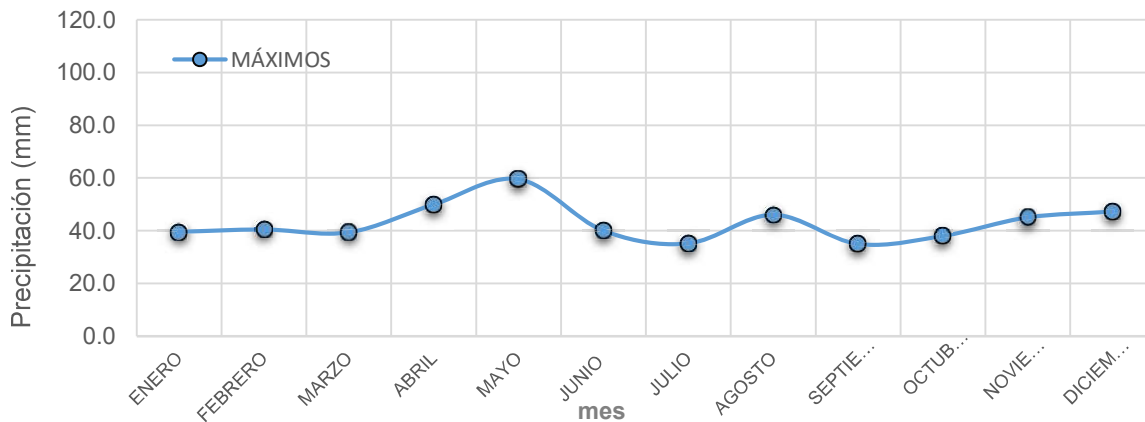
**Figura 55** Precipitación total media anual (mm) multianual de la Estación San Jorge Granja.



Fuente: Consultor

El comportamiento máximo anual de las precipitaciones en 24 horas de la Estación San Jorge Granja con respecto a la serie mensual se presenta en la Figura No. 42, con una variación en los valores máximos entre 35,2 mm a 59,5 mm.

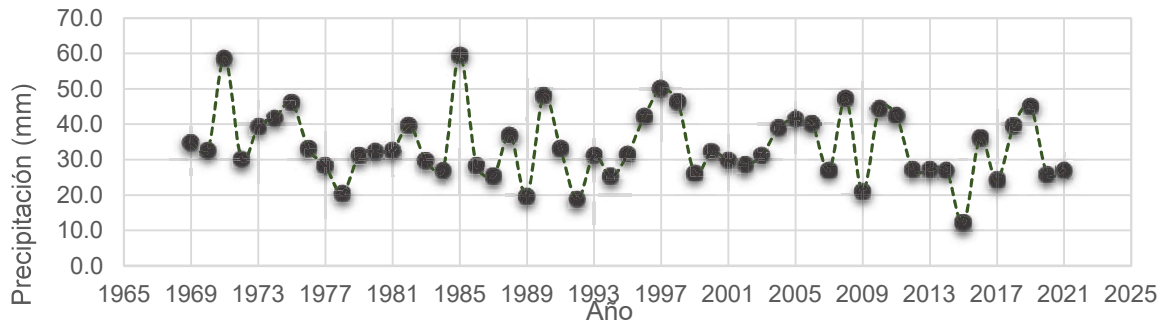
**Figura 56** Valores máximos anual de las precipitaciones en 24 horas con respecto a la serie mensual.



Fuente: Consultor

La máxima precipitación anual para la Estación San Jorge Granja se reportó en el año 1985 con un valor de 59,5 mm la mínima precipitación se presentó en el año 2015 con un valor de 12,00 mm (Figura No. 43).

**Figura 57** Valores máximos mensuales de las precipitaciones en 24 horas (mm) con respecto a la serie anual.



Fuente: Consultor

Con el objetivo de establecer las precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno, se procede a realizar el diagrama de caja y bigotes, el cual permite realizar un análisis de la simetría de los datos y detectar valores atípicos.

El diagrama de caja y bigotes consiste en dividir los datos en cuartiles, conformada por una caja central separada por una línea vertical y otras dos áreas representada por dos segmentos horizontales correspondiendo a los bigotes. La caja central incluye el 50 % de los datos, en donde el lado izquierdo es el 50 percentil (Q2) y el lado derecho, el 75 percentil (Q3) corresponde a la caja central.

Al igual que la caja, el bigote izquierdo representa el cuartil inferior y el bigote derecho el cuartil superior. Para el bigote izquierdo, el primer extremo es el valor dado por el primer cuartil menos 1,5 veces el rango intercuartil, mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_1 = Q_1 - 1,5 R.I$$

El rango intercuartil es la diferencia entre el tercer y el primer cuartil de una distribución, estimándose así:

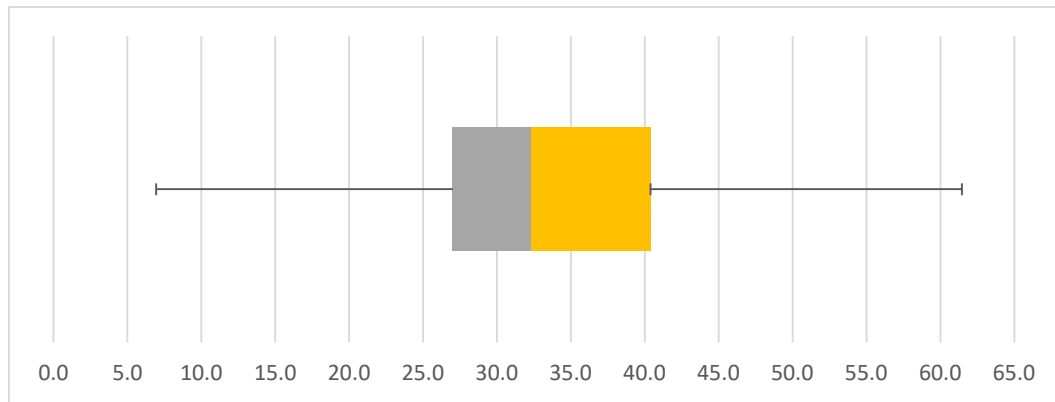
$$R.I = Q_3 - Q_1$$

El otro extremo para el bigote izquierdo es el primer cuartil (Q1). Para el bigote derecho, tiene un extremo en el tercer cuartil (Q3) y el otro en el valor dado por el tercer cuartil más 1,5 veces el rango intercuartil R.I., valor establecido mediante la ecuación descrita a continuación:

$$\rho_3 = Q_3 + 1,5 R.I$$

Teniendo en cuenta, los límites del diagrama de caja y bigotes, la serie de precipitación máxima en 24 horas no se presentan valores atípicos, por tanto, se consideran todos los valores para el desarrollo del análisis probabilístico (Figura No. 44).

**Figura 58** Diagrama de caja y bigotes.



Fuente: Consultor

A partir de lo anterior, la serie que se analizará probabilísticamente está conformada por los datos de precipitación presentados en la Tabla No. 19.

**Tabla 19** Datos de precipitación máxima en 24 horas – Estación San Jorge Granja

<b>AÑO</b>	<b>PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mms)</b>	<b>AÑO</b>	<b>PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mms)</b>
1968	34,8	1983	29,6
1969	34,6	1984	26,9
1970	32,5	1985	59,5
1971	58,7	1986	28,2
1972	30,2	1987	25,2
1973	39,3	1988	37,0
1974	41,8	1989	19,6
1975	46,0	1990	48,0
1976	33,0	1991	33,2
1977	28,2	1992	18,7
1978	20,4	1993	31,2
1979	31,1	1994	25,2
1980	32,4	1995	31,5
1981	32,6	1996	42,2
1982	39,6	1997	49,9
1998	46,2	2010	44,5
1999	26,2	2011	42,5
2000	32,2	2012	27,1
2001	29,7	2013	27,1
2002	28,5	2014	27,0
2003	31,2	2015	12,0
2004	39,0	2016	36,0
2005	41,5	2017	24,2
2006	40,0	2018	39,4
2007	27,0	2019	45,0
2008	47,2	2020	25,8
2009	21,0	2021	27,0

Fuente: Consultor

#### 4.2.4.2 Curva intensidad Duración-Frecuencia

La Curva Intensidad Duración Frecuencia representa la magnitud de la lluvia en una duración determinada y la probabilidad de ocurrencia o frecuencia, también conocida como periodo de retorno. Para el presente estudio, se tendrá en cuenta el método de “Curvas sintéticas de Intensidad Duración Frecuencia para Colombia” de Vargas & Díaz Granados, considerando la división del territorio nacional en regiones climatológicas planteado por Vélez en Vargas & Díaz Granados (1998) (Figura No. 45), que para la zona de este proyecto es la Región Andina, esto con el objetivo de asignar los valores a los coeficientes a, b, c, d, e y f (Tabla No. 20) empleados en la siguiente ecuación:

$$Im = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e * PT^f$$

Donde:

I: Intensidad media en mm/hora.

T: Periodo de retorno en años.

t: Duración de la lluvia en horas.

M: Promedio del valor máximo anual de precipitación multianual máxima en 24h (mm).

**Tabla 20** Valores para los coeficientes utilizados en la distribución espacial de la lluvia según el método Vargas & Díaz Granados.

COEFICIENTE	VALOR
a	1,61
b	0,19
c	0,65
d	0,75
e	-0,15
f	0,08

Fuente: Vargas & Díaz Granados (1998)

El diseño de la curva IDF se realizará con base a las duraciones de 15, 30, 60, 120 y 360 minutos, al promedio del valor máximo anual de la precipitación máxima en 24 horas, al número de días con lluvia en el año, al promedio del medio anual de las precipitaciones máximas en 24 horas y al periodo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.



**Figura 59** Regiones climatológicas de Colombia



Fuente: <https://geocolombia9b.wordpress.com/category/regiones/>.

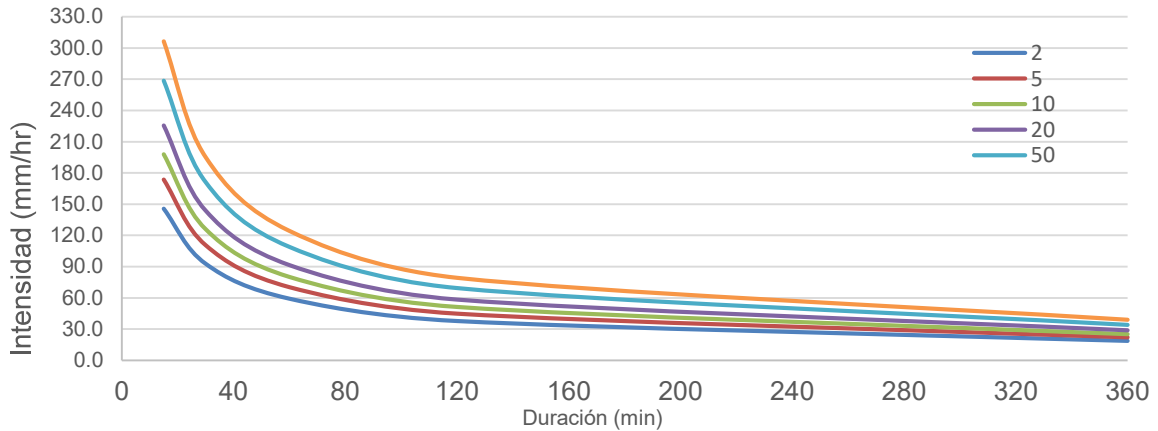
En la Tabla No. 21 se indican los valores de la Curva IDF de la Estación San Jorge Granja con el método Vargas & Díaz Granados y en la Figura No. 46 se presenta su curva respectiva.

**Tabla 21** Valores para la curva IDF a partir del método Vargas & Díaz Granados de la Estación San Jorge Granja (mm/h)

T años	Duración de la lluvia (min)				
	15	30	60	120	360
2	145,6	92,8	59,1	37,7	18,5
5	173,3	110,4	70,4	44,9	22,0
10	197,7	126,0	80,3	51,2	25,1
20	225,5	143,7	91,6	58,4	28,6
50	268,4	171,1	109,0	69,5	34,0
100	306,2	195,1	124,4	79,2	38,8

Fuente: Consultor

**Figura 60** Curva IDF para la Estación San Jorge Granja

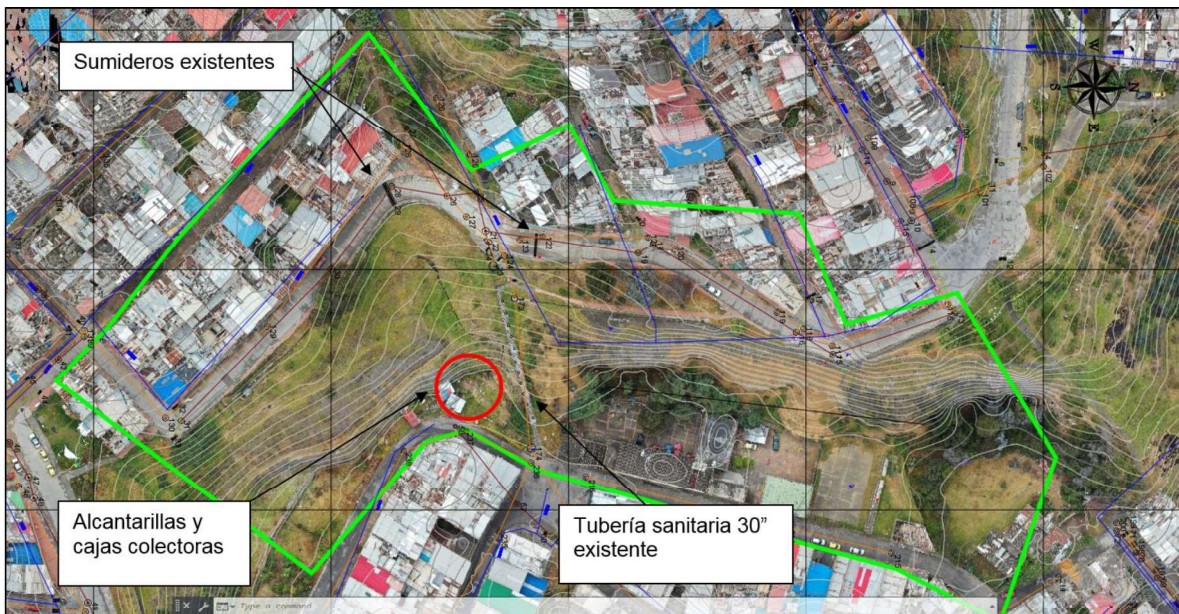


Fuente: Consultor

**4.2.4.3 Estado actual de las obras hidráulicas existentes**

Actualmente dentro del polígono en estudio, se reconocen diferentes estructuras existentes empleadas para el drenaje superficial, en el siguiente plano se presentan las diferentes obras hidráulicas existentes y levantadas dentro del polígono en estudio

**Figura 61** Plano obras hidráulicas y redes existentes en el área en estudio.

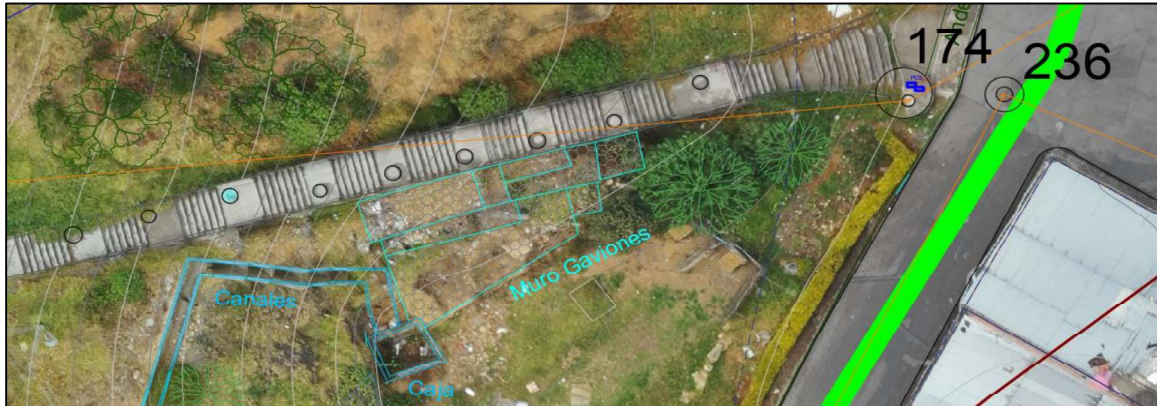


Fuente: Consultor

De acuerdo a las obras levantadas en campo, se identifica en el sector, obras hidráulicas para el manejo de la escorrentía superficial así como las redes de alcantarillado pluvial y sanitario del sector, en el anexo denominado INVENTARIO DE OBRAS EXISTENTES se identifica la localización y estado actual de las obras hidráulicas existentes, a nivel de detalle

en el siguiente capítulo se realizará la presentación del estado actual de las obras puntuales correspondientes a las alcantarillas y cajas, las cuales de acuerdo a los inventarios y reconocimientos en campo, se identifica un alto grado de colmatación de las mismas, en las siguientes imágenes se aprecia el estado actual de dichas obras.

**Figura 62** Localización de las obras hidráulicas, sector en análisis



Fuente: Consultor

**Figura 63** Fotografía estado actual de canal escalonado



Fuente: Consultor

**Figura 64** Estado de colmatación de la caja, sumidero y canal en la corona



Fuente: Consultor

Como se identifica en las imágenes previamente presentadas, en las obras hidráulicas mencionadas se identifican procesos de colmatación debidos a la alta torrencialidad en el sector conjugado con un ineficiente mantenimiento de las obras hidráulicas, siendo necesaria la limpieza de dichas obras, así como la delimitación de un plan de mantenimiento periódico para las obras.

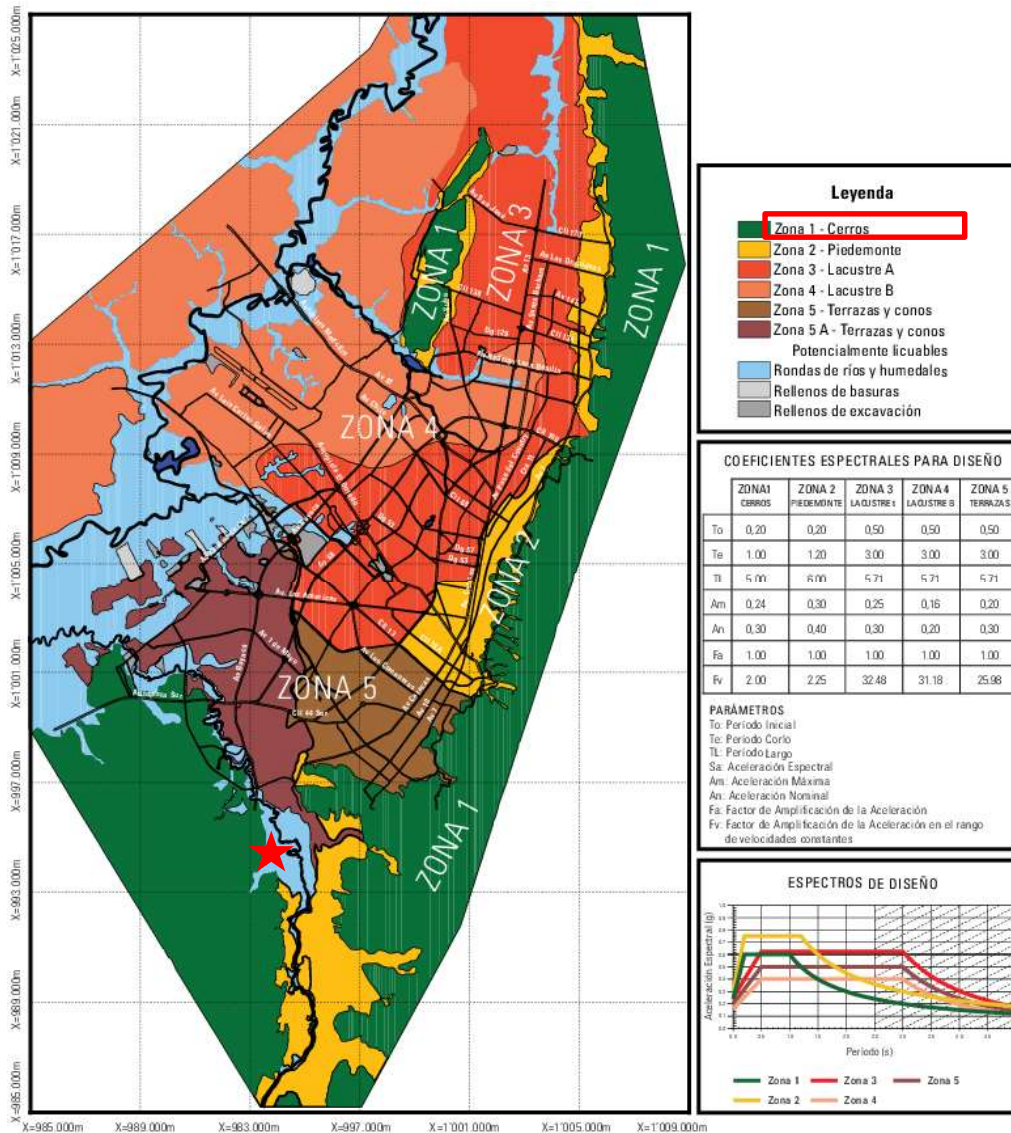
## **4.2.5 SISMICIDAD**

### ***4.2.5.1 Zonificación sísmica Santa Fé de Bogotá***

La revisión de la zonificación sísmica se realiza a partir de la verificación de diferentes fuentes de información secundaria oficiales tales como: la NSR-10, el INGEOMINAS, el SGC, entre otros.

En 1993 el INGEOMINAS desarrollo la Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá, en este estudio, se caracteriza el polígono en análisis dentro de la ZONA 1-Cerros, caracterizada por Formaciones rocosas, en estos sectores se pueden presentar ampliaciones locales de aceleración por efectos topográficos, también se identifican procesos de inestabilidad debido a sus pendientes susceptibles a factores detonantes como lluvias, cuerpos de agua locales y sismos, a continuación se presenta el mapa de microzonificación sísmica en el polígono en análisis.

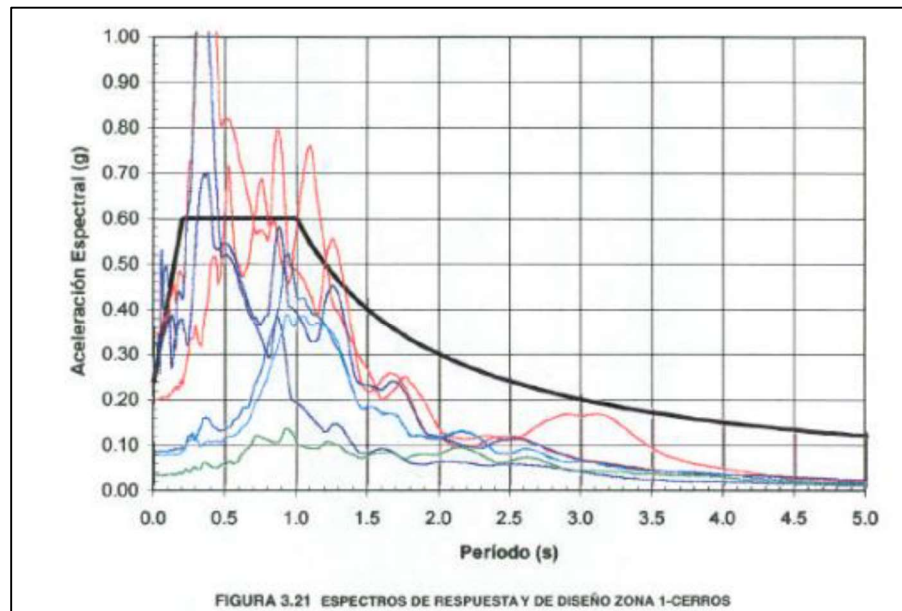
**Figura 65** Mapa de Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá



Fuente: Ingeominas y Universidad de los Andes 1997.

Para los cerros, el INGEOMINAS establece un espectro de diseño con una aceleración espectral (g) máxima de 0.6 (g), la misma se presenta en la siguiente figura:

**Figura 66** Espectro de respuesta y diseño de Zona Cerros.



Fuente: INGEOMINAS (1993)

#### **4.2.5.2 Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sísmo resistente de edificaciones (Decreto 523 de 2010).**

El informe desarrollado por el fondo de prevención y atención de emergencia (FOPAE) en el año 2010, analiza los aspectos relacionados con la respuesta local de los depósitos de la ciudad ante un sismo, para lo cual se parte de la amenaza sísmica reportada en estudios nacionales y la información geotécnica disponible de la ciudad. Dicha propuesta de actualización se consolida en el estudio “Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño sísmo resistente de edificaciones”, regido por el decreto N°523 del 16 de diciembre de 2010, por el cual se adopta la microzonificación sísmica de Bogotá D.C. De acuerdo a la delimitación de zonas geotécnicas realizada por el DPAE, 2010, se caracteriza el polígono en estudio como CERROS B siendo estos clasificados como cerros de moderada a alta pendiente, compuestos principalmente por arcillolitas blandas, presenta comportamiento geotécnico general correspondiente a rocas de moderada competencia, susceptibles a la meteorización, sus limitaciones obedecen a problemas de estabilidad de taludes debido a las excavaciones a cielo abierto que se realizaron antiguamente en dichos sectores, principalmente cuando existen fracturas en dicha roca, en la Figura No. 53 se presenta el mapa de zonas geotécnicas identificado para el área en estudio.

Figura 67 Mapa de Zonificación Geotécnica 2010



Fuente: <https://mapas.bogota.gov.co/#>

A continuación, se presentan los principales lineamientos del Decreto 523 de 2010:

**Artículo 1.** Adoptar las disposiciones de Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C de acuerdo con los resultados del estudio de zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá, de conformidad con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, expedido de acuerdo con la Ley 400 de 1997 por medio de sus Decretos 926 y 2525 de 2010 (...)

**Artículo 2.** Fijar las zonas geotécnicas y las zonas de respuesta sísmica de Bogotá D.C, de conformidad, de acuerdo a las tablas: “Descripción de las zonas geotécnicas” y “Descripción de las zonas de respuesta sísmica”, así:

### **DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS GEOTÉCNICAS**

**Zona:** Cerros B

**Geotecnia:** Rocas de arcillolita

**Geología:** Formaciones de Arcillolitas

**Geomorfología:** Cerros de moderada a alta pendiente

**Composición principal:** Arcillolitas blandas

**Comportamiento geotécnico general:** Rocas de moderada competencia y susceptibles a la meteorización. Problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando están fracturadas.

## DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE RESPUESTA SÍSMICA

**Zona:** Cerro

**Espesor del depósito (m):** No presenta

**Periodo fundamental del suelo (s):** <0.3

**Descripción Geotécnica General:** Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores inferior a 6 m.

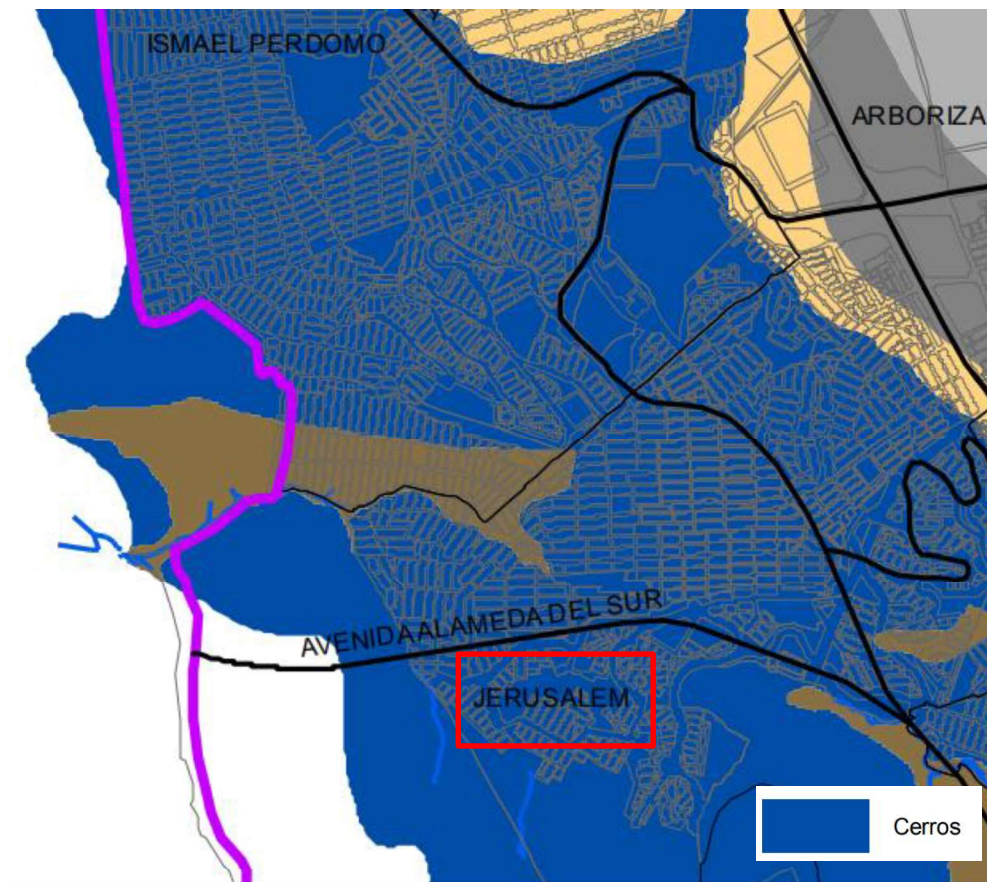
**Velocidad onda promedio 50 m Vs (m/s):** >750

**Humedad promedio 50 m Hn (%):** <10

**Efectos de sitio relacionados:** Topográfico

**Artículo 3:** Adoptar como parte integral del presente decreto los planos denominados “Mapa de Zonas Geotécnicas” (Figura No. 53) y “Mapa de zonas de respuesta sísmica” (Figura No.54) cuya proyección corresponde al sistema de coordenadas Magna Sirgas, en concordancia con lo dispuesto en el artículo 144 del Decreto Distrital 190 de 2004.

**Figura 68** Mapa zonas de respuesta sísmica a escala 1:50.000



Fuente: [FOPAE](#) (2010)

**Artículo 4:** Las edificaciones que se construyan o aquellas que sean ampliadas, adecuadas, modificadas en el Distrito Capital en forma tal que conlleven intervención



estructural o que sean objeto de reforzamiento estructural o rehabilitación sísmica, deberán diseñarse y construirse dependiendo de la ubicación de los planos denominados “Mapa de Zonas Geotécnicas” “Mapa de Zonas de Respuesta Sísmica”, acogiéndose los coeficientes y curva de diseño”, salvo las construcciones del Título E de la NSR-10 las cuales diseñarán de acuerdo con lo dispuesto en él.

### **COEFICIENTES Y CURVA DE DISEÑO**

**ZONA:** Cerros

**Fa (475):** 1.35

**Fv (475):** 1.30

**Tc (s):** 0.62

**TL (s):** 3.0

**A0 (475) (g):** 0.18

#### ***4.2.5.3 Sismicidad histórica en Bogotá***

El área dentro del cual se generan los sismos que pueden afectar una determinada región es de gran interés para el cálculo de la amenaza. Aunque con frecuencia se ha tomado como zona de influencia un área comprendida dentro de un círculo de radio de doscientos kilómetros alrededor del punto de interés, la observación de la sismicidad muestra que la forma de zona de influencia sísmica no es esférica y que su forma y dimensiones son propias de cada región. Este es el caso de Santa Fe de Bogotá, cuya zona de influencia sísmica determinada con datos históricos de los últimos quinientos años presenta dos particularidades: a) todos los sismos importantes vienen del sur y de la zona cercana al oriente de la ciudad y b) varios sismos destructores tienen su epicentro a más de trescientos kilómetros de la ciudad (Espinosa, 1994).

En un periodo de 500 años, en Santa Fé de Bogotá han ocurrido 3 eventos de intensidad VIII, en 1785, 1827 y 1917 y 4 eventos de intensidad VII en 1743, 1826, 1923 y 1967. Además de que los intervalos de recurrencia entre los sismos son bastante irregulares (42 y 90 años para los de intensidad VIII y entre 46 y 93 para los de intensidad VII), la sismicidad tiene la notable característica de presentar largos períodos, a veces de más de ciento cincuenta años, sin que se produzca un sismo notable. El último evento importante ocurrió hace 80 años, en 1917 (Espinosa, 1994).

La aparente inconsistencia de las recurrencias, tanto en la región de Bogotá como en otras regiones de Colombia, se explica, según Espinosa (1996), por la diversidad de las fuentes sismogénicas. En el caso de Bogotá, las diversas fuentes (borde llanero, sistema de fallas del Magdalena, fallas inmediatas a la ciudad) tienen diferentes tasas de actividad y están a diferentes

distancias, lo cual se manifiesta en un panorama aparentemente incoherente en un lapso de tiempo relativamente corto como el de quinientos años.

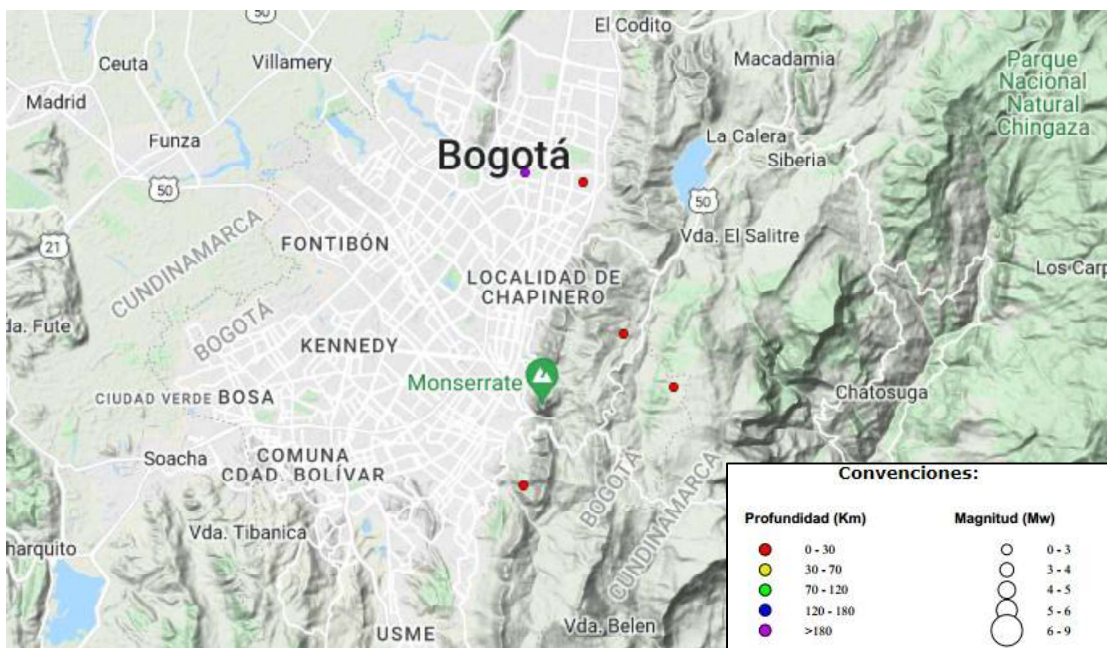
#### 4.2.5.4 Catálogo de sismicidad SGC

El catálogo de sismicidad el Servicio Geológico Colombiano- SGC se compone de dos periodos:

- El primero corresponde al catálogo comprendido entre el 1 de junio de 1993 y el 28 de febrero de 2018.
- El segundo corresponde al catálogo comprendido entre el 1 de marzo de 2018 hasta la actualidad.

Todos los eventos reportaos en los catálogos han sido revisados manualmente por analistas de sismología del SGC.

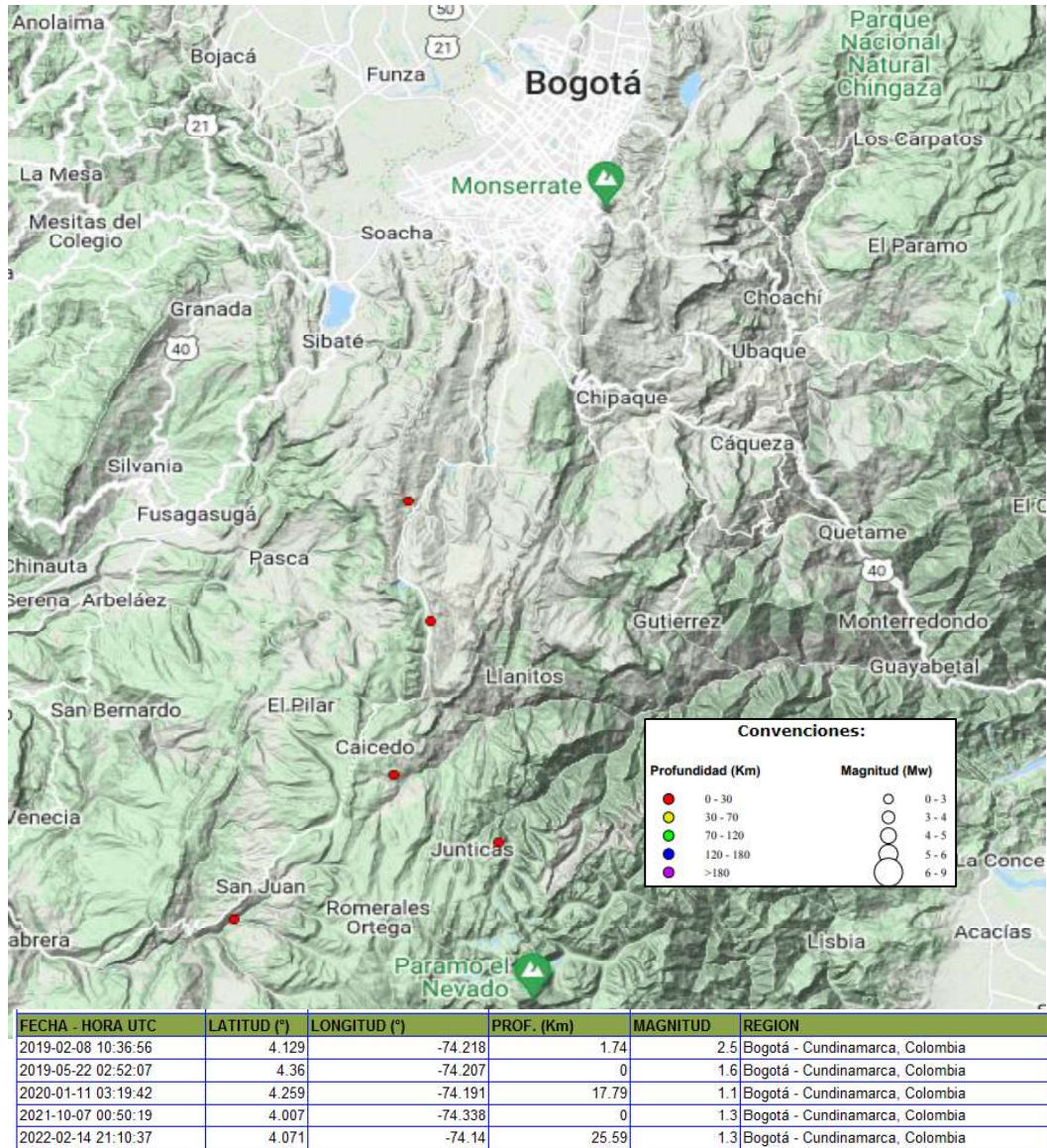
**Figura 69** Inventario de sismos Santa Fé de Bogotá periodo 1993-2018



FECHA	HORA UTC	LATITUD (grados)	LONGITUD (grados)	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD MI	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
1996-02-28	08:48:14	4.637	-74.023	0	1.5	CUNDINAMARCA	BOGOTÁ Distrito_Capital
2003-04-15	05:41:25	4.615	-74.002	0	2.3	CUNDINAMARCA	BOGOTÁ Distrito_Capital
2005-10-01	05:17:50	4.673	-74.066	0	2.9	CUNDINAMARCA	BOGOTÁ Distrito_Capital
2006-11-01	06:39:15	4.706	-74.065	206.6	1.6	CUNDINAMARCA	BOGOTÁ Distrito_Capital
2011-10-14	10:56:21	4.702	-74.04	9	2	CUNDINAMARCA	BOGOTÁ Distrito_Capital

Fuente: Portal SGC

**Figura 70** Inventario de sismos Santa Fé de Bogotá periodo 2018-Actual

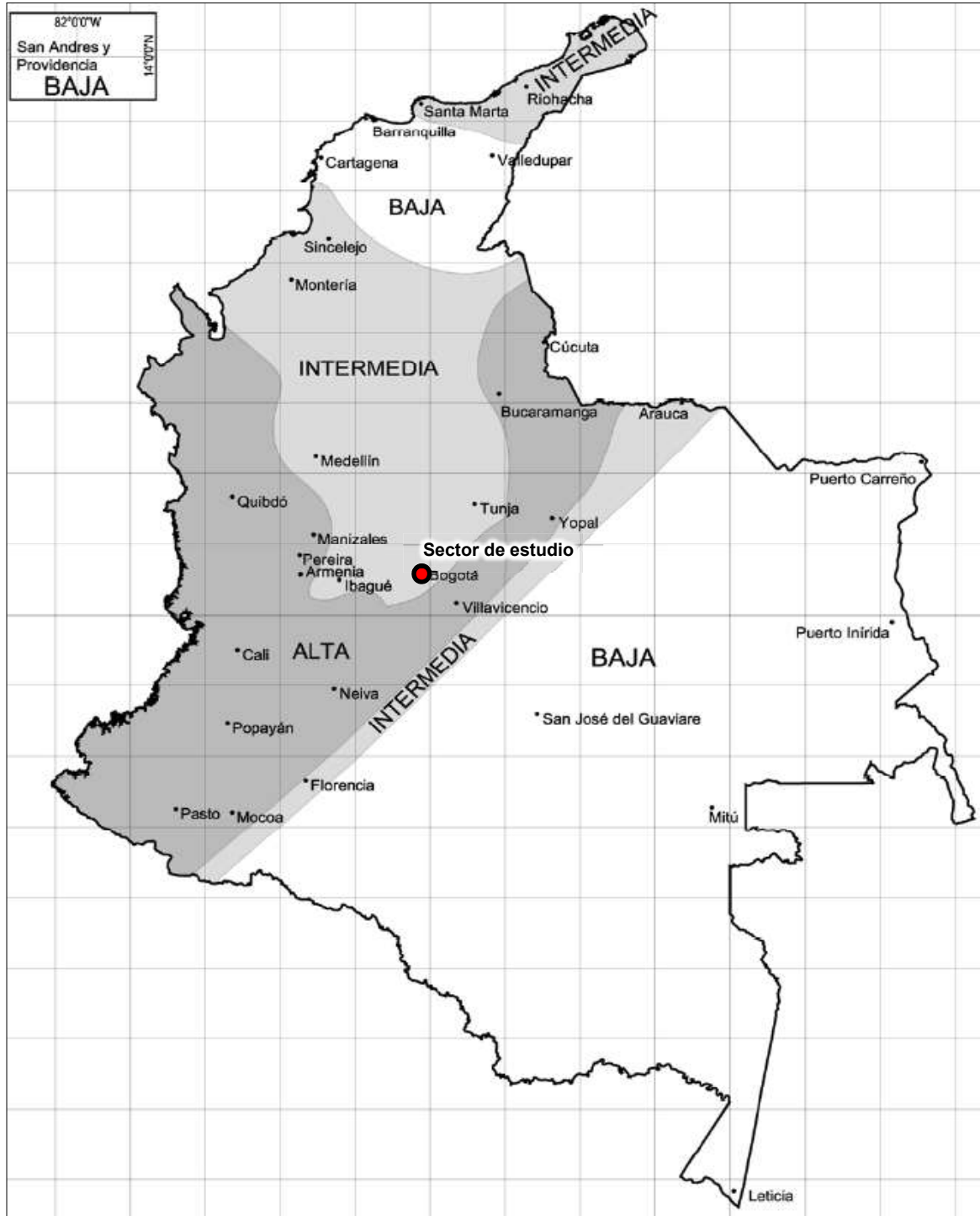


Fuente: Portal SGC

#### 4.2.5.5 Amenaza sísmica NSR-10

Así mismo se realiza la referenciación sísmica mediante la NSR-10 título A, de acuerdo con el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS et al, 2010), el sector de estudio se localiza en una zona de amenaza sísmica intermedia (Figura 71)

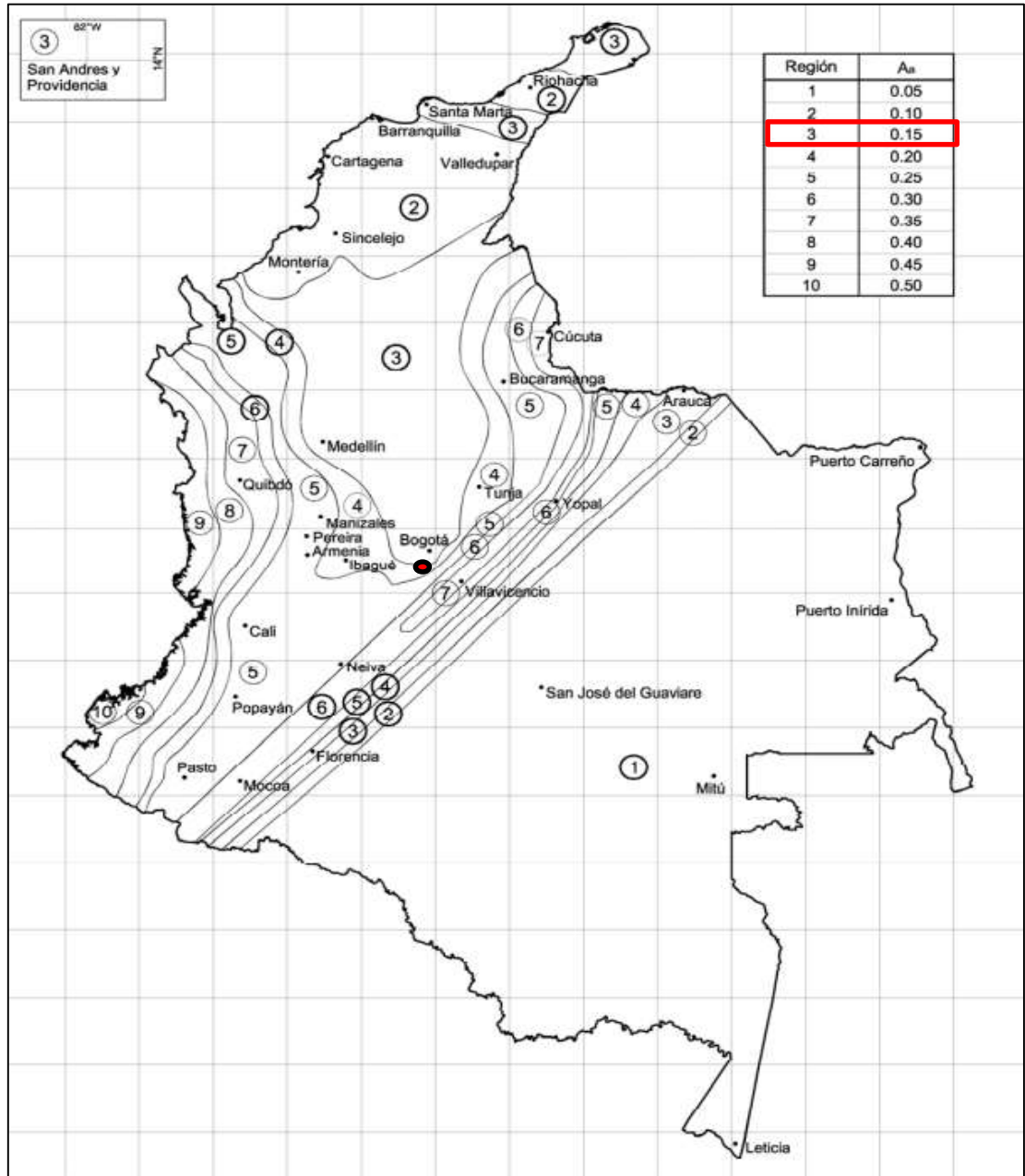
**Figura 71** Zonas de amenaza sísmica



Fuente: NSR10. Título A, 2010.

Teniendo en cuenta la **Figura 72**, se indica que la zona de estudio se encuentra en la región de amenaza sísmica 3.

**Figura 72** Regiones de amenaza sísmica con respecto a Aa



Fuente: NSR10. Título A, 2010.

En la siguiente tabla se presentan los parámetros correspondientes a Aa y Av para la ciudad de Bogotá DC.

**Tabla 22** Valores Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica.

MUNICIPIO	CÓDIGO MUNICIPIO	Aa	Av	ZONA DE AMENAZA SÍSMICA	Ae	Ad
Bogotá D.C.	11001	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06

Fuente: NSR10. Título A, 2010.

Teniendo en cuenta la reglamentación establecida por el decreto 523 del 2010 expedido por el distrito de Bogotá D.C, para los análisis sísmicos del presente proyecto, se analizarán a partir de las consideraciones establecidas por la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. en la tabla 3 “Coeficientes y curvas de diseño 3.1 Coeficientes de diseño”, siendo para la zona “CERROS”, los valores relacionados previamente.

#### 4.2.6 Hidrogeología

La Formación Guaduas, de acuerdo al estudio de DAMA (2004) en Veloza (2013), se define como un acuitardo continuo de extensión regional de bajo rendimiento, asociado a rocas arcillosas principalmente en sus miembros inferior y superior. En el caso del conjunto medio de esta unidad geológica, predominan los niveles de areniscas cuarzosas bien cementadas y con poca matriz arcillosa, y es considerado como acuífero con algunos pozos en Ciudad Bolívar que aprovechan sus aguas.

En este orden, Veloza (2013) clasifica el agua subterránea de la Formación Guaduas como Bicarbonatada Cálcica debido a la disolución de minerales silicatados y posiblemente indica flujos intermedios a locales, y define que éste acuífero presenta una porosidad primaria con extensión lateral limitada y recarga mínima.

Según el plan de manejo ambiental de agua subterránea en la sabana de Bogotá y zona crítica de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR en el año 2008, la zona de estudio se encuentra localizada dentro la subcuenca Tunjuelito. La hidrogeología y características del acuífero de la Formación Guaduas en esta subcuenca de la sabana de Bogotá es mostrada en la Figura No. 7.

**Figura 73** Hidrogeología de los acuíferos Terciarios en la subcuenca Tunjuelito, Sabana de Bogotá

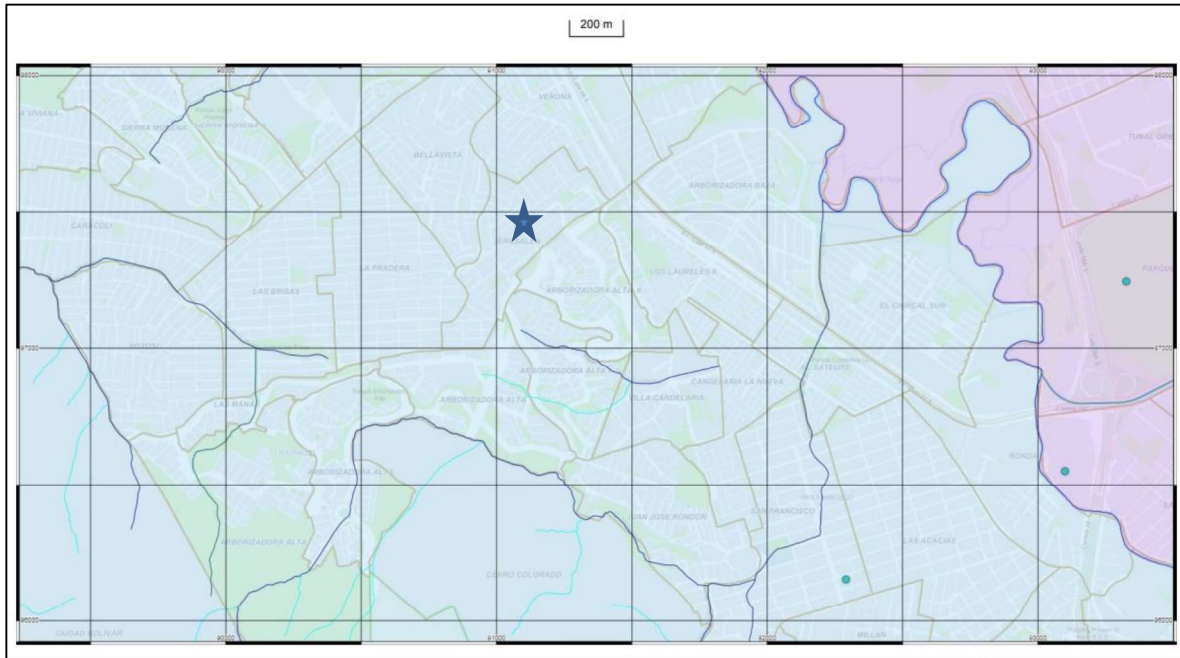
HIDROGEOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS EN LA SUBCUENCA TUNJUELITO - SABANA DE BOGOTÁ					
PERIODO	UNIDAD	ESPESOR (m)	LITOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	RESISTIVIDAD
TERCIARIO	Formación Bogotá, Conjunto superior (Tebs) y Formación Usme (Tsu)	>1000 >400	Lutitas arcillosas y arenosas	De poca importancia hidrogeológica.	
	Formación Plaeners (Kgpl)	80	Lodolitas silíceas, arcillolitas y areniscas de grano fino a muy fino.	De poca importancia hidrogeológica	
	Formación Arenisca de La Regadera (Ter) y Formación Bogotá Conjunto Superior (Tebs)	400-600 620	Conjunto de areniscas de grano medio feldespáticas y líticas de esta formación. Alternancia de areniscas de grano fino a conglomeráticas interestratificadas con arcillolitas.	De poca importancia hidrogeológica De poca importancia hidrogeológica	50-100
	Formación Arenisca del Cacho (Tpc)	120	Gruesos bancos de areniscas de grano fino intercaladas con arcillolitas.	De poca importancia hidrogeológica	
	Formación Guaduas (Tkgu)	88	Areniscas de grano fino a medio interestratificadas con arcillolitas y mantos de carbón	De poca importancia hidrogeológica	<20

Fuente: CAR (2008)

Bermoudes y Velandia (2010) apoyan esta teoría, en su informe de Hidrogeología regional de la Sabana de Bogotá, agrupan a la Formación Guaduas (Kpgg) dentro del complejo acuitardo Paleógeno, donde la litología predominante corresponde a arcillolitas con estratos de arenisca y mantos de carbón. La profundidad de los pozos que explotan esta unidad se encuentran en el orden de 50 a 150 metros, con un caudal de 0.3 a 2 litros/segundo, y una transmisividad de <3 m<sup>2</sup>/día.

Por otra parte, la consulta en el Visor Geográfico Ambiental de la Secretaría Distrital de Ambiente SDA, reconoce 521 pozos de agua subterránea registrados en Bogotá, de los cuales 68 son objeto de control y seguimiento constante por parte de la Secretaría de Ambiente; 222 están sellados (114 totalmente y 108 temporalmente) y 231 se encuentran en trámite ambiental. La Figura No. 8 expone la ubicación del área de estudio dentro del barrio Jerusalén, el cuál no reporta ninguna perforación de agua subterránea cercana.

**Figura 74** Perforaciones de agua subterránea en Bogotá



Fuente: Visor Geográfico Ambiental de la SDA, Bogotá D.C

El estudio realizado por la Firma Ingeniería y Georriesgos en el año 2007, donde se llevaron a cabo perforaciones con profundidades variables de 6 a 16 metros en el sector Jerusalén-Canteras, no registró niveles freáticos, a excepción posible nivel freático a 1.8 metros, reportado en un sondeo realizado dentro de la urbanización ubicada en el talud superior del área de estudio.



## 5. DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO

### 5.1 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

El análisis geotécnico de la zona de estudio se realiza a través de una exploración directa con la ejecución de cinco (5) perforaciones mecánicas, diez (10) apiques y tres (3) trincheras y columnas, y la exploración geotécnica indirecta con tres (3) tomografías eléctricas y tres (3) líneas de refracción sísmica y MASW. Lo anterior con el objetivo de caracterizar el subsuelo, determinar el perfil sísmico y de resistividad aparente y posteriormente obtener un modelo del subsuelo que permita realizar el diseño de las obras proyectadas. En este capítulo se encuentran los resultados de los ensayos de laboratorio y su respectivo análisis.

#### 5.1.1 Localización exploración geotécnica

En la Tabla No. 2 y No. 3 se presenta la distribución y localización en coordenadas Magna Ciudad Bogotá y Magna Colombia Bogotá del muestreo realizado en sitios de interés geotécnico. En el caso de la exploración directa se indica la profundidad en metros del muestreo y en la exploración indirecta la longitud de cada línea.

**Tabla 23** Localización exploración geotécnica directa

TIPO	PROF. (m)	COORDENADAS MAGNA CIUDAD BOGOTÁ		COORDENADAS MAGNA COLOMBIA BOGOTÁ		
		ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	
Perforaciones	Perf-1	5,0 m	90786,53	97960,19	990786,27	997964,73
	Perf-2	5,0 m	90705,02	97814,43	990704,78	997819,03
	Perf-3	5,0 m	90779,76	97739,88	990779,48	997744,50
	Perf-4	5,0 m	90735,66	97999,70	990735,42	998004,22
	Perf-5	5,0 m	90778,71	97804,55	990778,44	997809,14
Apiques	A1	Hasta 2,0 m	90791,99	97986,89	990791,73	997991,42
	A2	Hasta 2,0 m	90765,47	97915,00	990765,21	997919,56
	A3	Hasta 2,0 m	90767,29	97857,83	990767,02	997862,41
	A4	Hasta 2,0 m	90715,75	97832,82	990715,50	997837,41
	A5	Hasta 2,0 m	90795,18	97789,51	990794,90	997794,11
	A6	Hasta 2,0 m	90723,58	97866,77	990723,33	997871,35
	A7	Hasta 2,0 m	90758,75	98018,38	990758,51	998022,90
	A8	Hasta 2,0 m	90772,66	97957,79	990772,40	997962,33
	A9	Hasta 2,0 m	90739,61	97797,69	990739,35	997802,30
	A10	Hasta 2,0 m	90732,20	97985,87	990731,96	997990,40
Trincheras y columnas	TR-1	10,0 m	90766,51	97964,73	990766,25	997969,26
	TR-2	25,0 m	90764,72	97934,026	990753,34	997906,85
	TR-3	15,0 m	90753,79	97875,74	990753,54	997880,31

Fuente: Consultor

**Tabla 24** Localización exploración geotécnica indirecta

TIPO	LONGITUD (m)	COORDENADAS MAGNA CIUDAD BOGOTÁ		COORDENADAS MAGNA COLOMBIA BOGOTÁ	
		ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
LRS 1 - Inicio	101,2	90754,41	98007,67	990754,16	998012,19
LRS 1 - Fin		90734,41	97908,43	990734,16	997912,99
LRS 2 - Inicio	101,2	90804,18	97969,58	990803,91	997974,11
LRS 2 - Fin		90780,46	97872,40	990780,19	997876,97
LRS 3 - Inicio	101,2	90766,31	97817,15	990766,04	997821,75
LRS 3 - Fin		90857,36	97775,23	990857,05	997779,83
TOM 1 - Inicio	93,0	90703,59	97811,87	990703,35	997816,47
TOM 1 - Fin		90771,06	97747,81	990770,79	997752,43
TOM 2 - Inicio	217,0	90713,35	97816,37	990713,11	997820,97
TOM 2 - Fin		90758,23	98028,77	990757,99	998033,28
TOM 3 - Inicio	49,6	90773,23	97914,02	990772,97	997918,58
TOM 3 - Fin		90783,52	97962,56	990783,26	997967,10

Fuente: Consultor

La localización de la exploración geotécnica directa e indirecta realizada en la zona de estudio se presenta en la Figura No. 9.

**Figura 75** Localización de la exploración geotécnica realizada.



Fuente: Consultor

A continuación, se presenta el registro fotográfico del muestreo realizado en la exploración directa (perforaciones, apiques y trincheras).

**Figura 76** Registro fotográfico Perforación 1 y 2



Fuente: Consultor

**Figura 77** Registro fotográfico Perforación 3 y 4



Fuente: Consultor

**Figura 78**      Registro fotográfico Perforación 5



Fuente: Consultor

**Figura 79** Registro fotográfico Apique 1



Fuente: Consultor

**Figura 80** Registro fotográfico Apique 2



Fuente: Consultor

**Figura 81** Registro fotográfico Apique 3



Fuente: Consultor

**Figura 82** Registro fotográfico Apique 4



Fuente: Consultor

**Figura 83** Registro fotográfico Apique 5



Fuente: Consultor

**Figura 84** Registro fotográfico Apique 6



Fuente: Consultor

**Figura 85** Registro fotográfico Apique 7



Fuente: Consultor

**Figura 86** Registro fotográfico Apique 8



Fuente: Consultor

**Figura 87** Registro fotográfico Apique 9



Fuente: Consultor

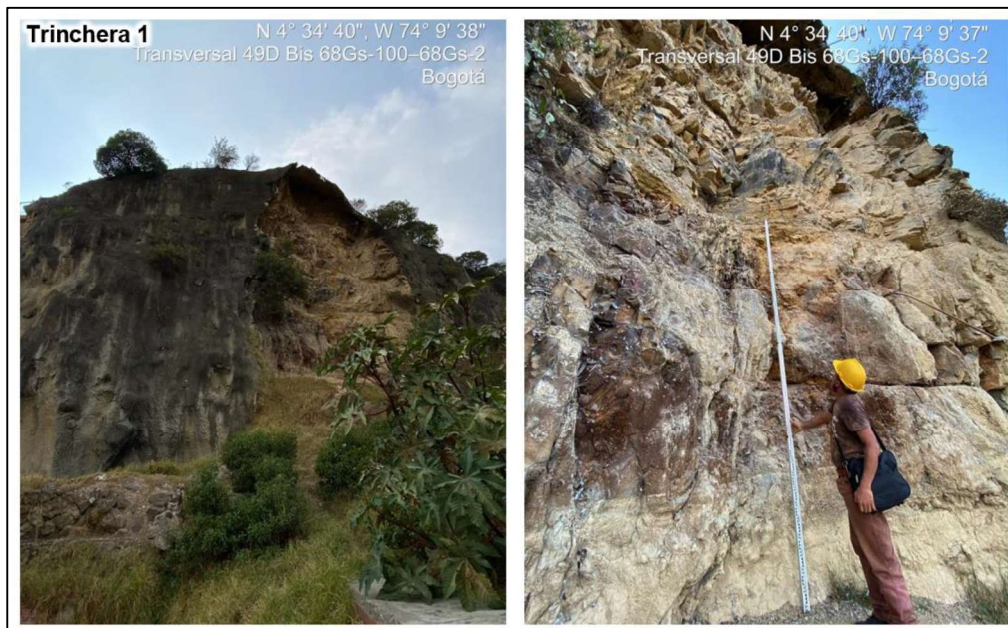


**Figura 88** Registro fotográfico Apique 10



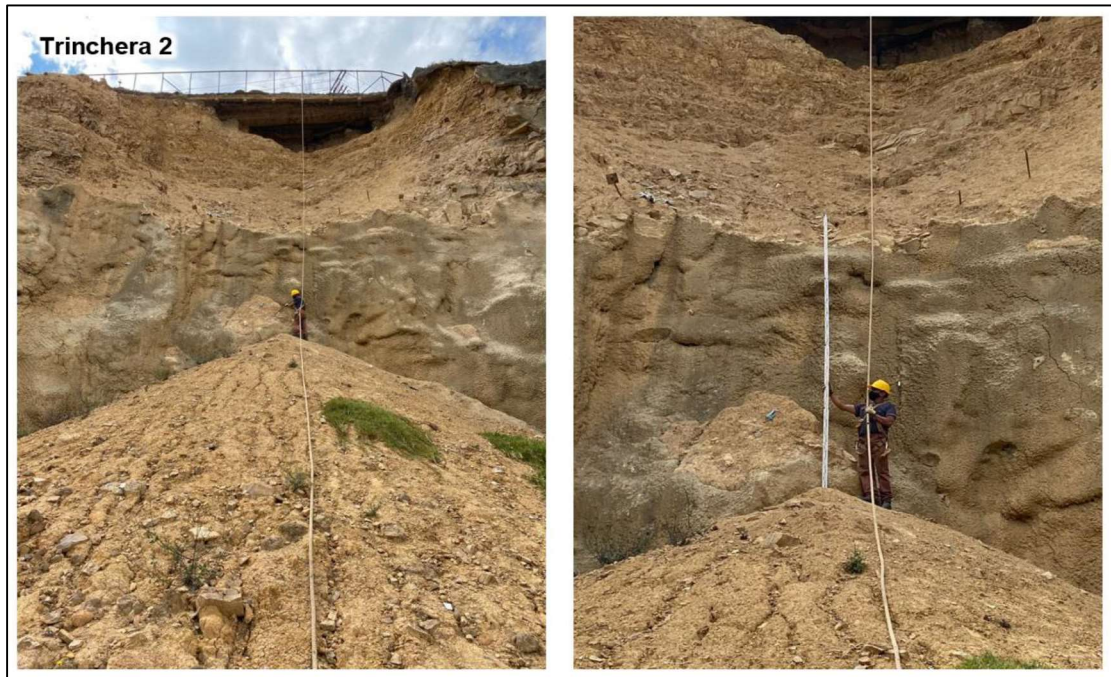
Fuente: Consultor

**Figura 89** Registro fotográfico Trinchera 1



Fuente: Consultor

**Figura 90** Registro fotográfico Trinchera 2



Fuente: Consultor

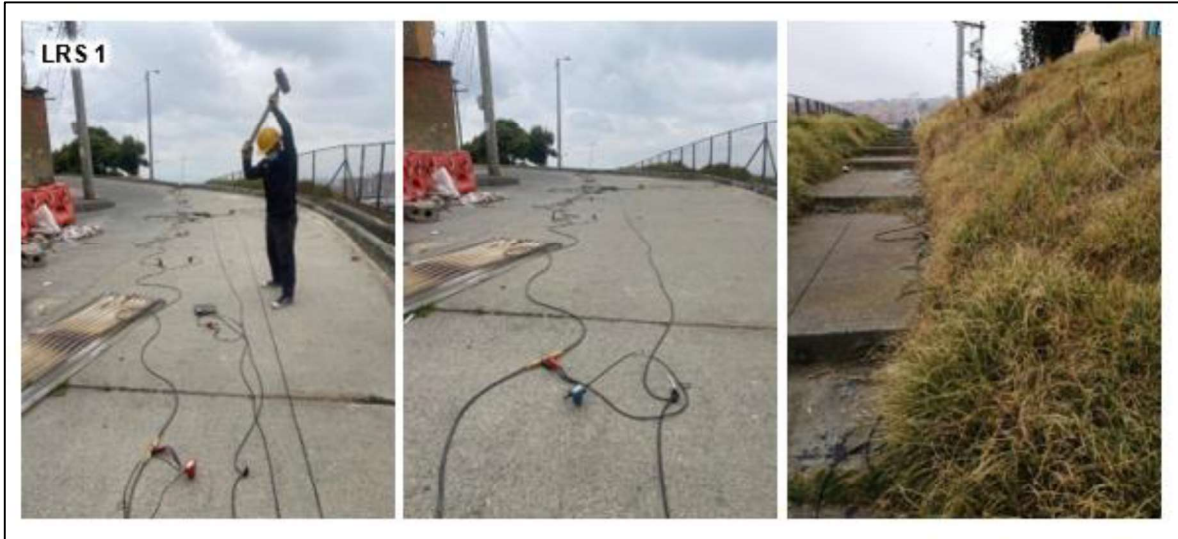
**Figura 91** Registro fotográfico Trinchera 3



Fuente: Consultor

Las siguientes figuras presentan el registro fotográfico de la exploración indirecta (LRS, MASW y tomografías) realizada en la zona de estudio.

**Figura 92** Registro fotográfico LRS 1



Fuente: Consultor

**Figura 93** Registro fotográfico LRS 2



Fuente: Consultor

**Figura 94** Registro fotográfico LRS 3



Fuente: Consultor

**Figura 95** Registro fotográfico Tomografía 1



Fuente: Consultor

**Figura 96**    Registro fotográfico Tomografía 2



Fuente: Consultor

**Figura 97**    Registro fotográfico Tomografía 3



Fuente: Consultor

La descripción visual en campo de los apiques se muestra a continuación.

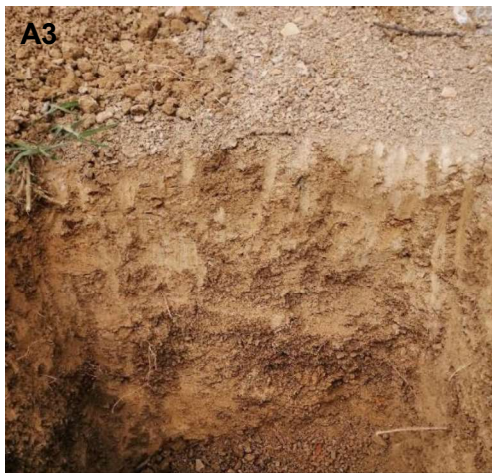
**Figura 98** Descripción visual Apique 1, 2, 3 y 4



El apique expone una capa de materia orgánica de aproximadamente 40 cm de espesor, la cual suprayace a un nivel homogéneo de un suelo arcilloso de tonalidades grisáceas y pardas, con algunos fragmentos de areniscas inmersos en dicha matriz fina.



El apique expone un único nivel de suelo de carácter arcillo-limoso, de tonalidades marrones, con rastros de materiales transportados correspondientes a relaves y desechos antrópicos y algunos fragmentos de roca de menos de 5 centímetros de longitud.



El apique expone un único nivel homogéneo de un material deleznable y con poca cohesión, asociado a pequeños fragmentos de arcillas de geometría tabular y subangulares, clastosoportados en una matriz arcillosa.



El apique expone un único nivel de un suelo rico en materia orgánica, de carácter arenoso con cierto porcentaje de limos, y algunas evidencias de escombros y desechos antrópicos. Así mismo, se encuentran inmersos fragmentos de roca texturalmente heteroedáneos.

Fuente: Consultor

**Figura 99** Descripción visual Apique 5, 6, 7 y 8



El apique expone una capa de materia orgánica de aproximadamente 30 cm de espesor, la cual suprayace a un nivel heterogéneo de un suelo arcilloso y/o limoso de tonalidades grisáceas y pardas, con algunos fragmentos de areniscas subangulares inmersos en dicha matriz fina.



El apique expone una capa de materia orgánica de aproximadamente 25 cm de espesor, la cual suprayace a un suelo heterogéneo de carácter arenoso, con buen porcentaje de materia orgánica y ocasionalmente relaves de escombros y desechos. Así mismo, se encuentran inmersos fragmentos de rocas subangulares texturalmente heterogéneos.



El apique expone un único nivel homogéneo de color marrón oscuro, correspondiente a un suelo de carácter limoso, ligeramente húmedo, de buena compactación. Posiblemente asociado a un suelo residual, presenta inmerso algunos fragmentos de roca subredondeados.



El apique, ubicado en el antiguo frente de explotación de la cantera, en la base de los escarpes afectados, expone un único nivel homogéneo, de tonalidades amarillas y grisáceas, de un suelo arcilloso, de baja humedad, ocasionalmente con fragmentos de roca de tamaños menores a 5 cm.

Fuente: Consultor

**Figura 100** Descripción visual Apique 9 y 10



El apique expone una capa de materia orgánica de aproximadamente 15 cm de espesor, la cual suprayace a un suelo heterogéneo de carácter arenoso, con buen porcentaje de materia orgánica aumentando en profundidad lo que sugiere que hace parte de un suelo de relleno, ocasionalmente presenta relaves de escombros y desechos. Así mismo, se encuentran inmersos fragmentos de rocas subangulares texturalmente heterogéneos.























El apique expone una capa de aproximadamente 30 cm de espesor compuesta por materia orgánica y desechos antrópicos, la cual suprayace a un material de carácter arenoso con cierto porcentaje de limos, con fragmentos de roca texturalmente heterogéneos inmersos en dicha matriz.

Fuente: Consultor

A continuación se presenta la descripción visual de las perforaciones.























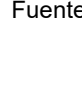



**Figura 101** Perfil estratigráfico Perf-1

Perfil Estratigráfico Perf-1									
PROF (m)	DESCRIP.	DIAGRAMA	MUESTRA	RECUPER. (m)	RECOBRO (%)	N CAMPO			R.FOTOGRAFICO
						6"	12"	18"	
0.45	Muestra de suelo orgánico, de coloración marrón oscura y negra, disgregada y húmeda, con algunas arenas.		M1	0.18	40%	5	5	8	
0.90	Muestra de suelo orgánico, de coloración marrón oscura y negra, disgregada y húmeda, con algunas arenas.		M2	0.12	27%	16	12	8	
1.35	Suelo areno-limoso muy denso, con tamaño de grano fino a medio, y ocasionalmente gravas de cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, enriquecido con materia orgánica		M3	0.14	31%	13	21	26	
2.25	Suelo areno-limoso muy denso, con tamaño de grano fino a medio, y ocasionalmente gravas de cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado.		M5	0.18	40%	40	44	49	
2.70	Suelo areno-limoso muy denso, con tamaño de grano fino a medio, y ocasionalmente gravas de cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado.		M6	0.16	36%	40	42	47	
3.15	Suelo areno-limoso muy denso, con tamaño de grano fino a medio, y ocasionalmente gravas de cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado.		M7	0.22	49%	48	45	48	
3.60	Suelo areno-limoso muy denso, con tamaño de grano fino a medio, y ocasionalmente gravas de cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado.		M8	0.23	51%	46	43	45	
4.05	Suelo areno-limoso muy denso, con tamaño de grano fino a medio, y ocasionalmente gravas de cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado.		M9	0.21	47%	39	45	48	
4.50	Suelo areno-limoso muy denso, con tamaño de grano fino a medio, y ocasionalmente gravas de cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado.		M10	0.16	36%	40	47	46	
4.95	Suelo areno-limoso muy denso, con tamaño de grano fino a medio, y ocasionalmente gravas de cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado.		M11	0.19	42%	45	48	49	
5.00	Suelo areno-limoso muy denso, con tamaño de grano fino a medio, y ocasionalmente gravas de cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado.		M12	0.04	80%	50			

























Fuente: Consultor

**Figura 102** Perfil estratigráfico Perf-2

Perfil Estratigráfico Perf-2									
PROF(m)	DESCRIP.	DIAGRAMA	MUESTRA	RECUPER. (m)	RECOBRO (%)	N CAMPO			R.FOTOGRAFICO
						6"	12"	18"	
0.45	Gravas de rocas texturalmente heterogéneas, altamente oxidadas y meteorizadas, de tamaños variables, inmersas en un suelo arcilloso con limos de tonalidades marrones claras. Presenta baja humedad.		M1	0.12	27%	15	25	41	
0.90	Gravas de rocas texturalmente heterogéneas, altamente oxidadas y meteorizadas, de tamaños variables, inmersas en un suelo arcilloso con limos de tonalidades marrones claras. Presenta baja humedad.		M2	0.14	31%	46	42	47	
1.35	Gravas de rocas texturalmente heterogéneas, altamente oxidadas y meteorizadas, de tamaños variables, inmersas en un suelo arcilloso con limos de tonalidades marrones claras. Presenta baja humedad.		M3	0.13	29%	45	48	49	
1.80	Nivel arcillo-limoso, ocasionalmente con arenas, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado. Presenta baja humedad.		M4	0.13	29%	45	47	45	
2.25	Nivel arcillo-limoso, ocasionalmente con arenas, de tonalidades marrones, ligeramente oxidado. Presenta baja humedad.		M5	0.11	24%	46	48	47	
2.70	Suelo limoso con arenas, y ocasionalmente gravas de cuarzo, muy denso, de tonalidades grisáceas y marrones, moderadamente oxidado. Presenta baja humedad.		M6	0.13	29%	47	48	49	
3.15	Suelo limoso con arenas, y ocasionalmente gravas de cuarzo, muy denso, de tonalidades grisáceas y marrones, moderadamente oxidado. Presenta baja humedad.		M7	0.14	31%	46	48	47	
3.60	Suelo limoso con arenas, y ocasionalmente gravas de cuarzo, muy denso, de tonalidades grisáceas y marrones, moderadamente oxidado. Presenta baja humedad.		M8	0.13	29%	47	49	47	
4.05	Suelo limoso con arenas, y ocasionalmente gravas de cuarzo, muy denso, de tonalidades grisáceas y marrones, moderadamente oxidado. Presenta baja humedad.		M9	0.10	22%	40	44	47	
4.50	Suelo limoso con arenas, y ocasionalmente gravas de cuarzo, muy denso, de tonalidades grisáceas y marrones, moderadamente oxidado. Presenta baja humedad.		M10	0.17	38%	47	46	49	
4.95	Suelo limoso con arenas, y ocasionalmente gravas de cuarzo, muy denso, de tonalidades grisáceas y marrones, moderadamente oxidado. Presenta baja humedad.		M11	0.19	42%	47	49	48	
5.00	Suelo limoso con arenas, y ocasionalmente gravas de cuarzo, muy denso, de tonalidades grisáceas y marrones, moderadamente oxidado. Presenta baja humedad.		M12	0.03	60%	21			

























Fuente: Consultor

**Figura 103 Perfil estratigráfico Perf-3**

Perfil Estratigráfico Perf-3									
PROF.(m)	DESCRIP.	DIAGRAMA	MUESTRA	RECUPER. (m)	RECOBRO (%)	N CAMPO			REGISTRO FOTOGRÁFICO
						6"	12"	18"	
0.45	Muestra de suelo orgánico, de coloración marrón oscura y negra, disgregada y húmeda, con algunas arenas.		M1	0.09	20%	12	15	25	
0.90	Muestra de suelo orgánico, de coloración marrón oscura y negra, disgregada y húmeda, con algunas arenas.		M2	0.14	31%	30	34	30	
1.35	Suelo arcillo-limoso duro, con arenas y ocasionalmene gravas de cuarzo y feldespató oxidadas, de tonalidades marrones. Presenta baja humedad.		M3	0.11	24%	27	25	20	
1.80	Suelo arcillo-limoso duro, con arenas y ocasionalmene gravas de cuarzo y feldespató oxidadas, de tonalidades marrones. Presenta baja humedad.		M4	0.11	24%	20	22	16	
2.25	Suelo arcillo-limoso duro, con arenas y ocasionalmene gravas de cuarzo y feldespató oxidadas, de tonalidades marrones. Presenta baja humedad.		M5	0.16	36%	35	46	47	
2.70	Nivel limoso con arcillas y ocasionalmente arenas, de tonalidades grisáceas y marrones, duro y con humedad baja. Presenta gravas de cuarzo y feldespató moderadamente oxidadas.		M6	0.16	36%	45	46	48	
3.15	Nivel limoso con arcillas y ocasionalmente arenas, de tonalidades grisáceas y marrones, duro y con humedad baja. Presenta gravas de cuarzo y feldespató moderadamente oxidadas.		M7	0.1	22%	47	45	48	
3.60	Nivel limoso con arcillas y ocasionalmente arenas, de tonalidades grisáceas y marrones, duro y con humedad baja. Presenta gravas de cuarzo y feldespató moderadamente oxidadas.		M8	0.09	20%	46	49	48	
4.05	Nivel limoso con arcillas y ocasionalmente arenas, de tonalidades grisáceas y marrones, duro y con humedad baja. Presenta gravas de cuarzo y feldespató moderadamente oxidadas.		M9	0.16	36%	39	43	47	
4.50	Nivel limoso con arcillas y ocasionalmente arenas, de tonalidades grisáceas y marrones, duro y con humedad baja. Presenta gravas de cuarzo y feldespató moderadamente oxidadas.		M10	0.09	20%	47	48	47	
4.95	Nivel limoso con arcillas y ocasionalmente arenas, de tonalidades grisáceas y marrones, duro y con humedad baja. Presenta gravas de cuarzo y feldespató moderadamente oxidadas.		M11	0.16	36%	48	47	47	
5.00	Nivel limoso con arcillas y ocasionalmente arenas, de tonalidades grisáceas y marrones, duro y con humedad baja. Presenta gravas de cuarzo y feldespató moderadamente oxidadas.		M12	0.04	80%	18			














Fuente: Consultor

**Figura 104 Perfil estratigráfico Perf-4**

Perfil Estratigráfico Perf-4									
PROF(m)	DESCRIP.	DIAGRAMA	MUESTRA	RECUPER. (m)	RECOBRO (%)	N CAMPO			R.FOTOGRAFICO
						6"	12"	18"	
0.45	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de cuarzo, de tonalidades marrones. Presenta moderada humedad y densidad media; se encuentra enriquecida con materia orgánica.		M1	0.10	22%	5	8	12	
0.90	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de cuarzo, de tonalidades marrones. Presenta moderada humedad y densidad media; se encuentra enriquecida con materia orgánica.		M2	0.09	20%	15	16	8	
1.35	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de cuarzo, de tonalidades marrones. Presenta moderada humedad y densidad media; se encuentra enriquecida con materia orgánica.		M3	0.16	36%	15	10	18	
1.80	Nivel limoso con presencia de arcillas, de tonalidades grisáceas, duro. Presenta vestigios de gravas de cuarzo con tamaños variables, ligeramente oxidados.		M4	0.08	18%	26	35	47	
2.25	Nivel limoso con presencia de arcillas, de tonalidades grisáceas, duro. Presenta vestigios de gravas de cuarzo con tamaños variables, ligeramente oxidados.		M5	0.1	22%	30	34	48	
2.70	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de rocas ricas en cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, muy denso. Presenta moderada humedad.		M6	0.18	40%	37	42	45	
3.15	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de rocas ricas en cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, muy denso. Presenta moderada humedad.		M7	0.05	11%	46	48	47	
3.60	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de rocas ricas en cuarzo y feldespatos, de tonalidades marrones, muy denso. Presenta moderada humedad.		M8	0.15	33%	45	43	48	
4.05	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de rocas ricas en cuarzo y feldespatos, de tonalidades grisáceas, muy denso. Presenta moderada humedad.		M9	0.19	42%	44	46	47	
4.50	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de rocas ricas en cuarzo y feldespatos, de tonalidades grisáceas, muy denso. Presenta moderada humedad.		M10	0.15	33%	45	46	48	
4.95	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de rocas ricas en cuarzo y feldespatos, de tonalidades grisáceas, muy denso. Presenta moderada humedad.		M11	0.16	36%	47	48	49	
5.00	Suelo areno-limoso, ocasionalmente con gravas de rocas ricas en cuarzo y feldespatos, de tonalidades grisáceas, muy denso. Presenta moderada humedad.		M12	0.03	60%	20			

Fuente: Consultor

**Figura 105 Perfil estratigráfico Perf-5**

Perfil Estratigráfico Perf-5									
PROF. (m)	DESCRIP.	DIAGRAMA	MUESTRA	RECUPER. (m)	RECUBRO (%)	N CAMPO			R.FOTOGRAFICO
						6"	12"	18"	
0.45	Suelo areno limoso, areno arcilloso, de tonalidades marrones, enriquecido con materia orgánica, ocasionalmente con gravas de cuarzo moderadamente oxidadas. Presenta humedad baja y densidad media.		M1	0.12	27%	2	5	6	
0.90	Suelo areno limoso, areno arcilloso, de tonalidades marrones, enriquecido con materia orgánica, ocasionalmente con gravas de cuarzo moderadamente oxidadas. Presenta humedad baja y densidad media.		M2	0.13	29%	10	12	12	
1.35	Suelo areno limoso, areno arcilloso, de tonalidades marrones, enriquecido con materia orgánica, ocasionalmente con gravas de cuarzo moderadamente oxidadas. Presenta humedad baja y densidad media.		M3	0.16	36%	8	9	15	
1.80	Suelo areno limoso, areno arcilloso, de tonalidades marrones, enriquecido con materia orgánica, ocasionalmente con gravas de cuarzo moderadamente oxidadas. Presenta humedad baja y densidad media.		M4	0.12	27%	25	32	40	
2.25	Suelo areno limoso, areno arcilloso, de tonalidades marrones, muy denso, ocasionalmente con gravas de cuarzo moderadamente oxidadas. Presenta humedad media.		M5	0.14	31%	43	50	47	
2.70	Suelo areno limoso, areno arcilloso, de tonalidades marrones, muy denso, ocasionalmente con gravas de cuarzo moderadamente oxidadas. Presenta humedad media.		M6	0.1	22%	45	43	40	
3.15	Suelo areno limoso, areno arcilloso, de tonalidades marrones, muy denso, ocasionalmente con gravas de cuarzo moderadamente oxidadas. Presenta humedad media.		M7	0.14	31%	45	49	47	
3.60	Suelo areno limoso, areno arcilloso, de tonalidades marrones, muy denso, ocasionalmente con gravas de cuarzo moderadamente oxidadas. Presenta humedad media.		M8	0.13	29%	42	47	45	
4.05	Nivel areno-limoso, muy denso, de tonalidades marrones claras, con algunos fragmentos de rocas blandas de textura arenosa, ricas en cuarzo y feldespatos. Presenta baja humedad.		M9	0.15	33%	47	44	50	
4.50	Nivel areno-limoso, muy denso, de tonalidades marrones claras, con algunos fragmentos de rocas blandas de textura arenosa, ricas en cuarzo y feldespatos. Presenta baja humedad.		M10	0.16	36%	48	47	49	
4.95	Nivel areno-limoso, muy denso, de tonalidades marrones claras, con algunos fragmentos de rocas blandas de textura arenosa, ricas en cuarzo y feldespatos. Presenta baja humedad.		M11	0.20	44%	46	49	50	
5.00	Nivel areno-limoso, muy denso, de tonalidades marrones claras, con algunos fragmentos de rocas blandas de textura arenosa, ricas en cuarzo y feldespatos. Presenta baja humedad.		M12	0.04	80%	50			

Fuente: Consultor

### 5.1.2 Resultados exploración geotécnica directa

En el análisis de las propiedades de los materiales se tiene en cuenta los ensayos directos en el terreno y toma de muestras de las perforaciones realizadas durante la exploración geotécnica.

Los ensayos de mecánica de suelos efectuados se presentan en la Tabla No. 4, indicándose la cantidad de muestras analizadas.

**Tabla 25** Ensayos de laboratorio realizados para las muestras recuperadas en el área de estudio

ENSAYO	CANTIDAD REALIZADA
Peso unitario	10
Humedad	16
Gravedad específica	10
Límites de Atterberg	13
Granulometría	13
Corte directo	9
Compresión inconfiada en suelos	5
Carga puntual en rocas	5
Resistencia a la compresión en rocas	5

Fuente: Consultor

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio para conocer las propiedades físicas del suelo y el grado de resistencia de los materiales en el área de estudio.

#### **5.1.2.1 Resultados ensayo de penetración estándar**

El ensayo de penetración estándar se realizó en cada uno de las perforaciones con el fin de identificar las modificaciones en cuanto a dureza o consistencia de los suelos y correlacionar la resistencia del mismo a partir del parámetro N corregido.

De la Tabla No. 5 a la Tabla No. 9 se presenta el valor de N encontrado en campo en cada profundidad con su respectiva corrección para cada perforación.

**Tabla 26** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 1)

Profundidad (m)	Perforación No. 1 N En Campo	Perforación No. 1 N Corregido
0,45	13	7
0,90	20	16
1,35	47	38
1,80	92	70
2,25	93	63
2,70	89	62
3,15	93	64
3,60	88	56
4,05	93	51
4,50	93	48
4,95	97	49
5,0	Rechazo	

Fuente: Consultor

**Tabla 27** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 2)

Profundidad (m)	Perforación No. 2 N En Campo	Perforación No. 2 N Corregido
0,45	66	34
0,90	89	71
1,35	97	79
1,80	92	70
2,25	95	64
2,70	97	68
3,15	95	65
3,60	96	61
4,05	91	50
4,50	95	49
4,95	97	49
5,0	21	-

Fuente: Consultor

**Tabla 28** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 3)

Profundidad (m)	Perforación No. 3 N En Campo	Perforación No. 3 N Corregido
0,45	40	21
0,90	64	51
1,35	45	37
1,80	38	29
2,25	93	63
2,70	94	66
3,15	93	64
3,60	97	62
4,05	90	50
4,50	95	49
4,95	94	47
5,0	18	-

Fuente: Consultor

**Tabla 29** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 4)

Profundidad (m)	Perforación No. 4 N En Campo	Perforación No. 4 N Corregido
0,45	20	10
0,90	24	19
1,35	28	23
1,80	82	63
2,25	82	55
2,70	87	61
3,15	95	65
3,60	91	58
4,05	93	51
4,50	94	48
4,95	97	49
5,0	20	-

Fuente: Consultor

**Tabla 30** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Perforación 5)

Profundidad (m)	Perforación No. 5 N En Campo	Perforación No. 5 N Corregido
0,45	11	6
0,90	24	19
1,35	24	20
1,80	72	55
2,25	97	65
2,70	83	58
3,15	96	66
3,60	92	59
4,05	94	52
4,50	96	49
4,95	99	50
5,0	Rechazo	

Fuente: Consultor

Para interpretar los resultados del ensayo se correlaciona el parámetro N corregido con la consistencia del suelo. Para el caso de estudio se encontraron suelos de tipo friccionante en todas las perforaciones a excepción de la perforación 3 donde el material encontrado se considera cohesivo, teniendo en cuenta que las correlaciones empíricas utilizadas para la interpretación de los resultados varían de acuerdo al tipo de suelo se tienen en cuenta las categorizaciones según Brajas Das (1999) suelos granulares y según Jaime Kowski y otros (1988) para suelos cohesivos (Tabla No.10 y Tabla No.11)

**Tabla 31** Interpretación de los ensayos SPT, para suelos granulares

NÚMERO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR N	DENSIDAD RELATIVA %	ESTADO DEL SUELO
0 a 3	0 a 15	Muy suelto
3 a 8	15 a 35	Suelto
8 a 25	35 a 65	Medio
25 a 42	65 a 85	Denso
42 a 58	85 a 100	Muy denso

Fuente: JamielKowski et al, 1988

**Tabla 32** Interpretación entre el número de golpes del ensayo SPT y la consistencia de suelos cohesivos y arcillosos.

NÚMERO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR N	CONSISTENCIA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
0-2	Muy Blanda	0 a 25
2-may	Blanda	25 a 50
5-oct	Medio firme	50 a 100
oct-20	Firme	100 a 200
20-30	Muy firme	200 a 400
>30	Dura	>400

Fuente: Tomado y modificado de Brajas Das, 1999.



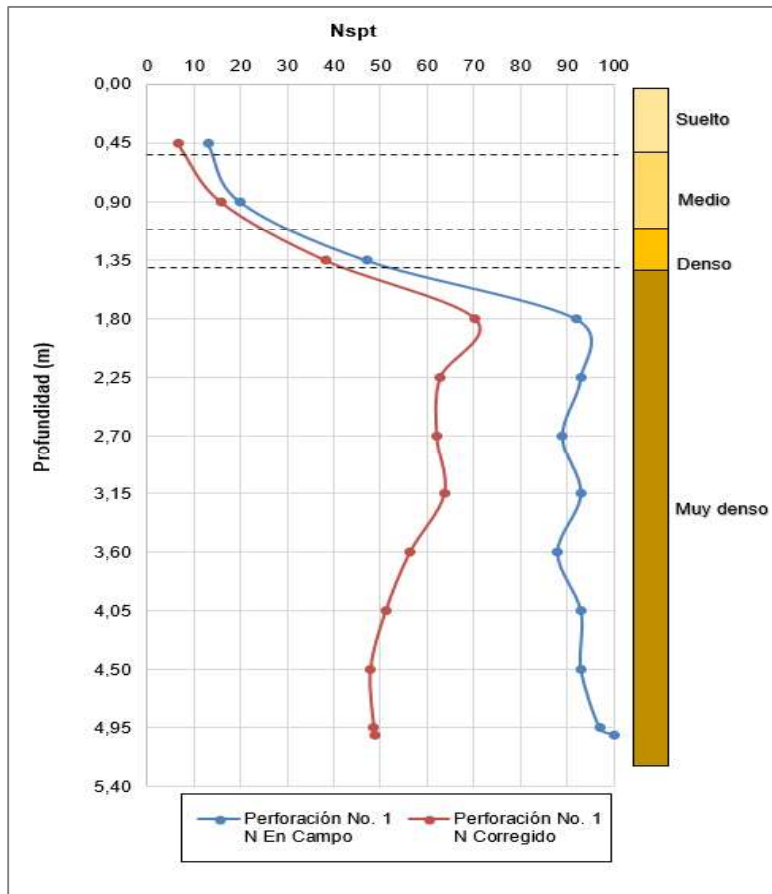
A continuación, se presentan los resultados del ensayo de penetración estándar realizado en las cinco perforaciones elaboradas en la zona de estudio.

**Tabla 33** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 1)

Profundidad (m)	Perforación No. 1 N Corregido	Estado del suelo
0,45	7	Suelto
0,90	16	Medio
1,35	38	Denso
1,80	70	Muy denso
2,25	63	Muy denso
2,70	62	Muy denso
3,15	64	Muy denso
3,60	56	Muy denso
4,05	51	Muy denso
4,50	48	Muy denso
4,95	49	Muy denso
5,0	Rechazo	Muy denso

Fuente: Consultor

**Figura 106** Análisis estado del suelo Perforación 1



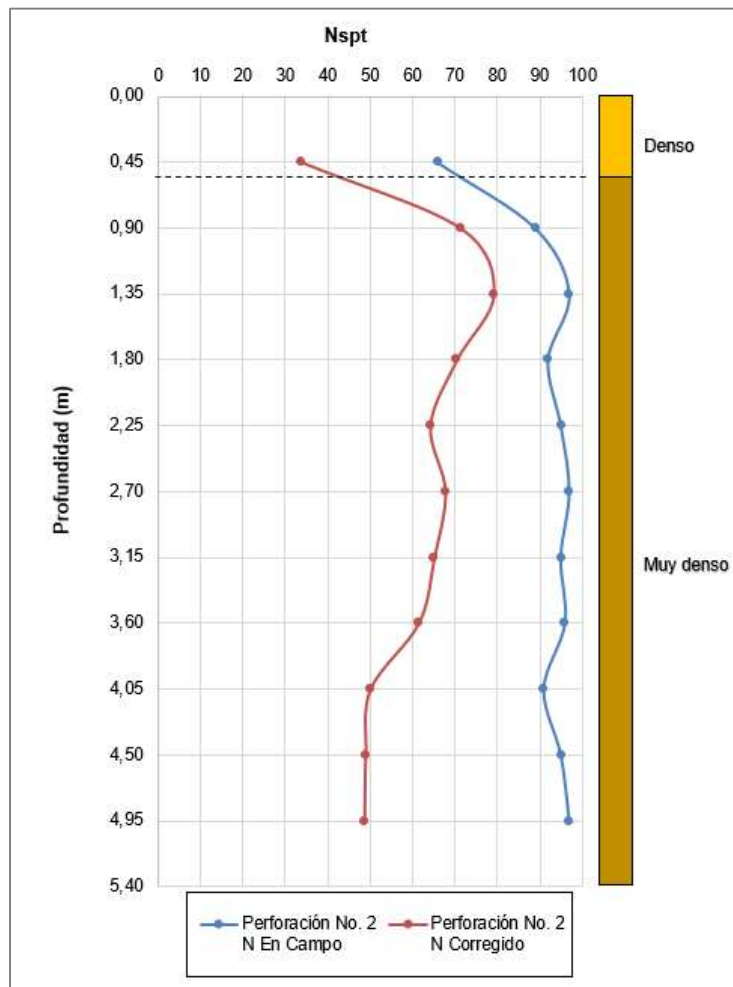
Fuente: Consultor

**Tabla 34** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 2)

Profundidad (m)	Perforación No. 2 N Corregido	Estado del suelo
0,45	34	Denso
0,90	71	Muy denso
1,35	79	Muy denso
1,80	70	Muy denso
2,25	64	Muy denso
2,70	68	Muy denso
3,15	65	Muy denso
3,60	61	Muy denso
4,05	50	Muy denso
4,50	49	Muy denso
4,95	49	Muy denso
5,0	-	Muy denso

Fuente: Consultor

**Figura 107** Análisis estado del suelo Perforación 2



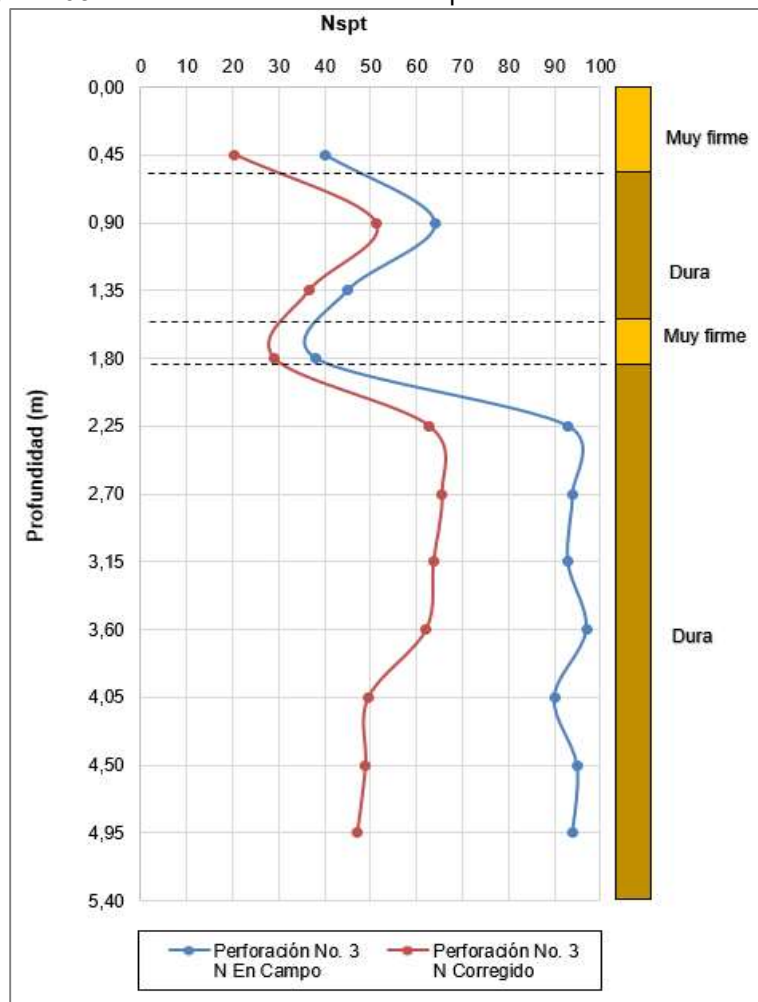
Fuente: Consultor

**Tabla 35** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 3)

Profundidad (m)	Perforación No. 3 N Corregido	Resistencia a la compresión
0,45	21	Muy firme
0,90	51	Dura
1,35	37	Dura
1,80	29	Muy firme
2,25	63	Dura
2,70	66	Dura
3,15	64	Dura
3,60	62	Dura
4,05	50	Dura
4,50	49	Dura
4,95	47	Dura
5,0	-	Dura

Fuente: Consultor

**Figura 108** Análisis resistencia a la compresión del suelo Perforación 3



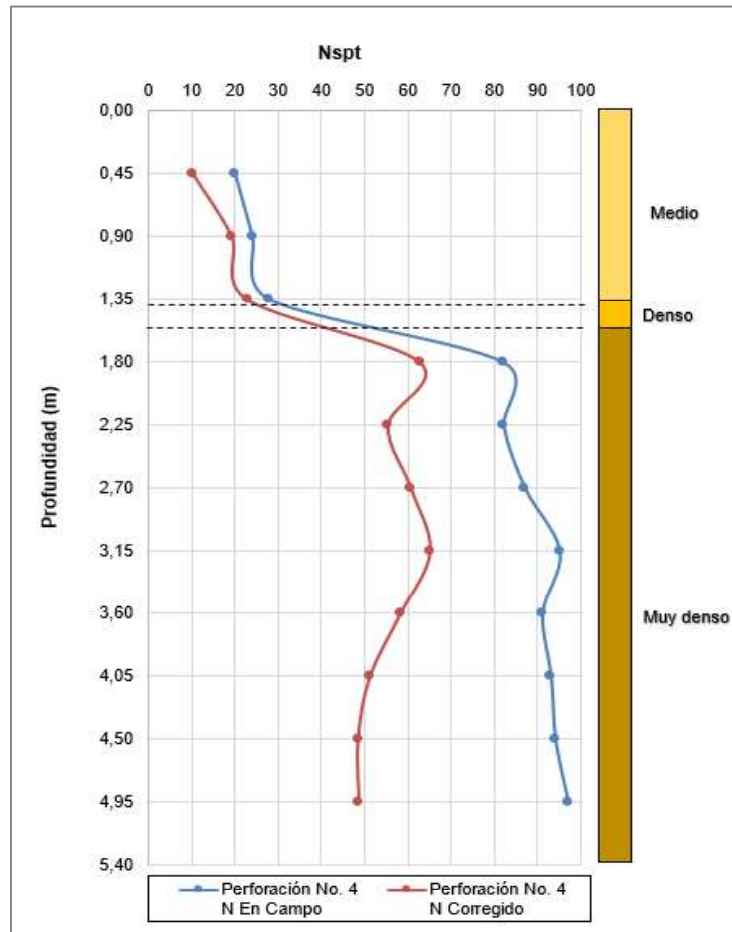
Fuente: Consultor

**Tabla 36** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 4)

Profundidad (m)	Perforación No. 4 N Corregido	Estado del suelo
0,45	10	Medio
0,90	19	Medio
1,35	23	Medio
1,80	63	Muy denso
2,25	55	Muy denso
2,70	61	Muy denso
3,15	65	Muy denso
3,60	58	Muy denso
4,05	51	Muy denso
4,50	48	Muy denso
4,95	49	Muy denso
5,0	-	Muy denso

Fuente: Consultor

**Figura 109** Análisis estado del suelo Perforación 4



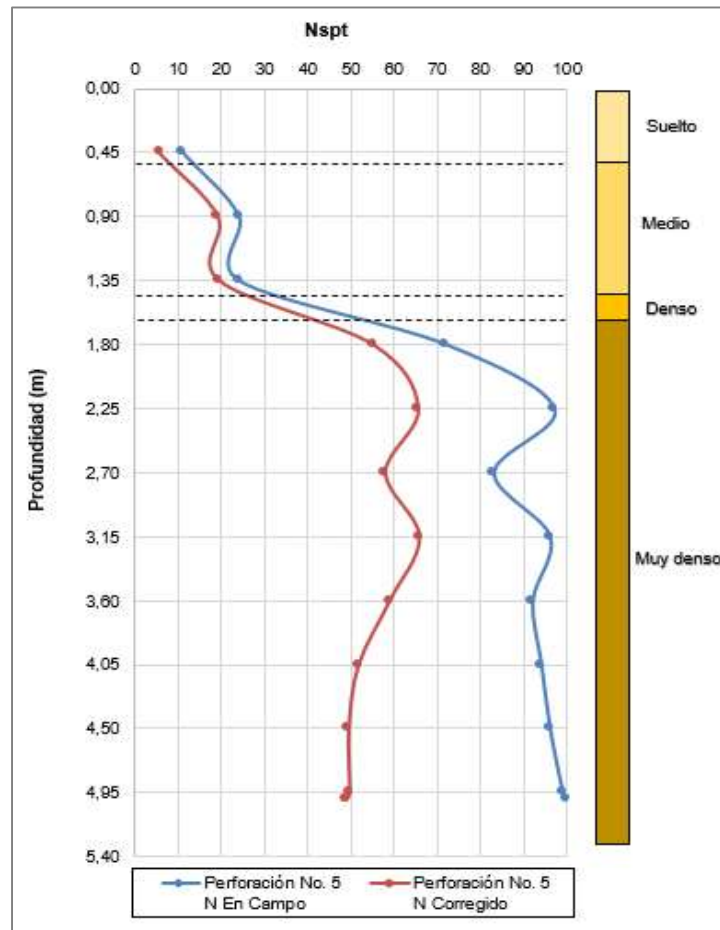
Fuente: Consultor

**Tabla 37** Correlación de N de SPT de campo y N de SPT corregido (Sondeo 5)

Profundidad (m)	Perforación No. 5 N Corregido	Estado del suelo
0,45	6	Suelto
0,90	19	Medio
1,35	20	Medio
1,80	55	Muy denso
2,25	65	Muy denso
2,70	58	Muy denso
3,15	66	Muy denso
3,60	59	Muy denso
4,05	52	Muy denso
4,50	49	Muy denso
4,95	50	Muy denso
5,0	-	Muy denso

Fuente: Consultor

**Figura 110** Análisis estado del suelo Perforación 5



Fuente: Consultor

### 5.1.3 Resultados Caracterización física de los suelos

Para la caracterización de los materiales se realizaron ensayos de humedad, granulometría y límites de Atterberg, esto con el objetivo de realizar un análisis granulométrico para la determinación cuantitativa de la distribución de las partículas del suelo y definir la clasificación, determinar el contenido de humedad y el estado plástico del suelo.

En la Tabla No. 17 se presentan los resultados de la caracterización de los apiques, en donde Wn (humedad), Prof. (profundidad), L.L. (Límite Líquido), L.P. (Límite Plástico), I.P. (Índice Plástico), Ic (Índice de consistencia), S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y la AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés American Association of State Highway and Transportation Officials).

**Tabla 38** Resultados ensayos de caracterizaciones de la exploración geotécnica - Apiques

TIPO	PROF (m)	CLAS. S.U.C.S.	wn. %	LÍMITES ATTERBERG				GRADACIÓN			CLAS. A.A.S.H.T.O.
				L.L.%	L.P.%	I.P. %	Ic	GRAVAS %	ARENAS %	FINOS %	
AP 1	2.00	CL	11.50	38.78	21.86	16.93	1.61	3.23	11.06	85.71	A-6
AP 2	2.00	CL - ML	11.68	33.26	26.28	6.99	3.09	13.77	15.57	70.67	A-4
AP 3	2.00	CL	9.05	32.49	20.95	11.54	2.03	2.06	15.33	82.61	A-6
AP 4	2.00	SM	10.99	20.44	18.80	1.65	5.74	9.53	45.12	45.35	A-4
AP 5	2.00	CL - ML	10.44	32.27	25.43	6.84	3.19	6.99	14.63	78.38	A-4
AP 6	2.00	SM	13.03	20.68	18.76	1.92	3.98	30.68	35.08	34.24	A-2-4
AP 7	2.00	ML	13.75	20.86	20.21	0.65	11.01	5.60	27.14	67.26	A-4
AP 8	2.00	CL	11.60	38.02	24.76	13.26	1.99	8.96	8.63	82.41	A-6
AP 9	2.00	SM	11.91	21.74	18.04	3.69	2.66	24.22	40.59	35.19	A-4
AP 10	2.00	CL - ML	24.45	27.79	22.10	5.69	0.59	4.77	27.14	68.10	A-4

Fuente: Consultor

**Tabla 39** Resultados ensayos de caracterizaciones de la exploración geotécnica - Perforaciones

TIPO	PROF (m)	CLAS. S.U.C.S.	wn. %	LÍMITES ATTERBERG				GRADACIÓN		
				L.L. %	L.P. %	I.P. %	Ic	GRAVAS %	ARENAS %	FINOS %
SPT1 - M3	0,90 - 1,35	-	3,12	25,61	20,94	4,67	-	-	-	-
SPT 2- M1	0 - 0,45	GC-GM	13,27	21,11	14,98	6,13	1,28	29,46	25,50	45,04
SPT3-M3	0,90 - 1,35	CL - ML	16,68	25,42	20,44	4,98	1,76	19,14	30,42	50,44
SPT4-M1	0 - 0,45	-	21,47	N.L	N.P	NI	-	-	-	-
SPT5-M3	0,90 - 1,35	-	14,07	N.L	N.P	NI	-	-	-	-
SPT5-M4	1,35 - 1,80	SC - SM	12,21	17,96	12,88	5,09	1,13	6,67	59,80	33,53

Fuente: Consultor

**Potencial Expansivo:**

Para determinar el potencial del hinchamiento del suelo, se realiza el análisis del límite líquido e índice de plasticidad, definiendo la correlación existente entre los límites de consistencia vs el Potencial de expansión del suelo, dicha relación se realiza a partir de la siguiente tabla:

**Tabla 40** Clasificación del potencial de hinchamiento

LL (%)	IP (%)	CLASIFICACIÓN DEL HINCHAMIENTO POTENCIAL
> 60	> 35	Alto
50 – 60	25 – 35	Marginal
50 <	25 <	Bajo

Fuente: Guía diseño de Placa Huella, INVIAS. (2017).

Un suelo se considera con una clasificación marginal o alta de potencial de expansión si su límite líquido de tiene una magnitud por encima del 50% y el índice de plasticidad se encuentra sobre el 25%. Para el caso en estudio, de acuerdo a los resultados de los límites de consistencia del suelo, se identifica que la máxima magnitud determinada para el límite líquido corresponde a 38.78%, mientras que la máxima magnitud calculada para el índice de plasticidad corresponde a 16.93%; al comparar estos resultados con los límites establecidos se identifica que los suelos caracterizados no presentan potencial de expansión.

**5.1.3.1 Resultados del ensayo de densidad aparente – Método del Terrón Parafinado ASTM D 4531-86**

La densidad aparente del suelo permite calcular el volumen del suelo incluyendo las partículas sólidas del mismo y también su espacio poroso; es una característica dinámica utilizada como indicador de calidad del suelo en procesos de compactación. En el espacio poroso del suelo el agua se almacena en el suelo, y pasa a través de él para abastecer a las raíces y finalmente drenar en cuerpos de agua, también es el espacio de donde se almacena el aire del suelo. Es útil en ecuaciones para calcular la porosidad del suelo, transformar la humedad gravimétrica en volumétrica, estimar el coeficiente de expansión lineal el cual expresa el grado de contracción del suelo, con relación a un cambio en la pérdida de humedad a temperatura ambiente en un periodo de tiempo determinado (Flores & Alcalá, 2010).

Un método para determinar la densidad aparente del suelo es el método del terrón parafinado, donde el peso unitario es definido como la masa por unidad de volumen. El peso unitario del suelo varía de acuerdo al contenido de agua que tenga el suelo, en húmedo (no saturado), saturado y seco.

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de densidad aparente realizados en las muestras de los apiques y perforaciones.

**Tabla 41** Resultados ensayo densidad aparente

TIPO	PESO UNITARIO (g/cm3).	TIPO	PESO UNITARIO (g/cm3).
AP 1	1,944	AP 7	1,624
AP 2	2,337	AP 8	2,484
AP 3	2,325	AP 9	1,673
AP 4	1,348	SPT4 - M1	1,477
AP 5	1,824	SPT 5 - M3	1,329

Fuente: Consultor

### 5.1.3.2 Resultados del ensayo de gravedad específica

Matemáticamente la gravedad específica se representa como el cociente entre la densidad del objeto de estudio y la densidad de referencia, dado a que dentro del cociente las unidades son las mismas de densidad para ambas sustancias, la gravedad específica se presenta como una magnitud adimensional. A continuación, se presentan los resultados de las gravedades específicas realizadas para algunos apiques y sondeos realizados en la zona de estudio.

**Tabla 42** Resultados ensayo de densidad específica

Apique/ Perforación	AP1	AP2	AP3	AP4	AP6	AP9	AP10	P1_M3	P5_M3	P5_M4
Profundidad (m)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00-0,45	0,00-0,45	0,90-1,35
Gsb <sub>23/23°C</sub> sp gr =	1,841	2,029	2,385	1,590	2,104	2,070	1,816	2,295	1,193	1,571
Gsb sss <sub>23/23°C</sub> sp gr =	2,094	2,207	2,471	1,626	2,176	2,175	1,988	2,423	1,263	1,648
Gsa <sub>23/23°C</sub> sp gr =	2,465	2,467	2,611	1,649	2,268	2,313	2,194	2,633	1,283	1,702
Absorción(%)=	13,77	8,76	3,63	2,23	3,43	5,07	9,48	5,58	5,85	4,91

Fuente: Consultor

### 5.1.3.3 Resultados de ensayos de resistencia

### 5.1.3.4 Resultados ensayos de corte directo

El ensayo de corte directo permite conocer la resistencia al corte del material cuando se le aplica dos esfuerzos, uno normal ocasionado por la aplicación de una carga vertical y un esfuerzo cortante, producto de la aplicación de una carga horizontal.



A partir de este ensayo, se estima los parámetros como la cohesión y el ángulo de fricción de los materiales, parámetros necesarios para analizar la estabilidad del talud. En la Tabla No. 22 se presentan los resultados del ensayo de corte directo realizado a las muestras de los apiques.

**Tabla 43** Resultados Corte directo

APIQUE	PRUEBA NÚMERO	ESFUERZO NORMAL [Kg/cm <sup>2</sup> ]	ESFUERZO CORTANTE MAX [Kg/cm <sup>2</sup> ]	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	COHESIÓN [Kg/cm <sup>2</sup> ]	DENSIDAD HUMEDAD [gr/cm <sup>3</sup> ]	UGI
No. 1	1	0,32	0,160	16,46	0,09	1,85	Strcc
	2	0,54	0,277				
	3	0,98	0,367				
No. 2	1	0,32	0,126	14,07	0,05	1,91	Stbdc
	2	0,54	0,202				
	3	0,98	0,297				
No. 3	1	0,32	0,246	31,36	0,01	2,00	Stc
	2	0,54	0,283				
	3	0,98	0,633				
No. 4	1	0,32	0,196	22,98	0,07	1,88	Stra
	2	0,54	0,319				
	3	0,98	0,485				
No. 5	1	0,32	0,224	24,45	0,08	1,96	Strcc
	2	0,54	0,336				
	3	0,98	0,529				
No. 6	1	0,32	0,160	27,37	0,04	1,96	Stbedc
	2	0,54	0,384				
	3	0,98	0,527				
No. 8	1	0,32	0,168	12,77	0,14	1,94	Strcc
	2	0,54	0,318				
	3	0,98	0,339				
No. 9	1	0,32	0,260	38,13	0,02	1,84	Stbedc
	2	0,54	0,451				
	3	0,98	0,787				
No. 10	1	0,32	0,207	23,93	0,06	1,91	Stra
	2	0,54	0,283				
	3	0,98	0,499				

Fuente: Consultor

### **5.1.3.5 Resultado compresiones inconfiadas**

La resistencia a compresión simple de las rocas es el parámetro más común para definir los criterios de rotura y el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso (Bieniawski, 1989, Zare-Naghadehi et al., 2011). Este ensayo permite determinar en el laboratorio la

resistencia uniaxial no confinada de la roca a través del esfuerzo que soporta el material para determinadas deformaciones.

Geotécnicamente, el esfuerzo es definido como la fuerza aplicada dividida entre el área transversal inicial del material (área perpendicular a la línea de acción de la fuerza y calculada antes de aplicar la carga). De esta manera el esfuerzo es denotado en Mega pascales MPa (N/m<sup>2</sup>).

Para la realización de este ensayo se seleccionaron cinco testigos de roca obtenida con el diámetro de 47.6 mm y que cumplieran con la longitud mínima definida según la norma E-INV.152; se llevó a cabo el corte de las muestras para obtener superficies lisas en base y tope, y se realizó la configuración en laboratorio para la obtención de los resultados correspondientes, los cuales se encuentran en la Tabla No. 23.

**Tabla 44** Resultados compresión inconfiada en rocas

UGI	FUERZA (KN)	ESFUERZO (Mpa)	ESFUERZO PROMEDIO (Mpa)
Rdfmm	91,40	51,72	51,99
	92,6	52,26	
Rifam	44,2	24,98	24,95
	43,2	24,92	
Rbfam	14,9	8,43	8,43

Fuente: Consultor

De igual manera se determinó la resistencia a la compresión en suelos, cuyos resultados se presentan a continuación.

**Tabla 45** Resultados compresión inconfiada en suelos

TIPO	FUERZA (KN)	ESFUERZO (Mpa)
AP 1	1,89	1,07
AP 3	1,69	0,96
AP 5	2,3	1,30
AP 7	2,3	1,30
AP 9	3,12	1,77

Fuente: Consultor

### **5.1.3.6 Resultado carga Puntual en rocas**

El ensayo de carga puntual se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondajes o bloques, a partir del índice de resistencia a la carga puntual ( $I_s$ ), calculado a partir de la relación entre el diámetro de la muestra y una carga puntual aplicada a la misma mediante dos puntas metálicas cónicas accionadas por una prensa. De esta manera el índice calculado se relaciona con el esfuerzo aplicado que a su vez se representa a valores aproximados de UCS.

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la carga puntual realizados a cinco testigos según lo estipulado en la norma ASTM D 5731-95.

**Tabla 46** Resultados carga puntual en rocas

TESTIGO No.	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	P (KN)	Is (MPa)	F (Factor de corrección)	Is (50) (Mpa)	σ <sub>c</sub> (Mpa)
1	2265,76	5,22	2,30	0,98	2,25	51,83
2	2256,25	5,18	2,30	0,98	2,24	51,60
3	2256,25	2,50	1,11	0,98	1,08	24,90
4	2265,76	2,48	1,09	0,98	1,07	24,62
5	2256,25	0,81	0,36	0,98	0,35	8,07

Fuente: Consultor

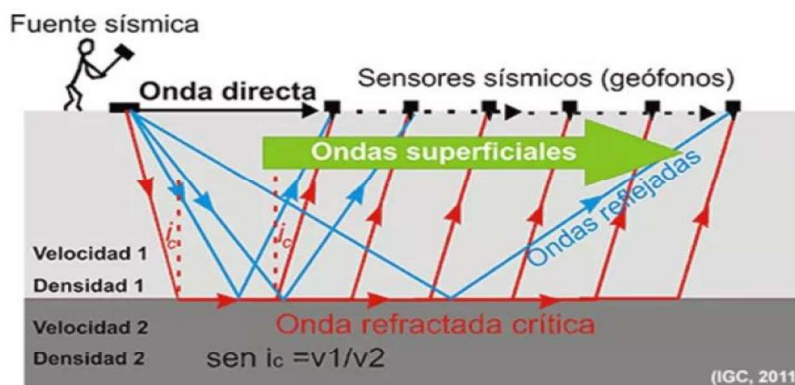
### 5.1.4 Resultados exploración geotécnica indirecta

#### 5.1.4.1 Análisis de contexto

##### Refracción sísmica

Con el método sísmico de refracción se determinan los perfiles de velocidades de compresión (Vp) a partir de ondas superficiales, permitiendo así caracterizar el subsuelo y definir los espesores de las unidades litológicas. Este método consiste en generar ondas con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos a una distancia conocida del extremo del tendido en el punto de disparo, induciéndose vibraciones en el terreno, estas son detectadas por cada uno de los sensores en el tendido. Únicamente se analiza la primera llegada de las ondas, las cuales contienen la información del tiempo de propagación de una onda refractada en el subsuelo donde el cambio de velocidades es muy alto.

**Figura 111** Esquema básico para la sísmica de refracción



Fuente: Subsuelos3D.com

En términos de la Ingeniería Civil, y el estudio dinámico de los suelos, los alcances y limitaciones del método serían los siguientes:

**Alcances:**

- Detecta variaciones tanto en profundidad como en la horizontal de la velocidad de la onda P.
- Permite la detección de la profundidad a basamento y de su relieve, dependiendo de variables como longitud del tendido, energía de la fuente sísmica, velocidades de los suelos.

**Limitaciones:**

- El método funciona idealmente cuando la velocidad de propagación de las ondas aumenta con la profundidad. Sin embargo, en el caso de suelos con capas intermedias de menor velocidad, sus resultados deben ser ajustados usando técnicas de inversión sísmica.

Entre los métodos para procesar y analizar los resultados de las primeras llegadas están:

- Método del recíproco generalizado
- Método de Delay time
- Time-term inversión
- Tomografía sísmica

**MASW**

El análisis multicanal de ondas de superficie (MASW) es uno de los métodos de levantamiento sísmico que evalúa las condiciones elásticas (rigidez) en el suelo para propósitos de ingeniería entre otros. El MASW primero mide las ondas sísmicas de superficie generada por varios tipos de fuentes, como martillos, analizando las velocidades de propagación de esas ondas superficiales, y entonces se deduce la variación de la onda de corte ( $V_s$ ) la cual se relaciona con el módulo de corte ( $G$ ) según la siguiente fórmula:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Donde  $\rho$  es la densidad y  $G$  el módulo de corte.

El procedimiento estándar del MASW consiste básicamente en 3 pasos:

1. Adquisición de datos mediante geófonos 4.5Hz que se almacenan en shot gathers de formato seg2 file.
2. Análisis de curvas de dispersión.

3. Inversión de parámetros. Se calcula la variación de la velocidad  $V_s$  respecto a la profundidad a través de modelos teóricos de dispersión los cuales son extraídos y procesados por SeisImager de Geometrics

El resultado de la inversión de parámetros para una adquisición MASW es un perfil de profundidad y ondas de corte. A partir de este se calculan la densidad, módulo de corte (G), módulo de elasticidad (E), coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). Los insumos sísmicos necesarios para el procesamiento son, el disparo sísmico de campo y su respectiva transformación al dominio velocidad-frecuencia donde se analiza el modo fundamental que conforman posteriormente las curvas de dispersión.

### **Tomografía eléctrica**

El objetivo del método de tomografía eléctrica se basa en obtener una sección 2-D de resistividades reales del subsuelo, donde se logra determinar la presencia o no de filtraciones de agua en profundidad mediante la localización de áreas en donde se tenga una disminución anómala del valor de resistividad del suelo. En la tomografía de resistividad eléctrica (ERT) intervienen factores tipológicos a lo largo de las exploraciones existentes. A través de los enfoques investigativos se tiene como prioridad para la obtención de la resistividad eléctrica del subsuelo para esto se interponen las variaciones de la litología, geología, factores climáticos, aumento del contenido de agua y la presencia de capa freática (Barbosa y Torres, 2020).

Por su versatilidad y resolución se adapta para investigar hasta profundidades que pueden llegar a centenares de metros. La tomografía eléctrica es aplicable a cualquier estudio del subsuelo donde interese identificar todo tipo de accidentes o discontinuidades que presentan un contraste suficiente en la distribución de resistividad del medio rocoso de los recursos hídricos. (Xin Zhang, 2016 en Barbosa y Torres, 2020).

Las ventajas que presenta este método son las siguientes:

- Debido al proceso de adquisición de los datos está totalmente automatizado, se logra realizar un gran número de medidas, a manera que se pueden obtener secciones 2-D de buena resolución en profundidad.
- Hallar zonas susceptibles que presentan focos de filtración, así como caracterizar geoméricamente el problema.
- Abordar de forma eficaz problemas en terrenos con difícil acceso a la zona de estudio.
  - Ubicar con gran eficiencia las discontinuidades, dado que nos marca lugar y profundidad a la que se encuentra la falla.
- Podemos controlar la profundidad máxima de estudio.

- Es un método no destructivo.
- El procesado de los datos se puede realizar en el propio campo, mediante la ayuda de un portátil y en un tiempo corto, el actuar es casi a tiempo real.

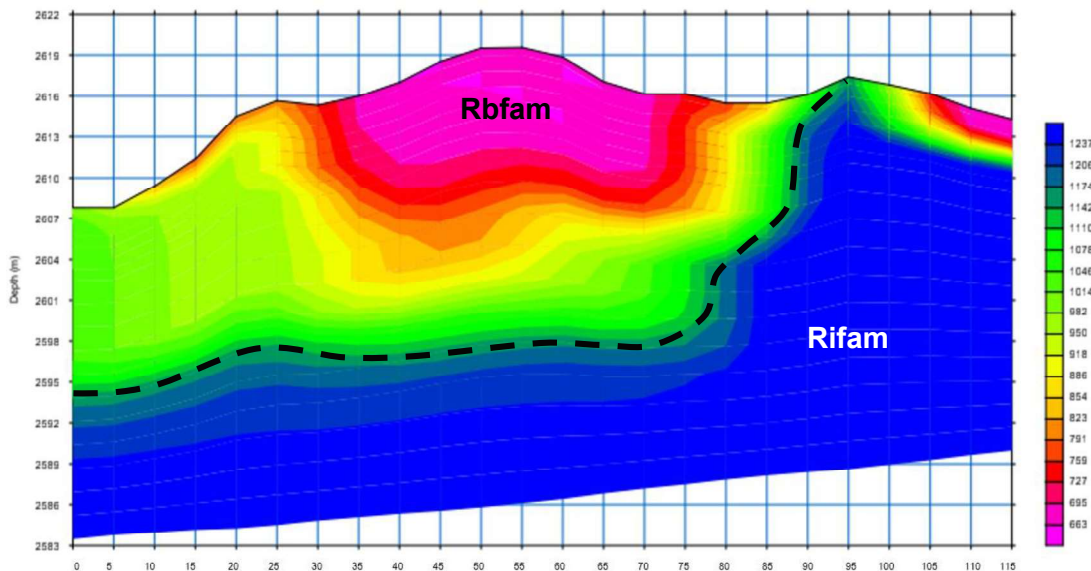
#### **5.1.4.2 Resultados Líneas de refracción sísmica**

Los resultados de la exploración sísmica se presentan como secciones 2D de tomografías sísmicas para la onda P, este procesamiento se realiza teniendo en cuenta el tiempo de arribo de la primera llegada; estos datos se invierten en el software Seislmager usando 50 capas y 5 nodos para formar cada celda de muestreo.

Sobre cada sección de tomografía sísmica se trazan los principales cambios de velocidad y se ajustan con la proyección de las perforaciones donde las líneas corten por la ubicación de los mismos. Estas secciones con horizontes son el resultado de campo para estratos que varían con la velocidad para cada tomografía por separada. A continuación, se presentan los resultados de la inversión realizada para cada ensayo.

#### **LRS-1**

**Figura 112 Refracción sísmica LRS-1**



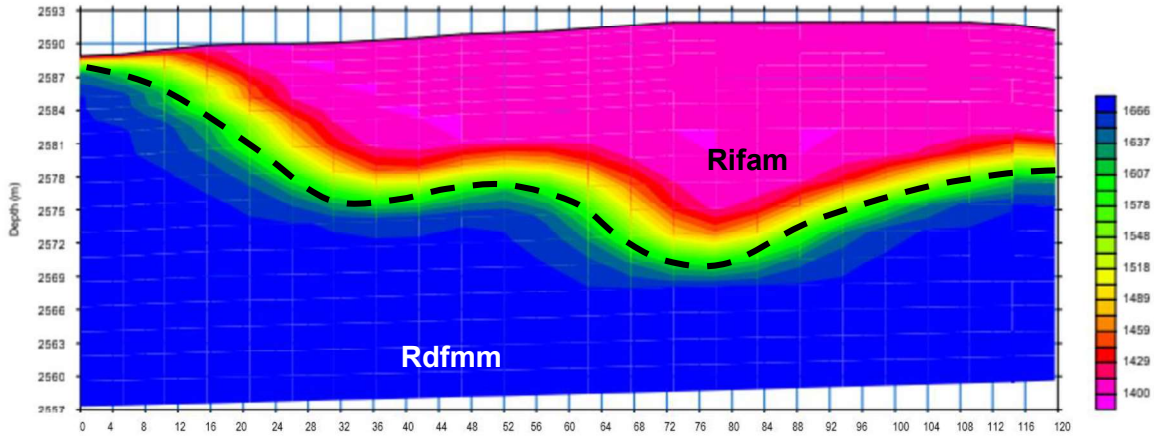
Fuente: Consultor

La tomografía muestra velocidades de onda p entre 663 y 1237 m/s, alcanzando una profundidad aproximada de 30 metros. Se infiere la presencia de dos capas. La capa más

superficial, con un espesor promedio de 13 metros. corresponde a una roca blanda fracturada altamente meteorizada con Vp entre 663 y 1050 m/s. La subyace un material incluido dentro de la UGI roca intermedia fracturada altamente meteorizada, con un espesor de 17 metros en el perfil analizado, y una Vp promedio de 1234 m/s.

**LRS-2**

**Figura 113 Refracción sísmica LRS-2**

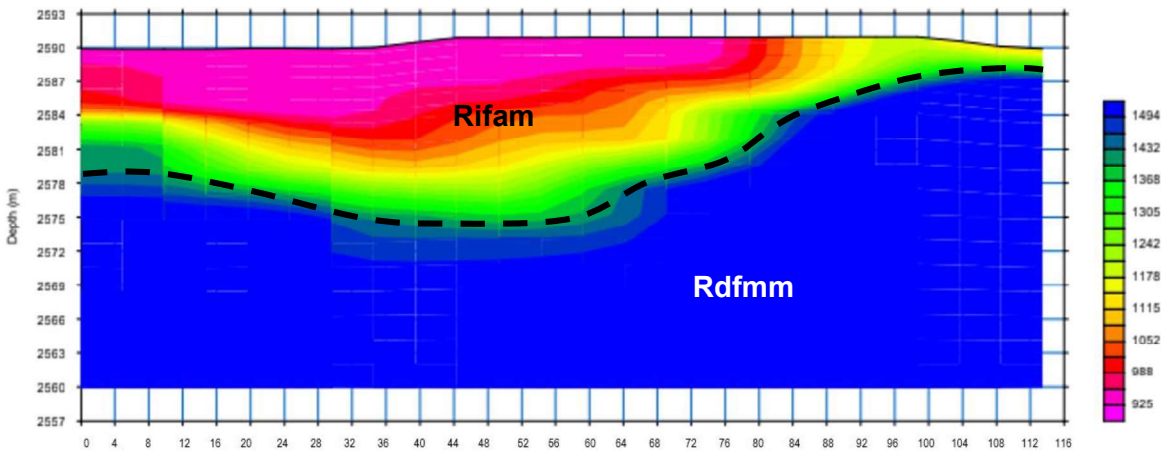


Fuente: Consultor

La tomografía muestra velocidades de onda p entre 1400 y 1666 m/s, alcanzando una profundidad aproximada de 33 metros. Se infiere la presencia de dos capas. La capa más superficial, con un espesor promedio de 10 metros corresponde a una roca intermedia fracturada altamente meteorizada con Vp promedio de 1400 m/s. La subyace un material rocoso incluido dentro de la UGI roca dura fracturada moderadamente meteorizada, con un espesor de 23 metros en el perfil analizado, y una Vp promedio de 1600 m/s.

**LRS-3**

**Figura 114 Refracción sísmica LRS-3**



Fuente: Consultor

La tomografía muestra velocidades de onda p entre 1400 y 1666 m/s, alcanzando una profundidad aproximada de 26 metros. Se infiere la presencia de dos capas. La capa más superficial, con un espesor promedio de 12 metros corresponde a una roca intermedia

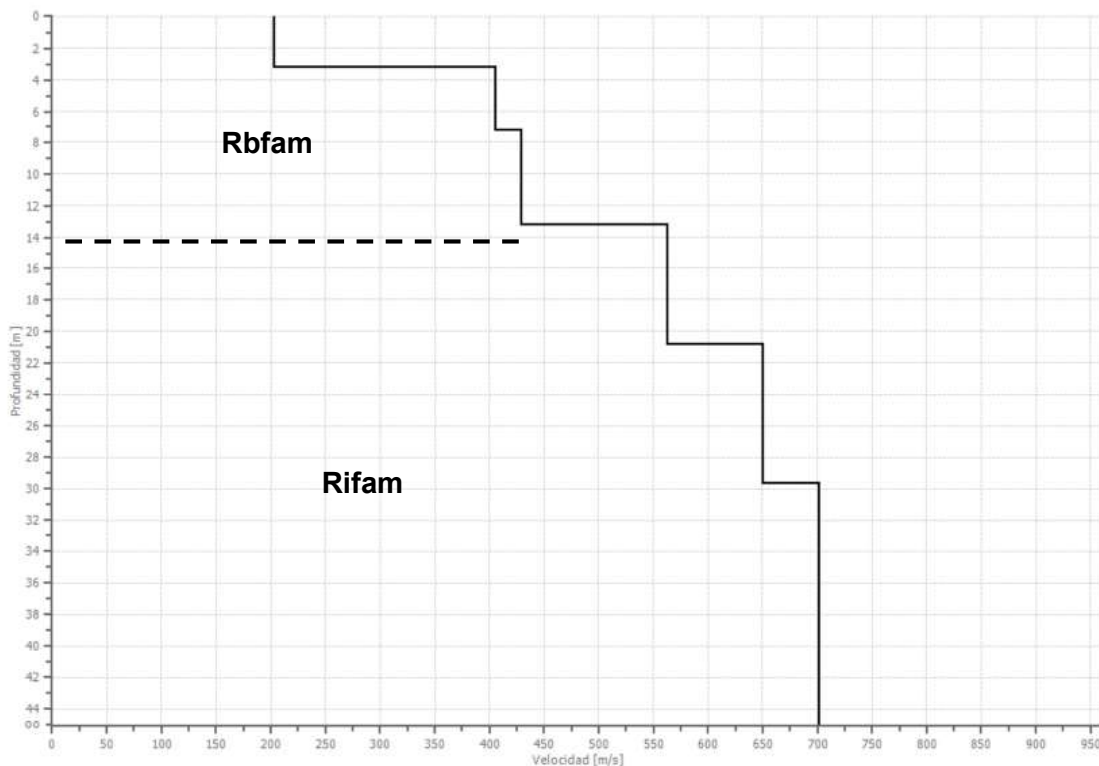
fracturada altamente meteorizada con  $V_p$  promedio de 1200 m/s. La subyace un material rocoso incluido dentro de la UGI roca dura fracturada moderadamente meteorizada, con un espesor de 14 metros en el perfil analizado, y una  $V_p$  promedio de 1494 m/s.

### 5.1.4.3 Resultados MASW

A continuación, se presentan los resultados del MASW para cada ensayo.

#### MASW-1

**Figura 115** Resultados del ensayo MASW-1



Fuente: Consultor

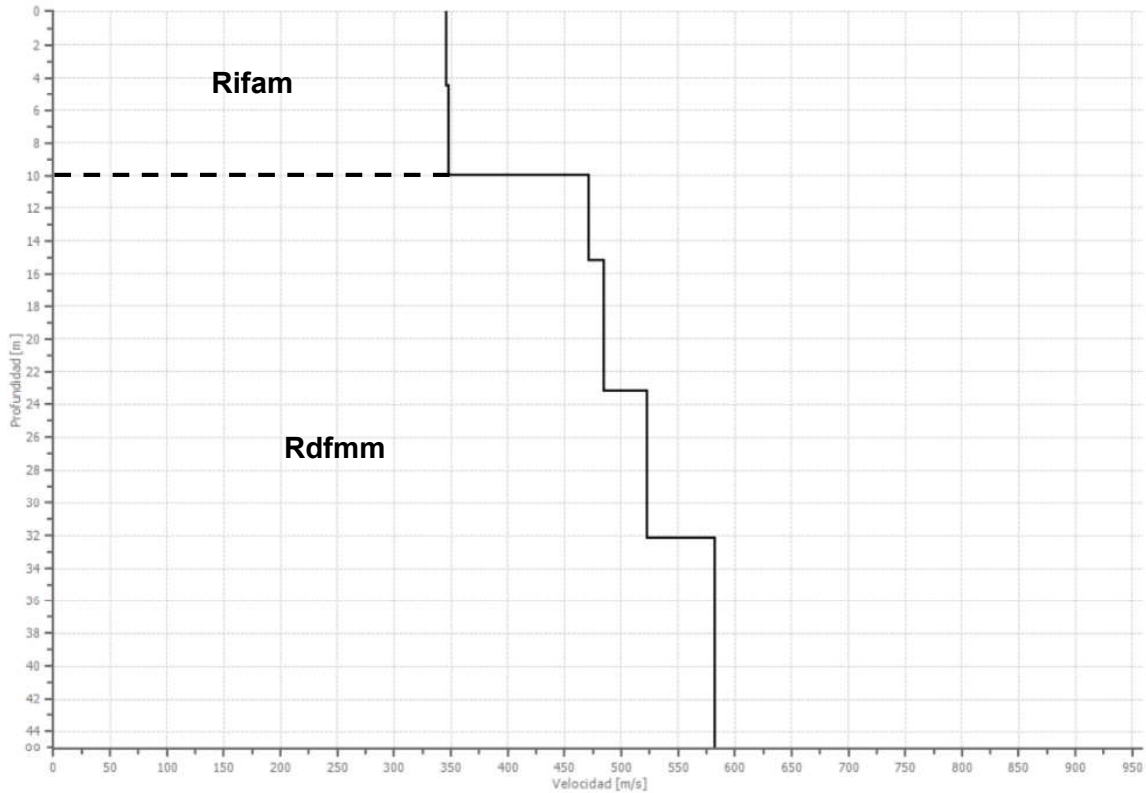
A partir del ensayo MASW se identificó el perfil del suelo, partiendo de la velocidad de onda cortante promedio a 30 metros es posible definir el tipo de suelo de acuerdo a la NSR-10, categorizándolo a través de la Tabla A-2-4-1 (Tabla No. 26), de acuerdo a esta clasificación el perfil de suelo estudiado corresponde a tipo C, perfiles de suelo muy denso o roca blanda



que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante entre  $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ , al presentar un  $V_{s30}$  de  $445.69 \text{ m/s}$ .

**MASW-2**

**Figura 116** Resultados del ensayo MASW-2

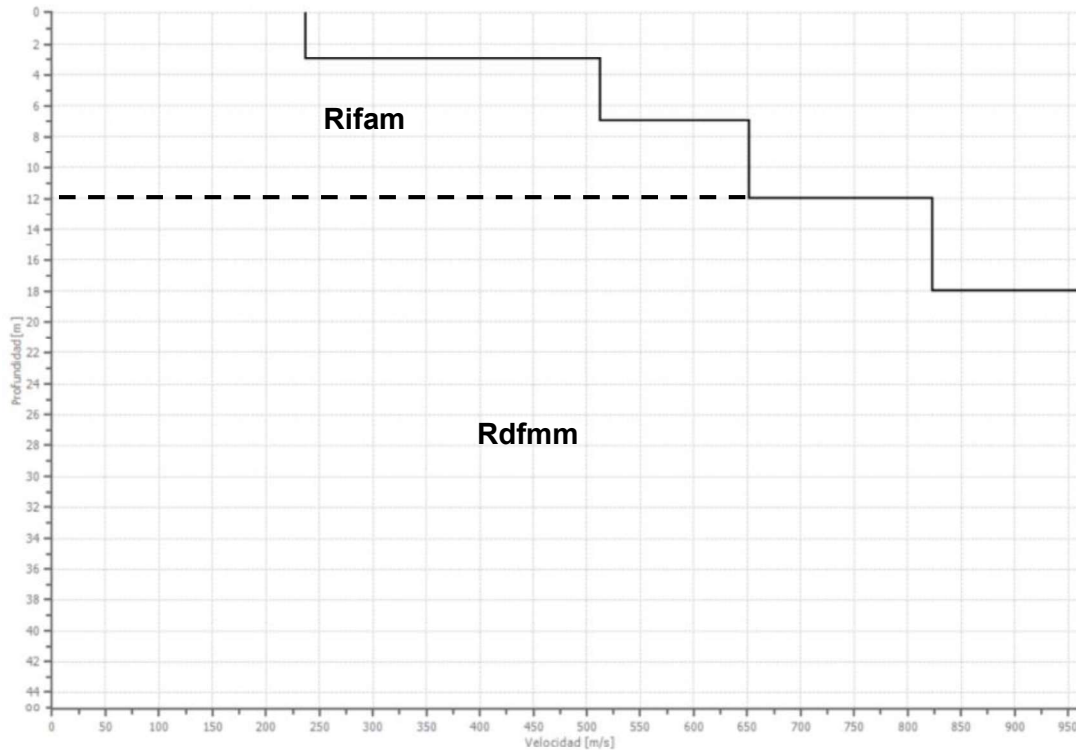


**Fuente:** Consultor

A partir del ensayo MASW se identificó el perfil del suelo, partiendo de la velocidad de onda cortante promedio a 30 metros es posible definir el tipo de suelo de acuerdo a la NSR-10, categorizándolo a través de la Tabla A-2-4-1 (Tabla No. 26), de acuerdo a esta clasificación el perfil de suelo estudiado corresponde a tipo C, perfiles de suelo muy denso o roca blanda que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante entre  $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ , al presentar un  $V_{s30}$  de  $432.46 \text{ m/s}$ .

**MASW-3**

**Figura 117 Resultados del ensayo MASW-3**



Fuente: Consultor

A partir del ensayo MASW se identificó el perfil del suelo, partiendo de la velocidad de onda cortante promedio a 30 metros es posible definir el tipo de suelo de acuerdo a la NSR-10, categorizándolo a través de la Tabla A-2-4-1 (Tabla No. 26), de acuerdo a esta clasificación el perfil de suelo estudiado corresponde a tipo C, perfiles de suelo muy denso o roca blanda que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante entre  $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ , al presentar un  $V_{s30}$  de  $627.11 \text{ m/s}$ .

**Tabla 47** Categorización del tipo de suelo de acuerdo a la Norma Sismo Resistente-10

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50, \text{ o}$ $\bar{S}_U \geq 100 \text{ KPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15, \text{ o}$ $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_U \geq 50 \text{ KPa} (\approx 0,5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{V}_s$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $W \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0,5 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_U$
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p><b>F1</b> – Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p><b>F2</b> – Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H&gt;3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p><b>F3</b> – Arcillas de muy alta plasticidad (H&gt;7.5m con índice de plasticidad IP&gt;75).</p> <p><b>F4</b> – Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H&gt;36m).</p>	

Fuente: NSR-10

Con los resultados obtenidos para  $V_p$  y  $V_s$  es posible definir los módulos de corte del suelo, en la Tabla No. 27 se presentan las ecuaciones para su respectiva estimación.

**Tabla 48** Ecuaciones para determinar módulos dinámicos mediante ensayos sísmicos

MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	MÓDULO DE CORTE (MPa)	RELACIÓN DE POISSON (Adimensional)
$E = \frac{\rho * (3 * V_p^2 - 4 * V_s^2)}{\frac{V_p^2}{V_s^2} - 1}$	$G = \rho * V_s^2$	$v = \frac{\frac{V_p^2}{(2 * V_s^2 - 1)}}{\frac{V_p^2}{(V_s^2 - 1)}}$

Fuente: Consultor

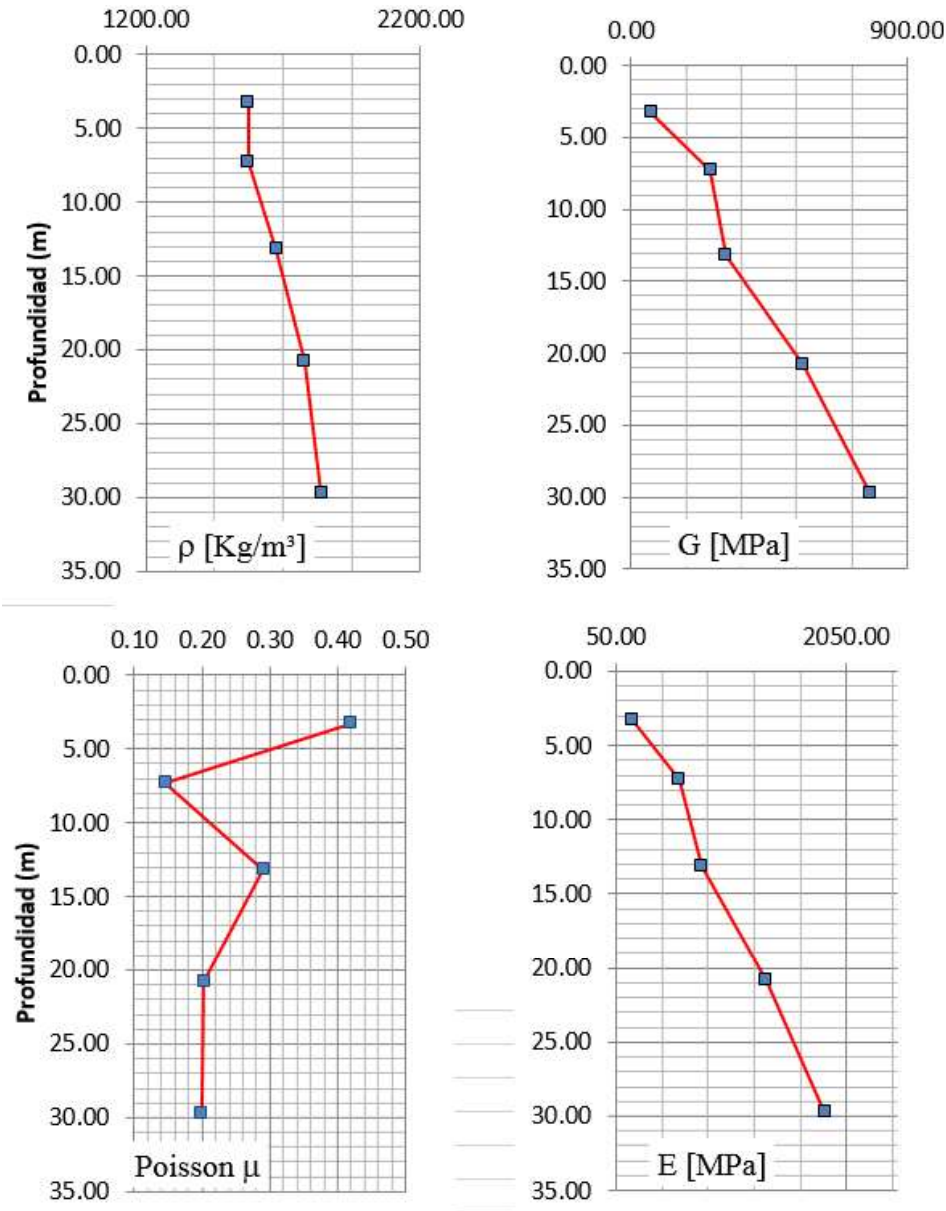
Los resultados obtenidos de los módulos se exponen a continuación:

**Tabla 49** Resultados inversión de parámetros MASW-1

Profundidad hasta tope de la capa (m)	Espesor de la capa (m)	Velocidad de corte (m/s)	Velocidad de la onda P (m/s)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calculados		
					Módulo de Corte (G) (Mpa)	Coef de Poisson -	Módulo de elasticidad (Mpa)
3.24	3.24	203.42	663.00	1573.00	65.09	0.42	184.86
7.29	4.05	405.51	663.00	1573.04	258.67	0.15	592.73
13.16	5.87	428.72	854.00	1675.82	308.02	0.29	795.05
20.81	7.64	562.37	1078.00	1776.30	561.77	0.20	1351.11
29.69	8.89	650.42	1237.00	1838.46	777.75	0.20	1865.24

Fuente: Consultor

**Figura 118** Resultados de módulos E, G, n para MASW-1



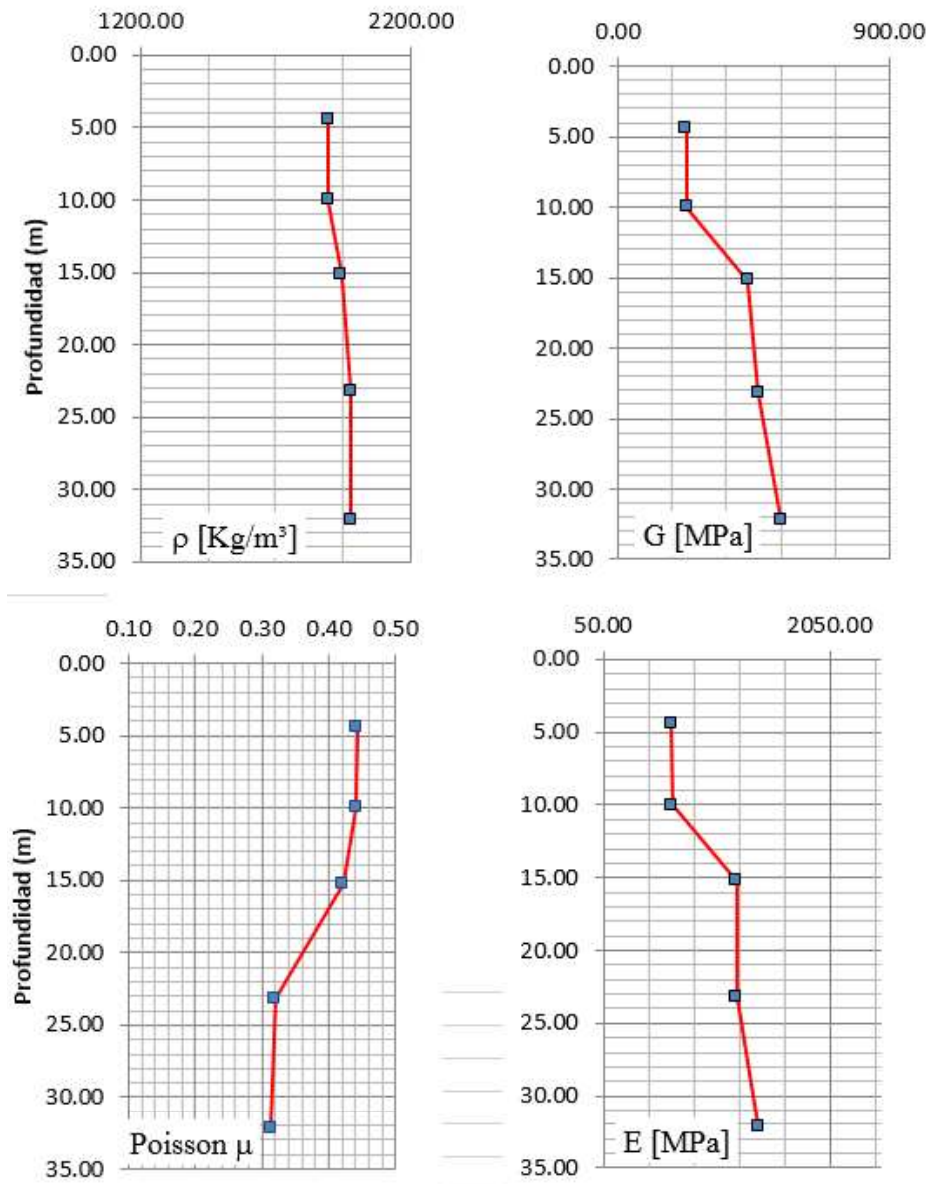
Fuente: Consultor

**Tabla 50** Resultados inversión de parámetros MASW-2

Profundidad hasta tope de la capa (m)	Espesor de la capa (m)	Velocidad de corte (m/s)	Velocidad de la onda P (m/s)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calculados		
					Módulo de Corte (G) (Mpa)	Coef de Poisson -	Módulo de elasticidad (Mpa)
4.49	4.49	345.97	1400.00	1896.00	226.94	0.44	654.34
10.02	5.53	347.67	1400.00	1896.24	229.21	0.44	660.70
15.21	5.19	471.33	1548.00	1944.48	431.97	0.42	1227.67
23.20	7.99	484.98	1666.00	1980.53	465.83	0.32	1229.56
32.19	8.99	523.02	1666.00	1980.52	541.77	0.31	1422.45

Fuente: Consultor

**Figura 119** Resultados de módulos E, G, n para MASW-2



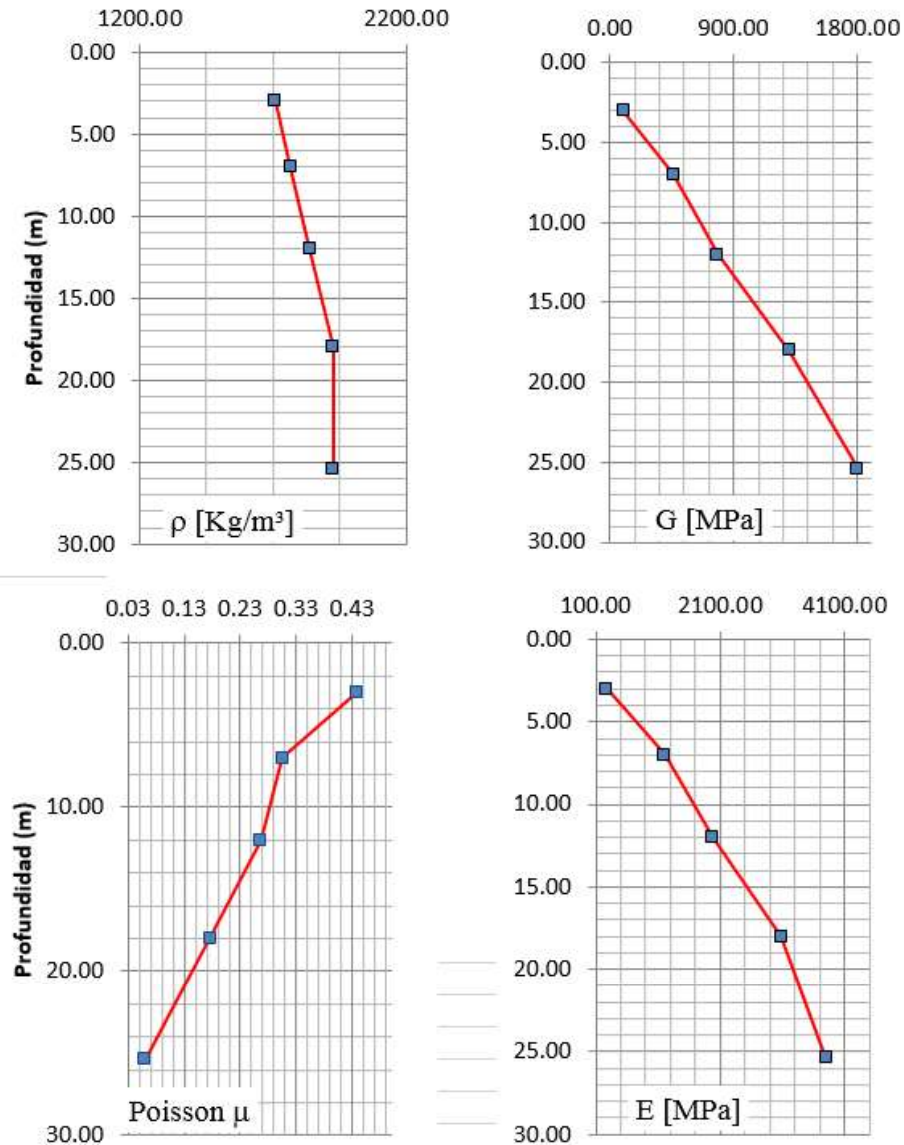
Fuente: Consultor

**Tabla 51** Resultados inversión de parámetros MASW-3

Profundidad hasta tope de la capa (m)	Espesor de la capa (m)	Velocidad de corte (m/s)	Velocidad de la onda P (m/s)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calculados		
					Módulo de Corte (G) (Mpa)	Coef de Poisson -	Módulo de elasticidad (Mpa)
3.00	3.00	237.18	925.00	1710.00	96.19	0.44	276.79
7.00	4.00	512.32	1052.00	1765.49	463.39	0.31	1209.50
12.00	5.00	651.39	1242.00	1840.31	780.86	0.27	1978.67
18.00	6.00	823.49	1494.00	1927.30	1306.97	0.18	3075.29
25.38	7.38	965.86	1494.00	1927.30	1797.95	0.06	3808.55

Fuente: Consultor

**Figura 120** Resultados de módulos E, G, n para MASW-3



Fuente: Consultor

### 5.1.4.4 Correlaciones geotécnicas de diseño a partir de velocidades de onda P y S

Al correlacionar la velocidad de onda P junto con la velocidad de onda S es posible determinar los parámetros geotécnicos de diseño correspondientes a la cohesión (C) ángulo de fricción ( $\phi$ ) y el peso específico ( $\rho$ ), éstos se definen mediante las siguientes relaciones empíricas:

**Tabla 52** Correlaciones geotécnicas de diseño a partir de ensayos geofísicos

N	$\phi$	$\rho$	C
$N = 0.0284 * V_p - 7.6$	$\phi = (12 + N)^{\frac{1}{2}} + 25$	$\rho = 17 + 0.002 * V_p \left(\frac{kN}{m^3}\right)$	Para rocas (Kg/cm <sup>2</sup> ) $C = \frac{0.554}{\sqrt{\frac{V_p}{V_s}} - 1.41} - 0.073$
			Para suelos (Kg/cm <sup>2</sup> ) $C = 0.652 - 0.258 * \left(\frac{V_p}{V_s}\right)$

Fuente: Naranjo & Dranichnikova (2010)

De acuerdo a las correlaciones expuestas anteriormente se presentan los valores determinados para las propiedades geotécnicas de diseño en las siguientes tablas.

**Tabla 53** Relación de parámetros geotécnicos de diseño a partir de  $V_p$  y  $V_s$  para el MASW-1 y LR-1

Prof (m)	Espesor (m)	$V_s$	$V_p$	Nspt	$\phi$	$\phi$ Prom	$\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\rho$ Prom	C suelos (kg/cm <sup>2</sup> )	C Prom	C rocas (kg/cm <sup>2</sup> )	C prom	UGI
3.24	3.24	203.42	663	11.23	29.82	30	18.33	18.45	0.19	0.19			Rbfam
7.29	4.05	405.51	663	11.23	29.82		18.33		0.23				
13.16	5.87	428.72	854	16.65	30.35		18.71		0.14				
20.81	7.64	562.37	1078	23.02	30.92	31.10	19.16	19.32		0.71	0.71	Rifam	
29.69	8.89	650.42	1237	27.53	31.29		19.47		0.72				

Fuente: Consultor

**Tabla 54** Relación de parámetros geotécnicos de diseño a partir de  $V_p$  y  $V_s$  para el MASW-2 y LR-2

Prof (m)	Espesor (m)	$V_s$	$V_p$	Nspt	$\phi$	$\phi$ Prom	$\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\rho$ Prom	C rocas (kg/cm <sup>2</sup> )	C prom	UGI
4.49	4.49	345.97	1400	32.16	31.65	31.65	19.80	19.80	0.27	0.27	Rifam
10.02	5.53	347.67	1400	32.16	31.65		19.80		0.27		
15.21	5.19	471.33	1548	36.36	31.95	32.11	20.10	20.25	0.33	0.33	Rdfmm
23.20	7.99	484.98	1666	39.71	32.19		20.33		0.32		
32.19	8.99	523.02	1666	39.71	32.19		20.33		0.34		

Fuente: Consultor

**Tabla 55** Relación de parámetros geotécnicos de diseño a partir de Vp y Vs para el MASW-3 y LR-3

Prof (m)	Espesor (m)	Vs	Vp	Nspt	$\phi$	$\phi$ Prom	$\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\rho$ Prom	C rocas (kg/cm <sup>2</sup> )	C prom	UGI
3	3	237.18	925	18.67	30.54		18.85		0.28		
7	4	512.32	1052	22.28	30.85	30.90	19.10	19.15	0.62	0.54	Rifam
12	5	651.39	1242	27.67	31.30		19.48		0.71		
18	6	823.49	1494	34.83	31.84	31.84	19.99	19.99	0.80	1.11	Rdfmm
25.38	7	965.86	1494	34.83	31.84		19.99		1.42		

Fuente: Consultor

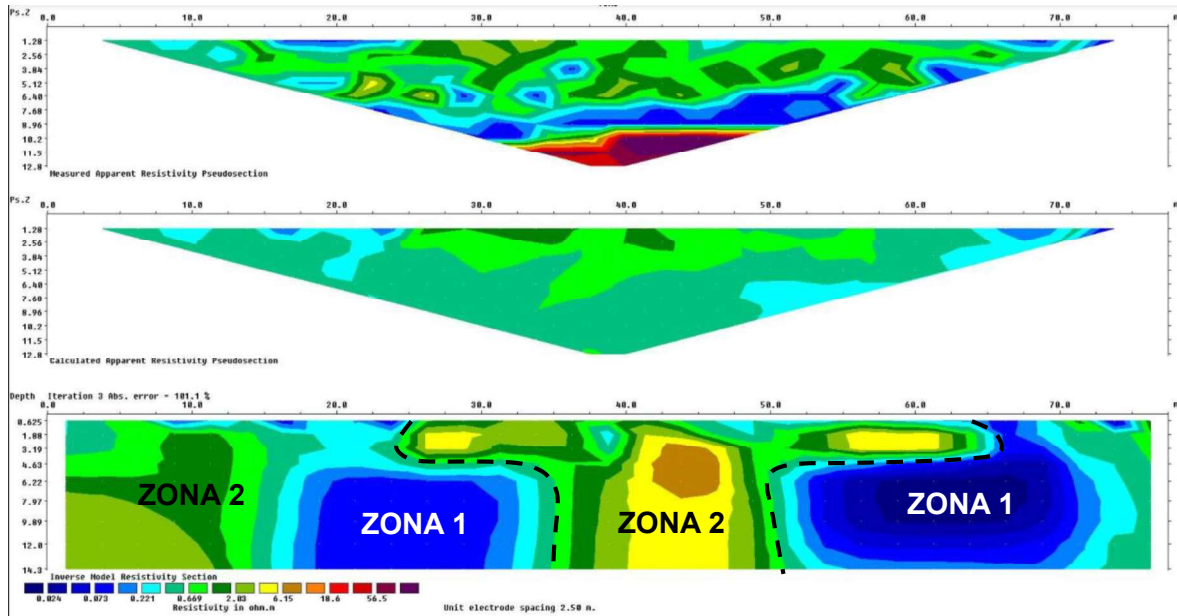
### 5.1.4.5 Resultados tomografías eléctricas

#### TOM-1

**Zona 1:** Resistividades entre 0.024  $\Omega$ .m y 0. 221 $\Omega$ .m

**Zona 2:** Resistividad promedio de 2.03  $\Omega$ .m

**Figura 121** Resultados del ensayo de tomografía eléctrica TOM-1



Fuente: Consultor

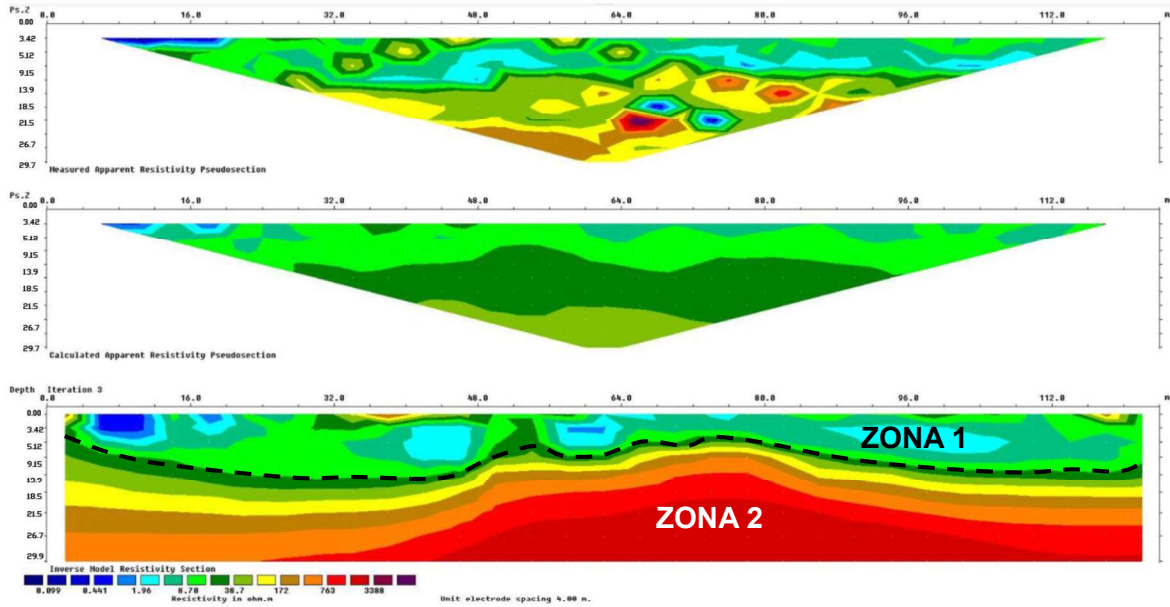
#### TOM-2

**Zona 1:** Resistividades entre 0.09  $\Omega$ .m y 8.70  $\Omega$ .m

**Zona 2:** Resistividad promedio de 763  $\Omega$ .m



**Figura 122** Resultados del ensayo de tomografía eléctrica TOM-2



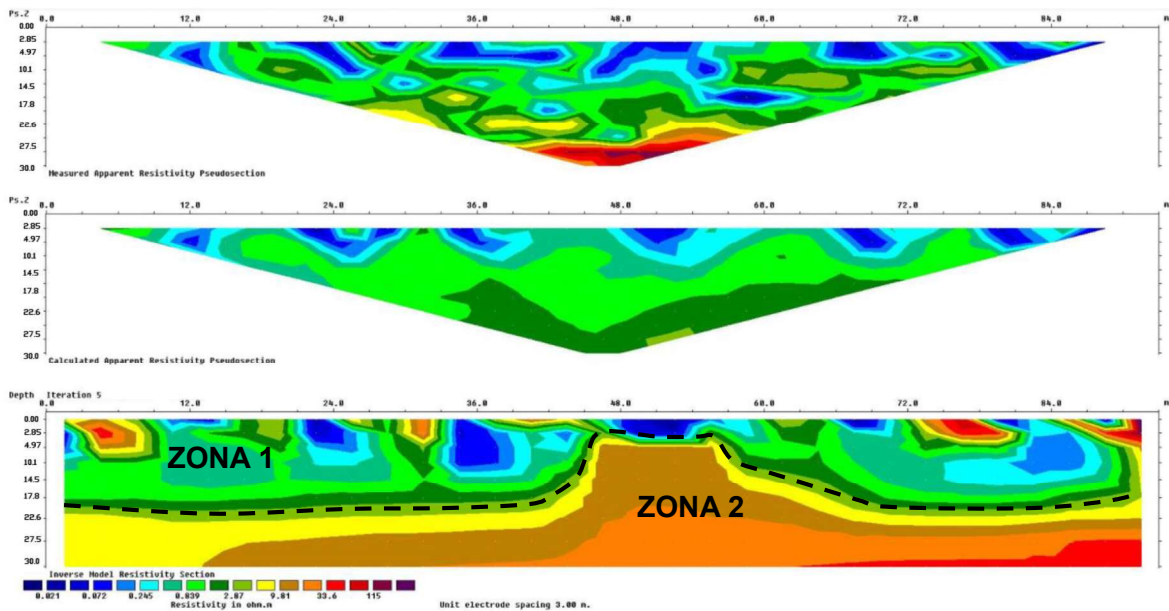
Fuente: Consultor

**TOM-3**

**Zona 1:** Resistividades entre 0.021  $\Omega$ .m y 2.87  $\Omega$ .m

**Zona 2:** Resistividad promedio de 33.6  $\Omega$ .m

**Figura 123** Resultados del ensayo de tomografía eléctrica TOM-3



Fuente: Consultor

La interpretación de estas anomalías extendiéndose lateralmente en niveles superficiales, así como en la TOM-1 que se extienden verticalmente, con resistividades mínimas en el orden de 0.021, 0.024 y 0.09  $\Omega.m$ , sugieren que estas zonas se encuentran afectadas por una humedad significativa; posiblemente a causa de la falta de obras hidráulicas adicionales como cunetas o canales que permitan total capacidad de control de las aguas de escorrentía, y, por otra parte, debido a la heterogeneidad de los materiales inconsolidados que componen el área y que han sido modificados y alterados de sus condiciones originales o in situ.

## 5.2 DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA

Los criterios de clasificación de unidades geológicas en términos de ingeniería son efectuados en el presente capítulo siguiendo los lineamientos de la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada del SGC (2016), donde se delimitan según el origen, litología, resistencia cualitativa, grado de meteorización y el diaclasamiento, entre otros factores.

Las UGI referidas en esta guía corresponden a zonas delimitadas teniendo en cuenta que representen alto grado de homogeneidad con respecto a las propiedades geotécnicas básicas, cumpliendo con las características de área y espesores mínimos cartografiables, de acuerdo con la escala de trabajo y con base en la definición de unidades litoestratigráficas. Se clasifican como rocas o suelos a partir de cuatro grandes grupos:

- Rocas.
- Suelos residuales y saprolitos.
- Suelos transportados en cualquier ambiente (depósitos aluviales, de ladera o coluviales, costeros, volcánicos, eólicos y glaciares).
- Suelos antrópicos.

### **Origen y litología**

Se debe hacer una identificación preliminar de la unidad con base en su origen, que se complementará posteriormente de acuerdo con sus características litoestratigráficas, esto es, la caracterización litológica (composición y estructura) de las sucesiones estratigráficas. Esta clasificación preliminar permite diferenciar entre rocas y suelos, y estos últimos diferenciados entre transportados, residuales o antrópicos. Además, es importante plasmar en la leyenda de cada UGI el material que la subyace y suprayace, y sus características geotécnicas básicas.

Una vez establecidas las posibles UGI, identificadas preliminarmente por el origen y la litología, se define la nomenclatura asociada, la cual se ajusta de acuerdo con la caracterización de los materiales en la actividad de comprobación de campo. El sistema de nomenclatura propuesto es el siguiente:

1. La primera letra, en mayúscula, indica si es roca (R) o suelo (S).
2. Si es roca (R), la segunda letra, en minúscula, indica su calidad, según sus características de resistencia cualitativa, grado de meteorización y el diaclasamiento, entre otras, la cual se ajustará según la caracterización realizada cuantitativamente, que se denomina muy dura (md), dura (d), intermedia (i), blanda (b) y muy blanda (mb).
3. Si es suelo (S), la segunda letra indicará el origen: transportado (t), residual (r) o antrópico(a).
4. La tercera letra indica el tamaño del grano predominante o la textura del material.
5. Se pueden agregar al nombre otras letras que indiquen las características geotécnicas del material.

Para la descripción del grado de meteorización de las rocas se utilizó como referencia el perfil de meteorización de Deere y Patton (1971) y el perfil de meteorización de Dearman (1974). Por otro lado, los suelos transportados fueron designados a aquellos materiales encontrados en campo con evidencia de procesos coluviales activos y/o antiguos los cuáles han ocasionado un fenómeno de transporte y acumulación de materiales de diversos tamaños, inmersos en matrices principalmente de carácter arcilloso por los materiales parentales que dominan el área. Dichos suelos coluviales son relacionados principalmente a movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional y/o caídas de tierras de poca distancia y con espesores entre 1 a 3 metros.

**Tabla 56** Perfiles de meteorización en rocas

Deere y Patton	Dearman		Descripción
	Horizonte	Zona	
IA (Capa Vegetal)	Suelo residual	VI	Las capas superiores son ricas en materia orgánica. Todo el material rocoso es ahora suelo. Es un suelo sin características heredadas, principalmente arcillo-limoso
IB			
IC (Saprolito)	Roca completamente meteorizada	V	El macizo rocoso está completamente descompuesto y la roca ahora está decolorada. Aún se aprecian estructuras (discontinuidades) heredadas. Se encuentran fragmentos de entre el 10% y 35% del volumen, pero fácilmente desmenuzables. Hay escasos núcleos de roca, pero es posible encontrarlos.
IIA (Transición de saprolito a roca)	Roca altamente meteorizada	IV	El macizo rocoso está decolorado y altamente alterado. Más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado. Se mantienen las estructuras heredadas. Entre el 35% y el 70% del volumen son fragmentos de roca sin meteorizar.
IIB (Roca parcialmente meteorizada)	Roca moderadamente meteorizada	III	El macizo rocoso está altamente decolorado. Menos del 50% de material rocoso está descompuesto o desintegrado. Las discontinuidades pueden estar abiertas y oxidadas. Bloques de roca.
III (Roca intacta)	Roca débilmente meteorizada	II	El macizo rocoso está débilmente decolorado. Las discontinuidades pueden estar abiertas y oxidadas. La roca es dura y resistente a excavaciones.
	Roca no meteorizada	I	El macizo rocoso no da signos visibles de meteorización. Las discontinuidades pueden eventualmente presentar oxidación y decoloración pero en bajo grado.

Fuente: Deere y Patton (1971) y Dearman (1974)

La delimitación de las unidades de geología para ingeniería (UGI) se apoyó con fotointerpretación y campañas de campo que permitieron la toma de datos en estaciones donde se identificó el tipo de material, grado de meteorización, textura, color, plasticidad, consistencia, entre otros aspectos que fueron complementados con los datos obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio de suelos y rocas y de los resultados de la exploración geofísica.

A continuación, se presenta la descripción de cada una de las UGI definidas a lo largo del área e estudio.

### 5.2.1 UGI de suelos

#### 5.2.1.1 Strcc: Suelo de relleno de antiguos materiales de la cantera consolidados

Suelo transportado de carácter matriz soportado (90% matriz, 10% clastos), consistencia media y tonalidades marrones claras y amarillas, localizado hacia la base de las laderas

producto de la acumulación de materiales explotados (arenas y arcillas) en el área, los cuáles se compactaron con el tiempo y formaron perfiles de suelos de más de 2 metros de espesor. Constituida principalmente por arcillas y limos de baja plasticidad (CL-ML según el índice SUCS), y ocasionalmente arenas de grano fino y gravas, con un índice de plasticidad IP promedio de 9.54% y una humedad natural de 11.96%. Su origen geológico se asocia a rocas sedimentarias de la Formación Guaduas, que forman niveles de areniscas cuarzosas y arcillas intercaladas. Adicionalmente, las propiedades geotécnicas calculadas en estos suelos indican un ángulo de fricción promedio de  $17.89^\circ$ , cohesión de  $10.13 \text{ kN/m}^2$  y peso específico de  $18.80 \text{ kN/m}^3$ .

#### **5.2.1.2 Stbed: Botadero de escombros y desechos no consolidados**

Depósito antrópico de poca extensión y de carácter reciente, formado en la base de las laderas por la acumulación de escombros y relaves de obras de infraestructura, restos vegetales, basuras, y algunos bloques de roca arenisca de alta compacidad y arcillolitas deleznales que se han removido desde las zonas medias y/o altas del talud. Presenta un espesor promedio de 1 metro. Las propiedades geotécnicas inferidas en este depósito indican un ángulo de fricción promedio de  $35^\circ$ , cohesión de  $0 \text{ kN/m}^2$  al tratarse de un material inconsolidado y peso específico de  $20 \text{ kN/m}^3$ .

#### **5.2.1.3 Stbedc: Botadero de escombros y desechos consolidados**

Suelo transportado de carácter matriz soportado (70% matriz, 30% clastos), formado por la acumulación de escombros, basuras y materia orgánica sobre suelos de baja densidad, en espesores promedio de 2 metros. Texturalmente heterogéneos, con gravas de hasta 2 mm, subangulares, embebidas en una matriz areno limosa (SM según el índice SUCS), con un índice de plasticidad IP promedio de 2.46% y una humedad natural de 15.77%. Adicionalmente, las propiedades geotécnicas calculadas en estos suelos indican un ángulo de fricción promedio de  $32.84^\circ$ , cohesión de  $2.94 \text{ kN/m}^2$  y peso específico de  $18.63 \text{ kN/m}^3$ .

#### **5.2.1.4 Stbdc: Botadero de desechos y antiguos materiales de la cantera**

Suelo transportado de carácter matriz soportado (80% matriz, 20% clastos), formado por materia orgánica, basuras y relaves de materiales de la antigua explotación minera consolidados en espesores variables sobre la base de las laderas. Con matriz arcillo-limosa de baja plasticidad (CL-ML según el índice SUCS), índice de plasticidad IP promedio de 6.99% y una humedad natural de 11.68%. Ocasionalmente presenta gravas y cantos subangulares de cuarzoarenitas oxidadas. Adicionalmente, las propiedades geotécnicas calculadas en estos suelos indican un ángulo de fricción promedio de  $14.07^\circ$ , cohesión de  $4.9 \text{ kN/m}^2$  y peso específico de  $18.73 \text{ kN/m}^3$ .

#### **5.2.1.5 Stra: Suelo de relleno antrópico**

Depósito de carácter matriz soportado (80% matriz, 20% clastos) con un espesor promedio de 1.8 m, adecuado como material de relleno para la construcción de vías, obras hidráulicas y viviendas en el sector Jerusalén- Canteras. Constituido por una matriz areno arcillosa-

areno limosa (SC-SM según el índice SUCS), ocasionalmente con fragmentos de roca heterogéneos y relaves de construcción, con índice de plasticidad promedio de 2.87%, y una humedad natural de 12.96%. Adicionalmente, las propiedades geotécnicas calculadas en estos suelos indican un ángulo de fricción promedio de 23.46°, cohesión de 6.4 kN/m<sup>2</sup> y peso específico de 18.58 kN/m<sup>3</sup>

#### **5.2.1.6 Stc: Suelo de depósito coluvial**

Depósitos clasto soportados (70% clastos, 30% matriz) compuestos de fragmentos de arcillolita y cuarzoarenisca de hasta 10 cm de diámetro, subangulares y altamente meteorizados, pobremente seleccionados, con una matriz arcillosa de baja plasticidad (CL según el índice SUCS), índice de humedad natural promedio de 11.54% y una humedad natural de 9.05%. Adicionalmente, las propiedades geotécnicas calculadas en este depósito inconsolidado indican un ángulo de fricción promedio de 31.36°, cohesión de 0 kN/m<sup>2</sup> y peso específico de 19.61 kN/m<sup>3</sup>. Se encuentra asociado a movimientos en masa activos, clasificados como caídas de tierras y detritos por el alto grado de meteorización al que están expuestas las laderas en estas áreas críticas, lo que permite el transporte y acumulación en la base en espesores del orden de 2 a 3 m.

#### **5.2.1.7 Strci: Suelos de relleno de relaves de la cantera y obras de infraestructura**

Depósito heterogéneo formado por la acumulación de relaves de las obras de infraestructura que han fallado en los taludes, materiales explotados antiguamente en la cantera y localizados hacia la base de las laderas y suelos coluviales producto de

movimientos en masa de tipo caída, de espesores variables hasta 2 metros, consolidados, altamente erosionables y con baja humedad.

### **5.2.2 UGI de roca**

#### **5.2.2.1 Rbfam: Roca blanda fracturada altamente meteorizada**

Corresponde a cuerpos de roca fracturados y altamente erosionables y deleznales, principalmente expuestos en un afloramiento de más de 20 m de altura que presentan obras de estabilización fallidas; los materiales se clasifican dentro de la unidad sedimentaria Formación Guaduas, conjunto Medio-Superior, variando composicionalmente entre arcillolita y estratos de arenisca de grano fino a medio quienes presentan mejor competencia. Por lo anterior, los niveles de arcillolita han sufrido fenómenos de remoción en masa con mayor intensidad y se han depositado hacia la base, exponiendo in situ un predominio de areniscas fracturadas y delgados niveles de arcilla aún conservados. Esta UGI abarca el horizonte IIA según el perfil de meteorización de Deere y Patton (1971) y el

grado IV del perfil de meteorización de Dearman (1974), donde el macizo rocoso está decolorado y altamente alterado. Más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado. Se mantienen las estructuras heredadas, que en este caso corresponden principalmente a dicha intercalación de areniscas y arcillolitas con estratificación cuasi-horizontal. El índice de campo para la resistencia a la compresión arroja valores de  $< 20$  Mpa, confirmando el bajo nivel de dureza que presentan estos materiales. El resultado de esfuerzo medido en laboratorio según la Norma E-INV.152 es de 8 Mpa. Lo anterior sugiere que, aunque este material presente características físicas de una roca, su comportamiento mecánico es similar al de un suelo, por lo que es posible caracterizarlo a través de correlaciones geofísicas con el fin de determinar sus propiedades geotécnicas. En este sentido, esta UGI presenta un ángulo de fricción promedio de  $21.5^\circ$ , cohesión de  $34.81 \text{ kN/m}^2$  y peso específico de  $19.72 \text{ kN/m}^3$ . Las velocidades de onda compresional para esta UGI se encuentran en el rango de 600 a 1000 m/s.

#### **5.2.2.2 Rifam: Roca intermedia fracturada altamente meteorizada**

Corresponde a cuerpos de roca fracturados, y moderadamente erosionables y deleznales, observados en algunos sectores del área con obras de estabilización en funcionamiento; los materiales se clasifican dentro de la unidad sedimentaria Formación Guaduas, conjunto Medio-Superior, donde predominan niveles de areniscas cuarzosas de moderada competencia con espesores variables hasta 2 metros, intercalados con niveles de arcilla centimétricos en forma de lentes y/o capas delgadas que se acuñan dentro de las areniscas. Esta UGI abarca el horizonte IIB según el perfil de meteorización de Deere y Patton (1971) y el grado III del perfil de meteorización de Dearman (1974), donde el macizo rocoso está

altamente decolorado. Menos del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado. Las discontinuidades pueden estar oxidadas o abiertas y se evidencian bloques de roca. El índice de campo para la resistencia a la compresión arroja valores de  $< 21$  Mpa, confirmando la poca competencia que presentan estos materiales. El resultado de esfuerzo medido en laboratorio según la Norma E-INV.152 es de 25 Mpa. Las velocidades de onda compresional para esta UGI se encuentran en el rango de 1000 a 1400 m/s.

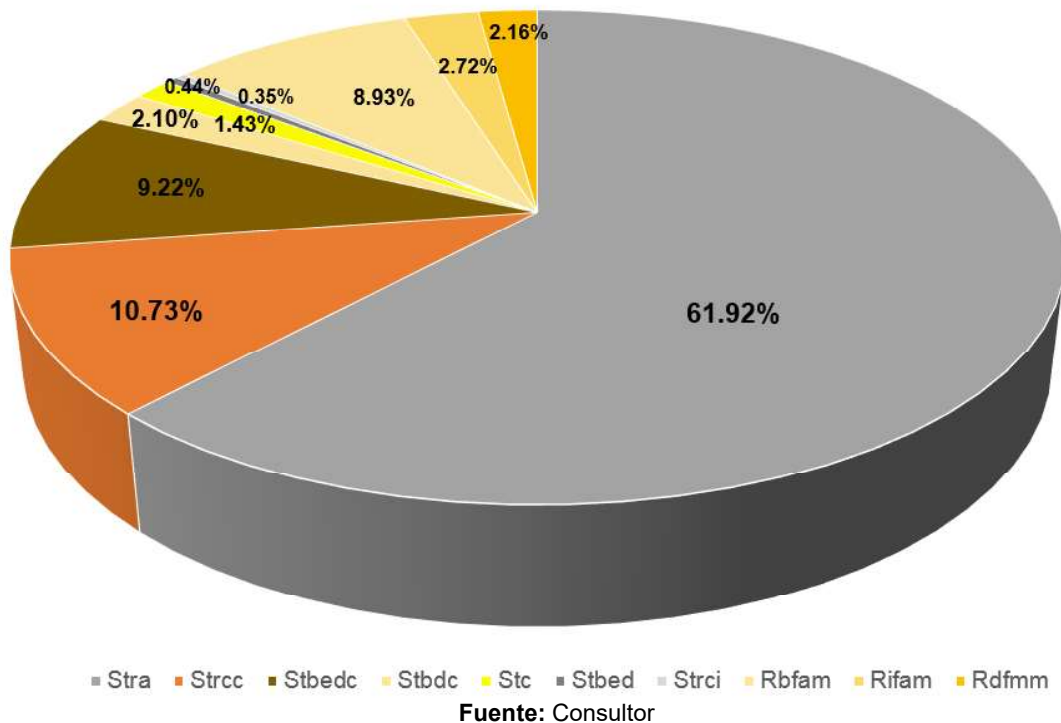
#### **5.2.2.3 Rdfmm: Roca dura fracturada moderadamente meteorizada**

Corresponde a cuerpos de roca altamente fracturados, oxidados y ligeramente erosionables, principalmente expuestos en un afloramiento de aproximadamente 15 m de altura. Los materiales allí encontrados se clasifican dentro de la unidad sedimentaria Formación Guaduas, conjunto Medio-Superior, donde se reconoce una única secuencia grano decreciente de areniscas de grano medio y fino, cuarzosas, perdiendo en la secuencia estratigráfica la evidencia de niveles de arcillolita posiblemente por la erosión de los mismos hacia el tope del talud. Esta UGI abarca el horizonte III según el perfil de meteorización de Deere y Patton (1971) y el grado II del perfil de meteorización de Dearman (1974), donde el macizo rocoso está débilmente decolorado. Las discontinuidades pueden

estar abiertas y oxidadas. El índice de campo para la resistencia a la compresión arroja valores entre 40-55 Mpa, confirmando la dureza que presentan estos materiales. El resultado de esfuerzo medido en laboratorio según la Norma E-INV.152 es de 52 Mpa. Las velocidades de onda compresional para esta UGI se encuentran en el rango de 1400 a 1700 m/s.

El porcentaje y hectáreas de ocupación de cada una de las unidades geológicas para ingeniería cartografiadas en el área de estudio es mostrado en la figura y tabla adjunta.

**Figura 124** Porcentaje de ocupación UGI



**Tabla 57** Ocupación en hectáreas por UGI

UGI	Ha
<b>Stra</b> Suelo de relleno antrópico	1.54
<b>Strcc</b> Suelo de relleno de antiguos materiales de la cantera consolidados	0.27
<b>Stbedc</b> Botadero de escombros y desechos consolidados	0.23
<b>Stbdc</b> Botadero de desechos y antiguos materiales de la cantera	0.05
<b>Stc</b> Suelo de depósito coluvial	0.04
<b>Stbed</b> Botadero de escombros y desechos no consolidados	0.01
<b>Strci</b> Suelo de relleno de relaves de la cantera y obras de infraestructura	0.01
<b>Rbfam</b> Roca blanda fracturada altamente meteorizada	0.22
<b>Rifam</b> Roca intermedia fracturada altamente meteorizada	0.07
<b>Rdfmm</b> Roca dura fracturada moderadamente meteorizada	0.05

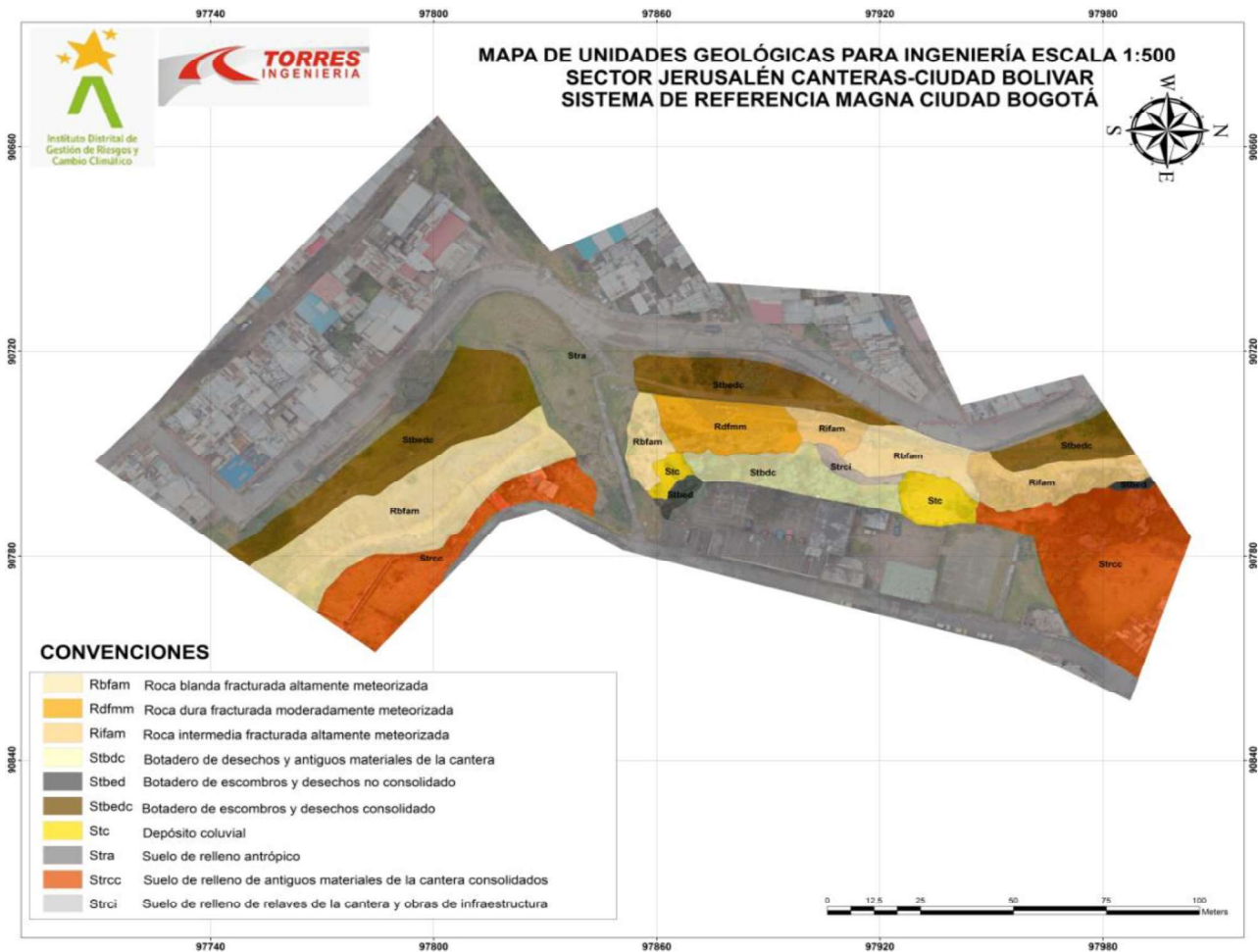
Fuente: Consultor



Las UGI predominantes corresponden a suelos de relleno antrópico (Stra) con un porcentaje de ocupación de 61.92% (1.54 Ha), seguida por suelos de relleno de antiguos materiales de la cantera consolidados (Strcc) con un porcentaje de ocupación de 10.73% (0.27 Ha); botadero de escombros y desechos consolidados (Stbedc) con un porcentaje de ocupación de 9.22% y rocas blandas fracturadas altamente meteorizadas, con un porcentaje de ocupación del 8-93% (0.22 Ha). Tal y como se conoce por el análisis de morfodinámica en el sector de estudio, la UGI de roca blanda, quién por sus características geotécnicas se define como un suelo muy denso, con presencia de algunas estructuras heredadas, posee una gran incidencia a movimientos en masa de tipo caída de tierra y detritos.

A continuación, se presenta el mapa de unidades geológicas para ingeniería en el sector Jerusalén-Canteras.

**Figura 125** Mapa de Unidades Geológicas para Ingeniería



Fuente: Consultor

### 5.3 DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO

En la exploración de campo realizada para evaluar las condiciones del área de estudio ubicado en el Barrio Jerusalén, sector Canteras, se observa que los taludes expuestos, linderos al CED plan canteras, evidencian procesos de erosión intensos y movimientos en masa activos. Los antecedentes de estudios, diseños y obras datan desde el año 1990 hasta el 2007, con la incidencia de fenómenos de remoción en masa en años posteriores a los últimos estudios detallados en la zona. Geológicamente el área se encuentra en la cordillera oriental, más específicamente al sur de la Sabana de Bogotá, donde predominan rocas de origen sedimentario de edad cretácica-paleógena.

A escala regional, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) ubica la zona sobre la Formación Guaduas, compuesta en su nivel medio por areniscas de cuarzo, finas a gruesas en capas muy gruesas plano paralelas a onduladas, con intercalaciones de arcillolitas grises y amarillentas. El ambiente de depositación de esta unidad geológica se asocia a un depósito de llanuras costeras y aluviales, pantanos y ríos. Con los resultados de exploración y el levantamiento geotécnico se delimitaron las unidades geológicas para ingeniería (UGI), identificándose 10 unidades entre suelos antrópicos, depósitos coluviales y rocas con diferentes grados de meteorización, todas ellas pertenecientes a la Formación Guaduas como su material parental. El ambiente geomorfológico se encuentra dominado por geoformas de carácter antrópico, con la modificación total del paisaje al tratarse, anteriormente, de una cantera de explotación de materiales de construcción, y posteriormente con un alto crecimiento de urbanización hacia la zona superior e inferior del talud en riesgo, junto con la implementación de obras hidráulicas y obras de mitigación que transformaron el entorno.

En este orden de ideas, la UGI predominante en el área de estudio corresponde a suelos de relleno antrópico (Stra), transportados y adecuados para la conformación de estas obras y para la adecuación de vías y viviendas. Por otro lado, los eventos de remoción en masa cartografiados como caídas de tierra y detritos se encuentran asociados al material disgregado y erosionado incluido dentro de la UGI de roca blanda fracturada altamente meteorizada (Rbfam) en afloramiento, los cuales forman grandes acumulaciones de material hacia las bases de las laderas formando suelos de depósito coluvial (Stc); así mismo las caídas de roca competente ocurren en las zonas donde aflora roca dura fracturada moderadamente meteorizada (Rdfmm) sin una formación de depósito en las laderas por el retiro continuo de estos bloques caídos.

La exploración geotécnica directa (apiques, sondeos a percusión) fueron realizados sobre diferentes materiales cartografiados como suelos de relleno antrópico, suelos de antiguos relaves de la cantera, así como suelos mezclados con escombros, desechos, obras de infraestructura, entre otros. Los ensayos de clasificación en las muestras tomadas en cada uno de los apiques de acuerdo al sistema S.U.C.S indican que los materiales analizados

son de carácter areno limoso (SM) para los apiques A4 (Stra), A6 (Stbedc) y A9 (Stbedc), limoso de baja plasticidad (ML) para el apique A7 (suelo residual, por fuera del área de trabajo), arcilloso-limoso de baja plasticidad (CL-ML) para los apiques A2 (Stbdc), A5 (Strcc) y A10 (Stra), y arcilloso de baja plasticidad (CL) para los apiques A1 (Strcc), A3 (Stc) y A8 (Strcc).

De acuerdo con los análisis para suelos granulares, para el sondeo Perf-1, los suelos son sueltos, con una densidad relativa entre 15 a 35% hasta una profundidad de 0.45 metros, luego se presenta un nivel medio, con una densidad relativa de 35 a 65% hasta una profundidad de 0.90 metros, continúa un suelo denso, con una densidad relativa de 65 a 85% hasta los 1.35 metros; finalmente se presenta un nivel muy denso, con una densidad relativa de >85% hasta la profundidad de rechazo de 5 metros. Para el caso de la Perf-2, los suelos son densos, con una densidad relativa de 65 a 85% hasta una profundidad de 0.45 m, luego continua un perfil de suelo muy denso, con una densidad relativa de >85% hasta los 5 metros en los cuales no se obtuvo rechazo. La Perf-3, clasificada como un suelo cohesivo y arcilloso, presenta un suelo muy firme hasta los 0.45 m, transiciona a un suelo duro hasta 1.35 m, un nuevo nivel de suelo muy firme se presenta hasta los 1.80 m y finaliza con un suelo duro hasta los 5 m, sin rechazo. Los tres sondeos fueron realizados sobre la UGI de relleno antrópico. La Perf-4 presenta un suelo de tipo granular, inicialmente consta de un nivel medio, con densidad relativa de 35 a 65% hasta la profundidad de 1.35 m, luego continúa un perfil de suelo muy denso, con una densidad relativa de >85% hasta los 5 metros en los cuáles no se obtuvo rechazo. Finalmente, la Perf-5, presenta un suelo de tipo granular, inicialmente consta de un nivel suelto, con densidad relativa de 15 a 35% hasta una profundidad de 0.45 m; continúa un nivel medio, con densidad relativa de 35 a 65% hasta 1.35 m, y termina con un suelo muy denso, con una densidad relativa de >85% hasta los 5 metros donde se obtuvo rechazo.

La interpretación del perfil sísmico para la línea de refracción LR-1 demuestra la existencia de 2 materiales. La capa más superficial (Rbfam) con un espesor promedio de 13 metros, y la segunda capa (Rifam) con un espesor promedio de 17 metros. La tomografía permite diferenciar estos dos materiales de acuerdo a sus  $V_p$  y teniendo como precedente el contexto geotécnico de la zona, siendo la roca blanda (Rbfam) una UGI que se comporta como un suelo y que presenta una alta meteorización y una baja compacidad. La interpretación del perfil sísmico para la línea de refracción LR-2 demuestra la existencia de 2 materiales. La capa más superficial (Rifam) con un espesor promedio de 10 metros, y la segunda capa (Rdfmm) con un espesor promedio de 23 metros. La tomografía permite diferenciar estos dos materiales de acuerdo a sus  $V_p$  y teniendo como precedente el contexto geotécnico de la zona, siendo la roca dura (Rdfmm) una UGI con rango mayor de competencia y de densidad que la capa anterior. La interpretación del perfil sísmico para la línea de refracción LR-3 demuestra la existencia de 2 materiales. La capa más superficial (Rifam) con un espesor promedio de 12 metros, y la segunda capa (Rdfmm) con un espesor promedio de 14 metros.

La tomografía permite diferenciar estos dos materiales de acuerdo a sus  $V_p$  y teniendo como precedente el contexto geotécnico de la zona, siendo la roca dura ( $R_{dfmm}$ ) una UGI con rango mayor de competencia y de densidad que la capa anterior.

A partir de los ensayos MASW ejecutados en la zona de estudio, se identificó el perfil del suelo, partiendo de la velocidad de onda cortante promedio a 30 metros y la tabla A-2-4-1 de la NSR-10 se establece que en los tres ensayos (MASW-1, MASW-2 y MASW-3) el suelo es de tipo C, correspondiendo a un perfil de suelo rígido  $V_s-30$  variable entre 360 m/s y 760 m/s. Finalmente, los resultados de los ensayos de tomografía eléctrica (TOM-1, TOM-2 y TOM-3) identifican dos zonas, respectivamente, diferenciadas por las magnitudes de resistividad generadas. En los niveles superficiales se interpreta anomalías extendiéndose lateralmente y, ocasionalmente, en profundidad, con resistividades muy bajas en el orden de  $0.021 \Omega.m$ , lo que supone la existencia de materiales con altos grados de humedad, mejorando las condiciones de resistividad gradualmente en profundidad.

## 5.4 FACTORES DETONANTES

La Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa del SGC, 2017, expone que un detonante es un estímulo externo cuya respuesta casi inmediata es un movimiento en masa producto del rápido cambio en el estado de esfuerzos o disminución de la resistencia del material que conforma la ladera o talud. Para el caso de estudio, y tomando como base lo expuesto en dicho documento se consideraron como principales factores detonantes la acción sísmica y la lluvia.

### 5.4.1 Detonante sísmico

Los sismos, como generadores de fuerzas y aceleraciones en zonas de la corteza terrestre, producen en muy corto tiempo, cambios en los estados de esfuerzos iniciales de las masas de suelo y roca, los cuales, según su magnitud, pueden detonar movimientos en masa (deslizamientos, flujos, caídas, volcamiento, entre otros), que en muchos casos derivan en procesos de inestabilidad subsecuentes (SGC, 2019).

Según la “Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa” (SGC-UNAL, 2016), para estudios detallados, el efecto de la fuerza inercial sísmica puede evaluarse considerando una aceleración horizontal en los modelos de análisis de estabilidad, según el período de retorno del evento sísmico.

#### 5.4.1.1 Aceleraciones para diseño

Para efectos del análisis y diseño de taludes, se debe emplear la aceleración máxima del terreno ( $a_{max}$ ), en caso que el sitio objeto de análisis haga parte de un estudio de microzonificación sísmica aprobado, se utilizará la aceleración máxima superficial del terreno establecida en el espectro de diseño respectivo (NSR-10. H.5.2.5).

Para el caso de estudio en particular, se tiene como referencia la microzonificación sísmica de Bogotá D.C, realizada en 2010, y aprobada en el mismo año por el decreto 523 del 16 de diciembre. En este documento se plantean 16 zonas de respuesta sísmica, representadas en el mapa de zonificación de respuesta sísmica de la ciudad de Bogotá, del cual se determina que el sector de estudio del presente proyecto está comprendido en la zona Cerros.

En la Figura No. 60 se presentan los valores de los coeficientes de diseño determinados en el estudio de microzonificación sísmica, de acuerdo a un espectro de tipo elástico expresado en términos de la aceleración ( $S_a$ ) y del período espectral ( $T$ ), concebido para un amortiguamiento del 5% y para una probabilidad de excedencia de 10% en un lapso de 50 años lo cual corresponde a un período de retorno de 475 años.

**Figura 126** Coeficientes sísmicos de diseño

Zona	$F_a$ (475)	$F_v$ (475)	$T_C$ (s)	$T_L$ (s)	$A_0$ (475) (g)
CERROS	1.35	1.30	0.62	3.0	0.18
PIEDEMONTE A	1.65	2.00	0.78	3.0	0.22
PIEDEMONTE B	1.95	1.70	0.56	3.0	0.26
PIEDEMONTE C	1.80	1.70	0.60	3.0	0.24
LACUSTRE-50	1.40	2.90	1.33	4.0	0.21
LACUSTRE-100	1.30	3.20	1.58	4.0	0.20
LACUSTRE-200	1.20	3.50	1.87	4.0	0.18
LACUSTRE-300	1.05	2.90	1.77	5.0	0.16
LACUSTRE-500	0.95	2.70	1.82	5.0	0.14
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.10	2.80	1.63	4.0	0.17
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.00	2.50	1.60	5.0	0.15
ALUVIAL-50	1.35	1.80	0.85	3.5	0.20
ALUVIAL-100	1.20	2.10	1.12	3.5	0.18
ALUVIAL-200	1.05	2.10	1.28	3.5	0.16
ALUVIAL-300	0.95	2.10	1.41	3.5	0.14
DEPÓSITO LADERA	1.65	1.70	0.66	3.0	0.22

Fuente: Decreto 523 del 26 de diciembre de 2010

De lo anterior, se determina que para el caso de estudio los valores de los coeficientes  $F_a$  y  $A_0$  para un periodo de retorno de 475 años corresponden a 1.35 y 0.18 respectivamente. De igual manera, el coeficiente de importancia se calcula de acuerdo a lo establecido el capítulo A.2.5.2 de la NSR10 y corresponde a 1.0 ya que el análisis se realiza a una estructura perteneciente al grupo de uso I.

**Figura 127** Valores Coeficiente de Importancia

**Tabla A.2.5-1**  
**Valores del coeficiente de importancia, I**

Grupo de Uso	Coficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Fuente: NSR 10. Título A

El valor de la aceleración máxima obtenida del espectro de diseño para un periodo cero de acuerdo a lo requerido por la norma esta dada por:

$$a_{max} = Aa \cdot Fa \cdot I$$

$$a_{max} = (0.18) (1.35) (1.0) = 0.243$$

#### 5.4.1.2 Coeficiente sísmico de diseño

Según la NSR 10 en H.5.2.5, el coeficiente sísmico de diseño para análisis pseudoestático de taludes  $K_{ST}$  tiene valor inferior o igual al de  $a_{max}$ . En la Figura No. 62 se registran los valores mínimos de  $K_{ST} / a_{max}$ , dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

**Figura 128** Valores de  $K_{ST}/a_{max}$  Minimos para análisis Seudoestático de Taludes

**Tabla H.5.2-1**  
**Valores de  $K_{ST}/a_{max}$  Minimos para Análisis Seudoestático de Taludes**

Material	$K_{ST}/a_{max}$ Minimo	Análisis de Amplificación Minimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Fuente: NSR 10. Título H. Modificada por el consultor

Con el valor de la aceleración máxima calculada y teniendo en cuenta los materiales de la zona de estudio se determina que la relación de  $K_{ST} / a_{max}$  **Minima** es 0.8. De esta manera, se calcula el valor de  $K_{ST}$ .

$$K_{ST} = 0.8 a_{max}$$
$$K_{ST} = (0.8) (0.243) = 0.1944$$

#### 5.4.2 Detonante de lluvia

La presencia de agua en un terreno produce una alteración en los estados de esfuerzo a los cuales se ve sometido el suelo, lo cual puede desencadenar en movimientos en masa para el caso de un talud. De igual manera, la infiltración de agua lluvia es la causante de flujos subsuperficiales y subterráneos en las laderas, provocando la elevación del nivel freático y por consiguiente contribuyendo a la inestabilidad del talud, por esta razón, entre más permeable sean los materiales que conforman el terreno mayor será la influencia de las precipitaciones.

Teniendo en cuenta que, dentro de la exploración geotécnica realizada no fue posible determinar la profundidad media del nivel freático, lo cual es consecuente con la hidrogeología y estudios geotécnicos anteriores, pero los resultados de las tomografías indican la presencia de zonas superficiales afectadas por una humedad significativa sugiriendo así un fallo de las obras hidráulicas existentes o una acumulación de agua debido a infiltraciones provocadas por la escorrentía y que los materiales que conforman el talud son de carácter permeable, se toma en consideración lo establecido en la Guía Metodológica del SGC (2019) *“En ausencia de información más precisa, considerarla igual a la profundidad medida en la exploración geotécnica de campo. En aquellos casos en que se encuentre a gran profundidad y no se logre medir, se podrá considerar como condición crítica que dicho nivel medio coincide con el de la profundidad de la superficie de falla”*.

De acuerdo a lo anterior y de acuerdo al tipo de materiales, la estratigrafía y las superficies de falla esperadas se estima la influencia de un nivel freático aproximadamente a un metro de la superficie del terreno.

### 5.5 DETERMINACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

En función del tipo, características geológico-geotécnicas y distribución de los materiales predominantes, así como de las condiciones geomorfológicas asociadas, aspectos que condicionan el comportamiento geotécnico del terreno, se definieron las zonas geotécnicas homogéneas indicativas. Como insumos base, se partió de los mapas de Unidades de Geología para Ingeniería y de Elementos Geomorfológicos, los cuales proporcionaron información sobre el origen, composición y distribución preliminar de los materiales presentes, así como también sobre las geoformas asociadas. El análisis integró además de lo anterior, los resultados del programa de exploración directa e indirecta efectuado y los datos de información geotécnica secundaria recopilados en el área de estudio. Como resultado, se definieron 5 zonas geotécnicas homogéneas (ZGH), trazando un perfil representativo por cada una de ellas como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 129** Mapa de zonas homogéneas

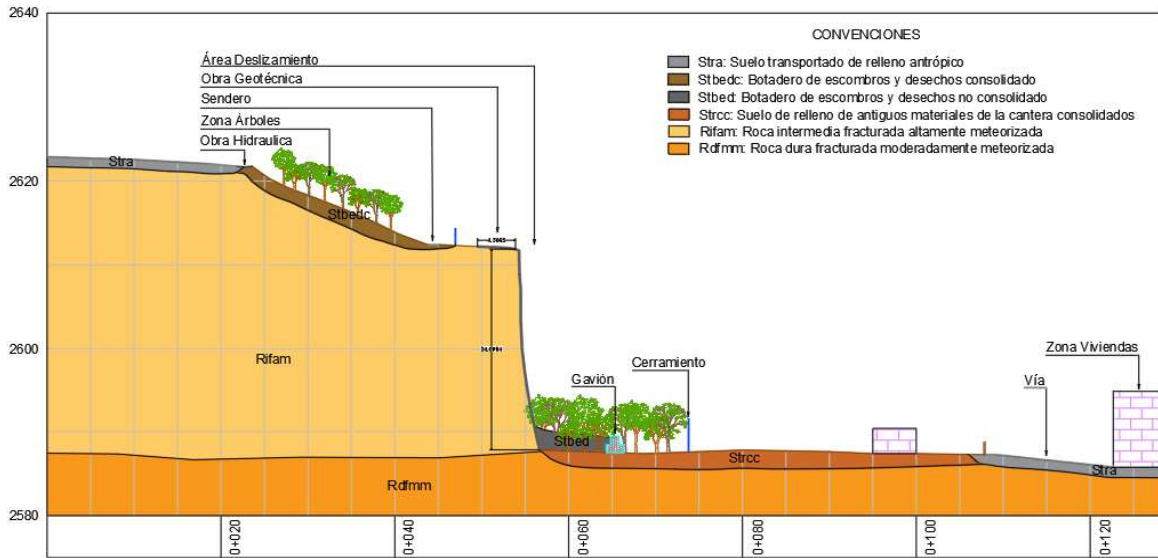


**Fuente:** Consultor

A continuación, se presenta el modelo conceptual para cada uno de los sectores críticos del proyecto.



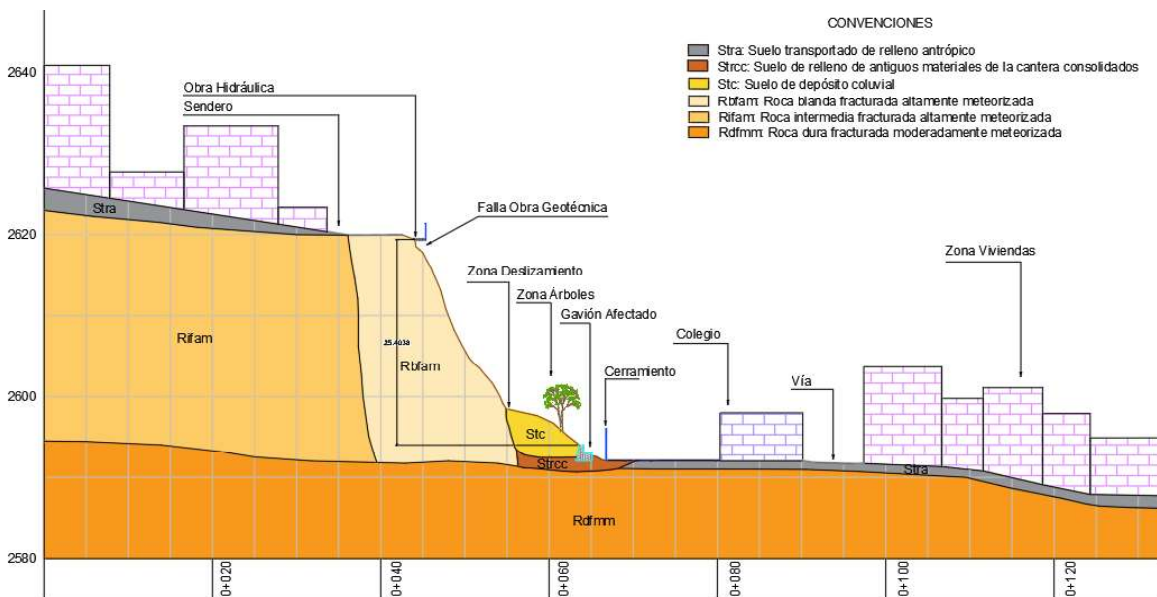
**Figura 130** Perfil 1 geológico geotécnico



Fuente: Consultor

Taludes dominados por procesos latentes de caída de roca, asociados a la UGI de roca intermedia fracturada altamente meteorizada (Rifam), con obras de mitigación parcialmente estables. La zona adyacente al talud presenta depósitos inconsolidados de escombros y desechos (Stbed) los cuales suprayacen a un suelo formado por la acumulación de antiguos materiales de explotación de la cantera consolidados (Strcc). Hacia la zona superior de la ladera se presenta un botadero de escombros y desechos consolidados (Stbedc). La morfología en este sector es escarpada y presenta una cobertura vegetal buena.

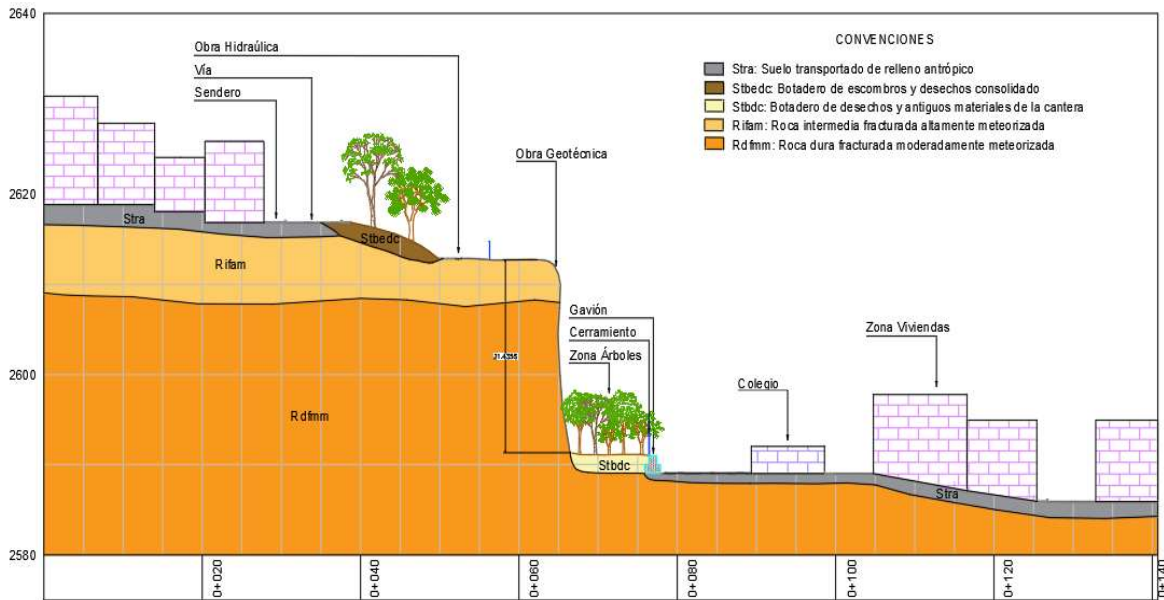
**Figura 131** Perfil 2 geológico geotécnico



Fuente: Consultor

Taludes dominados por procesos activos de caída de roca, tierra y detritos que forman depósitos coluviales (Stc) en la base de los taludes, con obras de mitigación inestables sobre rocas blandas fracturadas altamente meteorizadas (Rbfam), materiales que, por su bajo nivel de compacidad se comportan como suelos muy densos, con algunas estructuras heredadas. La afectación de estos materiales, es debido a, entre otros factores, la verticalidad de las laderas expuestas, con pendientes escarpadas a muy escarpadas, algunas de ellas negativas por el desprendimiento de roca y/o suelo, así mismo por fenómenos de humedad y cobertura vegetal pobre.

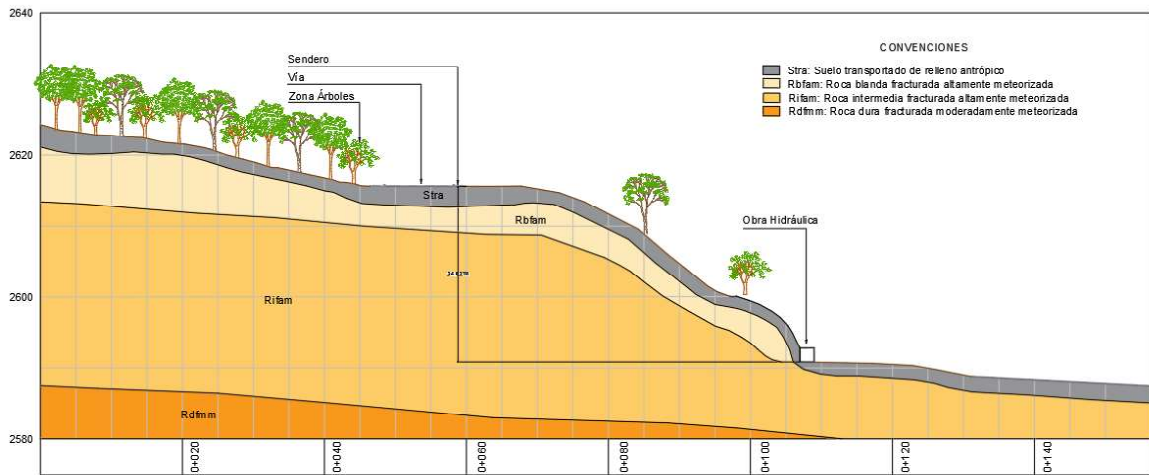
**Figura 132** Perfil 3 geológico geotécnico.



Fuente: Consultor

Taludes dominados por procesos activos de caída de roca, con obras de mitigación parcialmente estables sobre rocas duras fracturadas altamente meteorizadas (Rd fmm) y rocas intermedias fracturadas altamente meteorizadas (Rifam), materiales que, por su incidencia de fracturamiento ocasionan movimientos en masa de estas características. La afectación de estos materiales, es debido a, entre otros factores, el fuerte control estructural del área, la heterogeneidad en la compacidad y en el carácter textural de las rocas, y las pendientes muy escarpadas.

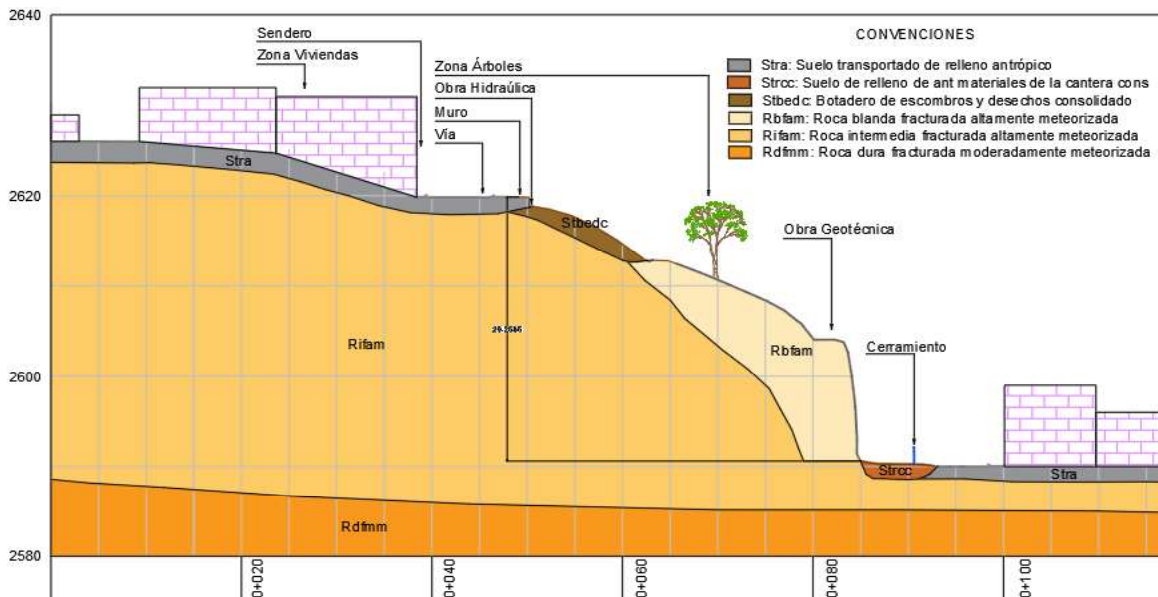
**Figura 133** Perfil 4 geológico geotécnico



Fuente: Consultor

Zona intervenida con obras hidráulicas para la canalización de la Quebrada Canteras, con espesores variables de relleno antrópico (Stra), que suprayacen materiales parentales de roca muy meteorizada, clasificadas dentro de la UGI de roca blanda fracturada altamente meteorizada (Rbfam).

**Figura 134** Perfil 5 geológico geotécnico



Fuente: Consultor

Taludes dominados por movimientos en masa estabilizados, con obras de mitigación parcialmente estables sobre materiales parentales muy meteorizados incluidos dentro de la UGI de roca blanda fracturada altamente meteorizada (Rbfam). Las laderas, las cuales han sido intervenidas previamente, presentan morfología ondulada y pendientes abruptas.

Las propiedades utilizadas para realizar el modelo conceptual y matemático para los suelos corresponden a los parámetros definidos por el modelo de Mohr-Coulomb (cohesión, ángulo de fricción y peso específico). A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las litologías identificadas.

**Tabla 58** Resultados parámetros geotécnicos de diseño para suelos según los ensayos directos

DESCRIPCIÓN	Muestra	Prof (m)	RESULTADOS DIRECTO		
			C (Kpa)	$\phi$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
<b>Strcc:</b> Suelo de relleno de antiguos materiales de la cantera consolidados	AQ1	2	8,83	16,46	18,14
	AQ5	2	7,85	24,45	19,22
	AQ8	2	13,73	12,77	19,02
<b>Stbedc:</b> Botadero de escombros y desechos consolidados	AQ6	2	3,92	27,37	19,22
	AQ9	2	1,96	38,30	18,04
<b>Stra:</b> Suelo de relleno antrópico	AQ4	2	6,86	22,98	18,44
	AQ10	2	5,88	23,93	18,73
<b>Stc:</b> Suelo de depósito coluvial	AQ3	3	0,98	31,36	19,61
<b>Stbdc:</b> Botadero de desechos y antiguos materiales de la cantera	AQ2	2	4,90	14,07	18,73
<b>Stbed:</b> Botadero de escombros y desechos no consolidado	-	-	0	35	20

Fuente: Consultor

**Tabla 59** Análisis estadístico de los parámetros geotécnicos de diseño para suelos

DESCRIPCIÓN	PROF (m)	COHESIÓN (Kpa)			FRICCIÓN $\phi$ (°)			PESO ESPECÍFICO $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )		
		Min	Max	Prom	Min	Max	Prom	Min	Max	Prom
<b>Strcc:</b> Suelo de relleno de antiguos materiales de la cantera consolidados	2	7,85	13,73	10,13	12,77	24,45	17,89	18,14	19,22	18,80
<b>Stbedc:</b> Botadero de escombros y desechos consolidados	2	1,96	3,92	2,94	27,37	38,30	32,84	18,04	19,22	18,63
<b>Stra:</b> Suelo de relleno antrópico	2	5,88	6,86	6,37	22,98	23,93	23,46	18,44	18,73	18,58
<b>Stc:</b> Suelo de depósito coluvial	2	0,98			31,36			19,61		
<b>Stbdc:</b> Botadero de desechos y antiguos materiales de la cantera	2	4,90			14,07			18,73		
<b>Stbed:</b> Botadero de escombros y desechos no consolidado	-	0,00			35,00			20,00		

Fuente: Consultor

**Tabla 60** Descripción propiedades geotécnicas de diseño definitivas para suelos

DESCRIPCIÓN	COHESIÓN (Kpa)	FRICCIÓN $\phi$ (°)	PESO ESPECÍFICO $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
<b>Strcc:</b> Suelo de relleno de antiguos materiales de la cantera consolidados	10,13	17,89	18,80
<b>Stbedc:</b> Botadero de escombros y desechos consolidados	2,94	32,84	18,63
<b>Stra:</b> Suelo de relleno antrópico	6,37	23,46	18,58
<b>Stc:</b> Suelo de depósito coluvial	0,98	31,36	19,61
<b>Stbdc:</b> Botadero de desechos y antiguos materiales de la cantera	4,90	14,07	18,73
<b>Stbed:</b> Botadero de escombros y desechos no consolidado	0,00	35,00	20,00

Fuente: Consultor

Para el caso de las unidades de roca se utilizaron los parámetros requeridos por el modelo de Hoek and Brown: Field Estimate of Strength (UCS), Geological Strength Index (GSI), Intact Rock constant (mi) y Disturbance Factor (DF). A continuación se exponen los resultados obtenidos.

**Tabla 61** Parámetros de diseño para las unidades de roca

UGI	INTACT UCS (kPa)	GSI	mi	DF
<b>Rbfam:</b> Roca blanda fracturada altamente meteorizada	8 000	20	6	0,7
<b>Rifam:</b> Roca intermedia fracturada altamente meteorizada	25 000	30	11	0,7
<b>Rdfmm:</b> Roca dura fracturada moderadamente meteorizada	52 000	45	17	0,7

Fuente: Consultor

En cuanto a la unidad de roca blanda, de acuerdo a los valores obtenidos se determinó que lo más acertado para el modelo asumir su comportamiento como el de un suelo, por tal razón, se realizó una correlación entre los valores obtenidos de la geofísica y los resultados directos para así determinar las propiedades requeridas para Mohr-Coulomb. En la siguiente tabla se presentan los resultados de las correlaciones y datos definitivos de diseño para la unidad Rbfam.

**Tabla 62** Correlación para las unidad de roca blanda (Rbfam)

Resultado / Parámetro	$\phi$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C suelos (KPa)
Relación sísmica	30	18,45	18,63
Resultados directos	13	21	50,99
PROMEDIO	21,5	19,725	34,81

Fuente: Consultor

**Tabla 63** Parámetros de diseño para la unidad de roca blanda (Rbfam) según Mohr-Coulomb

UGI	COHESIÓN (KPa)	FRICCIÓN $\phi$ (°)	PESO ESPECÍFICO $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Rbfam: Roca blanda fracturada altamente meteorizada	34,81	21,5	19,73

Fuente: Consultor

## 5.6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Con el fin de evaluar la estabilidad actual del talud se emplea el software Slide de la firma Rocscience para desarrollar un análisis usando la metodología de equilibrio límite la cual toma como criterio de estabilidad el factor de seguridad calculado.

De acuerdo con los parámetros establecidos en la NSR-10, el factor de seguridad aceptable para garantizar estabilidad en un talud corresponde a las siguientes magnitudes: mayor o igual a 1.5 en condiciones estáticas, mayor o igual a 1.2 en condiciones pseudoestáticas y mayor o igual a 1.05 en condiciones saturadas. El cálculo del factor de seguridad requerido para el análisis se desarrolló empleando las teorías propuestas por Fellenius, Bishop, Janbú, Morgesten-Price y Spencer.

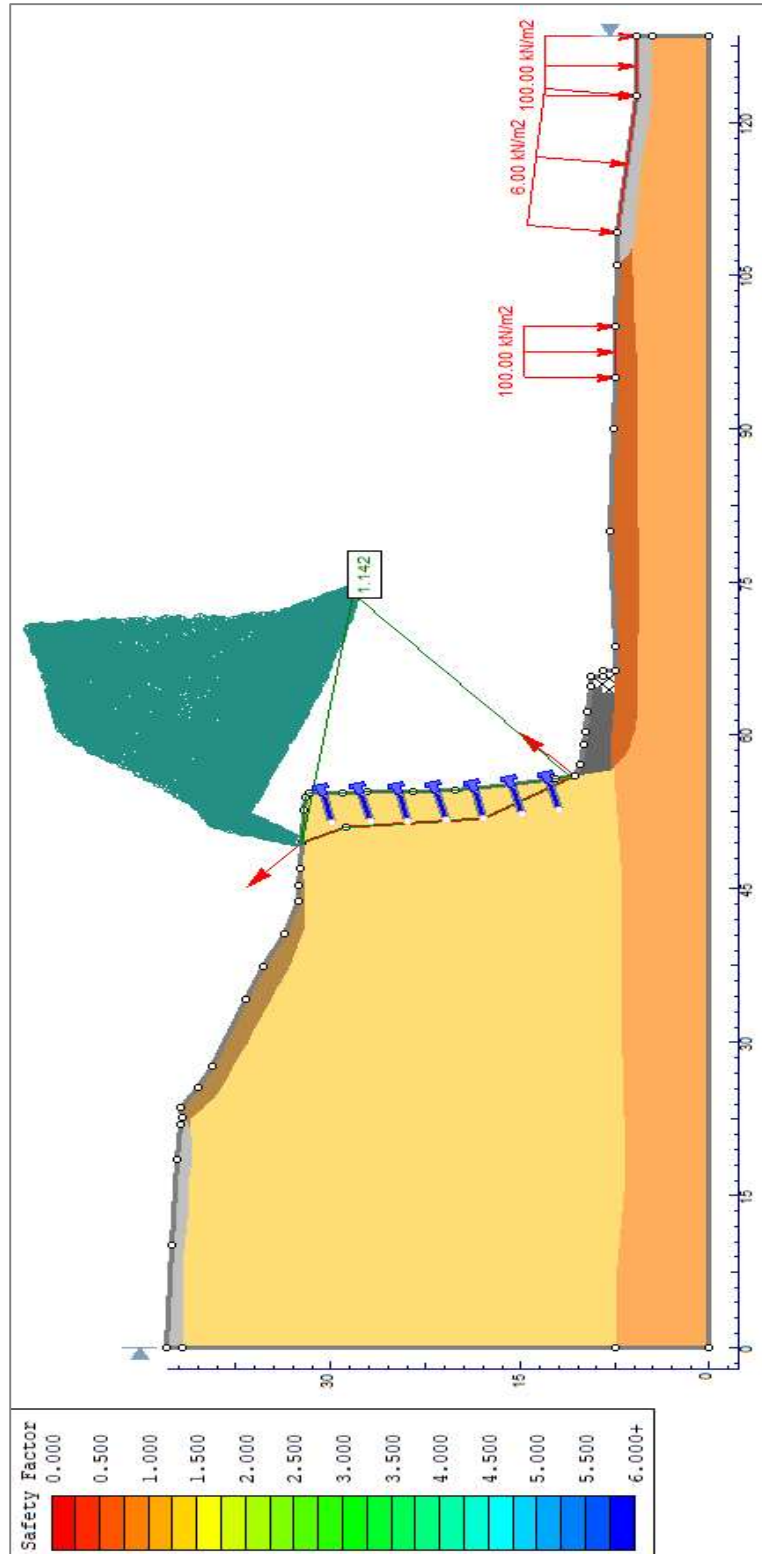
El análisis de estabilidad se realizó para cada uno de los cinco perfiles críticos del proyecto, evaluando tres escenarios: condiciones estáticas, condiciones pseudoestáticas y condiciones saturadas del terreno. En el primer caso se consideró el nivel del terreno actual, con sobrecargas producidas por vías y viviendas, en condiciones actuales sin factores detonantes, para el análisis pseudoestático se aplicó una fuerza sísmica horizontal ( $K_{st} = 0.1944$ ) y en el último escenario se simuló condiciones saturadas del talud agregando el nivel freático aproximadamente un metro bajo la superficie del terreno. De igual manera para ninguno de los escenarios se consideró el concreto lanzado existente, pero si se tuvo en cuenta los pernos separados cada 3m que se encuentran en los perfiles 1 y 5.

Para la realización de los modelos se tuvo en cuenta una falla de tipo planar y cuña sobre el macizo rocoso, a excepción del perfil 4 el cual se modeló con una superficie de falla circular debido al comportamiento esperado por parte de un relleno antrópico y una roca blanda fracturada. Los parámetros de resistencia se asignaron utilizando el modelo de Mohr-Coulomb (cohesión y ángulo de fricción) para los suelos y la roca blanda fracturada, y el modelo de Hoek and Brown para las unidades de roca fracturada (dura e intermedia).

A continuación, se presenta el análisis en cada uno de los escenarios de estudio (estático, pseudoestático y saturado) en las condiciones actuales, para los cinco perfiles críticos del talud.

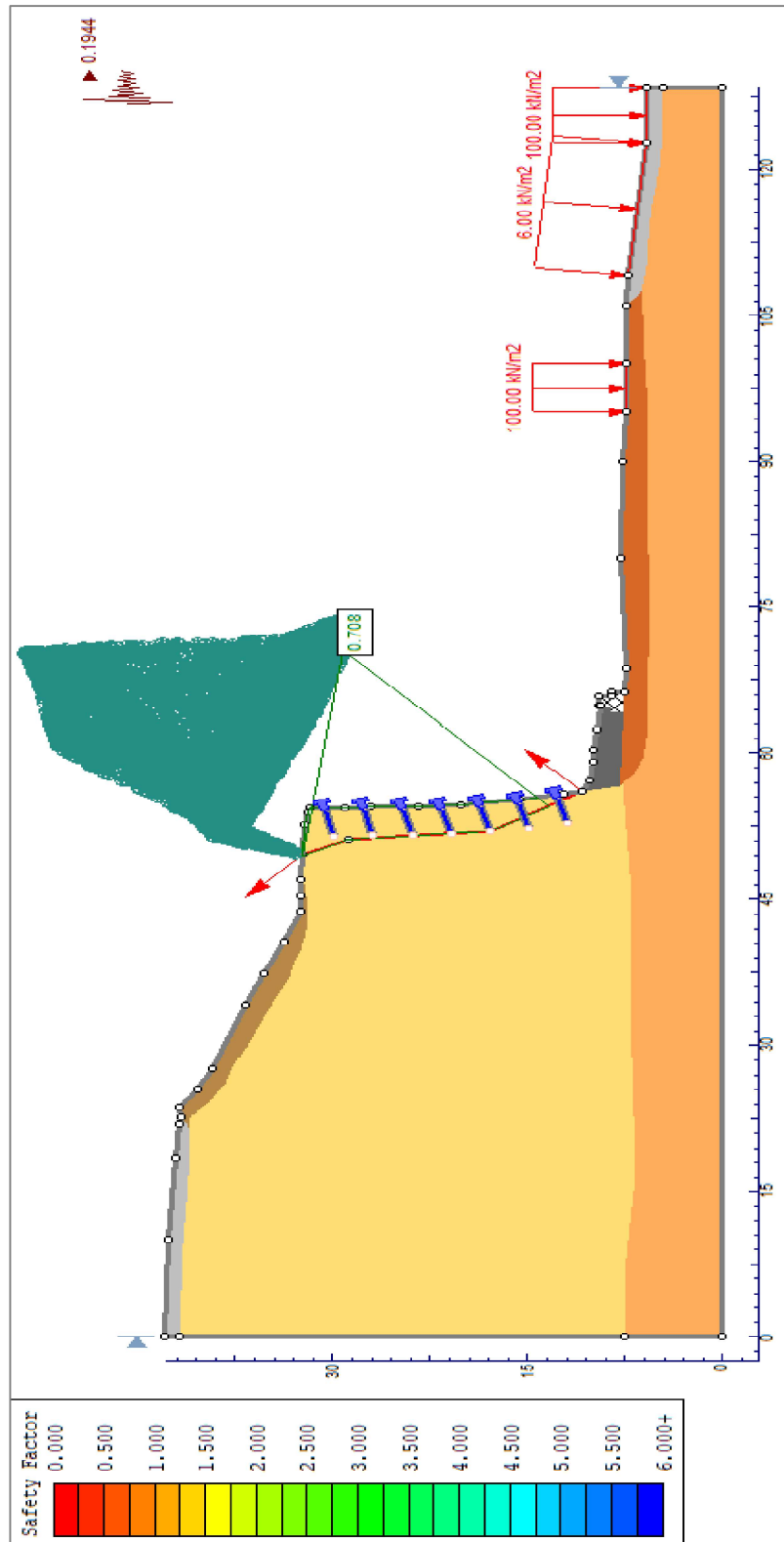
**5.6.1 PERFIL 1**

**Figura 135** Modelo sin obras condiciones estáticas - Perfil 1



Fuente: Consultor

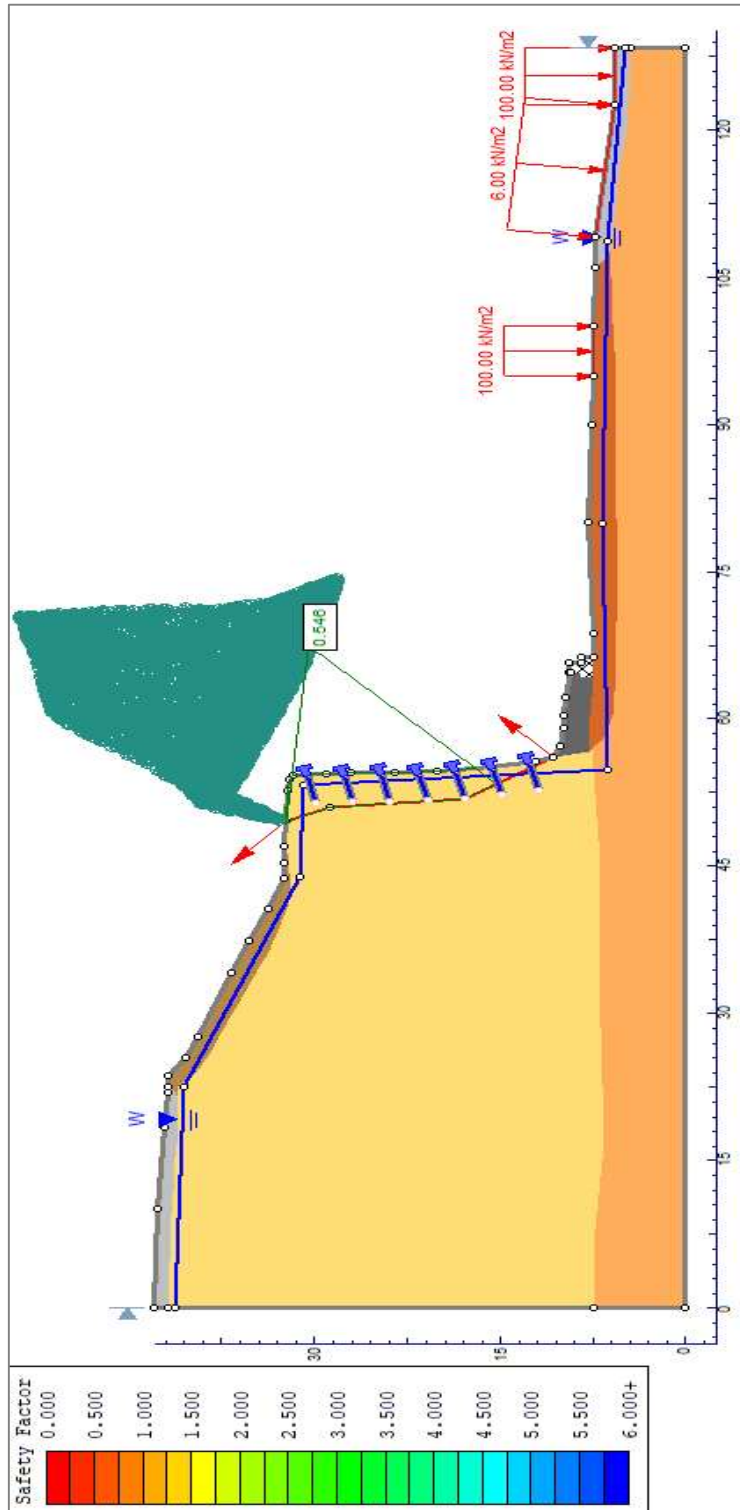
**Figura 136** Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas - Perfil 1



Fuente: Consultor



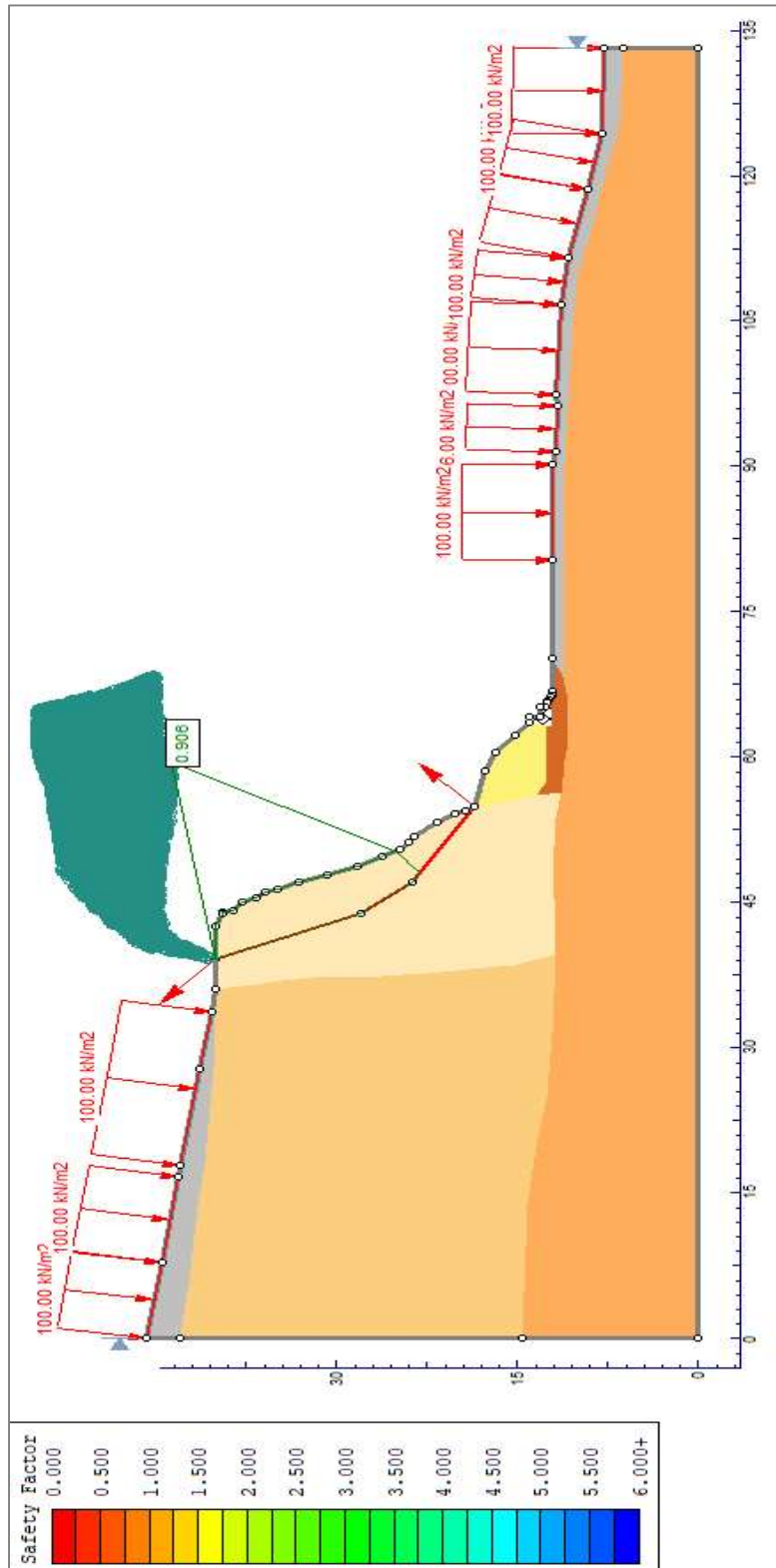
**Figura 137** Modelo sin obras condiciones saturadas-Perfil 1



Fuente: Consultor

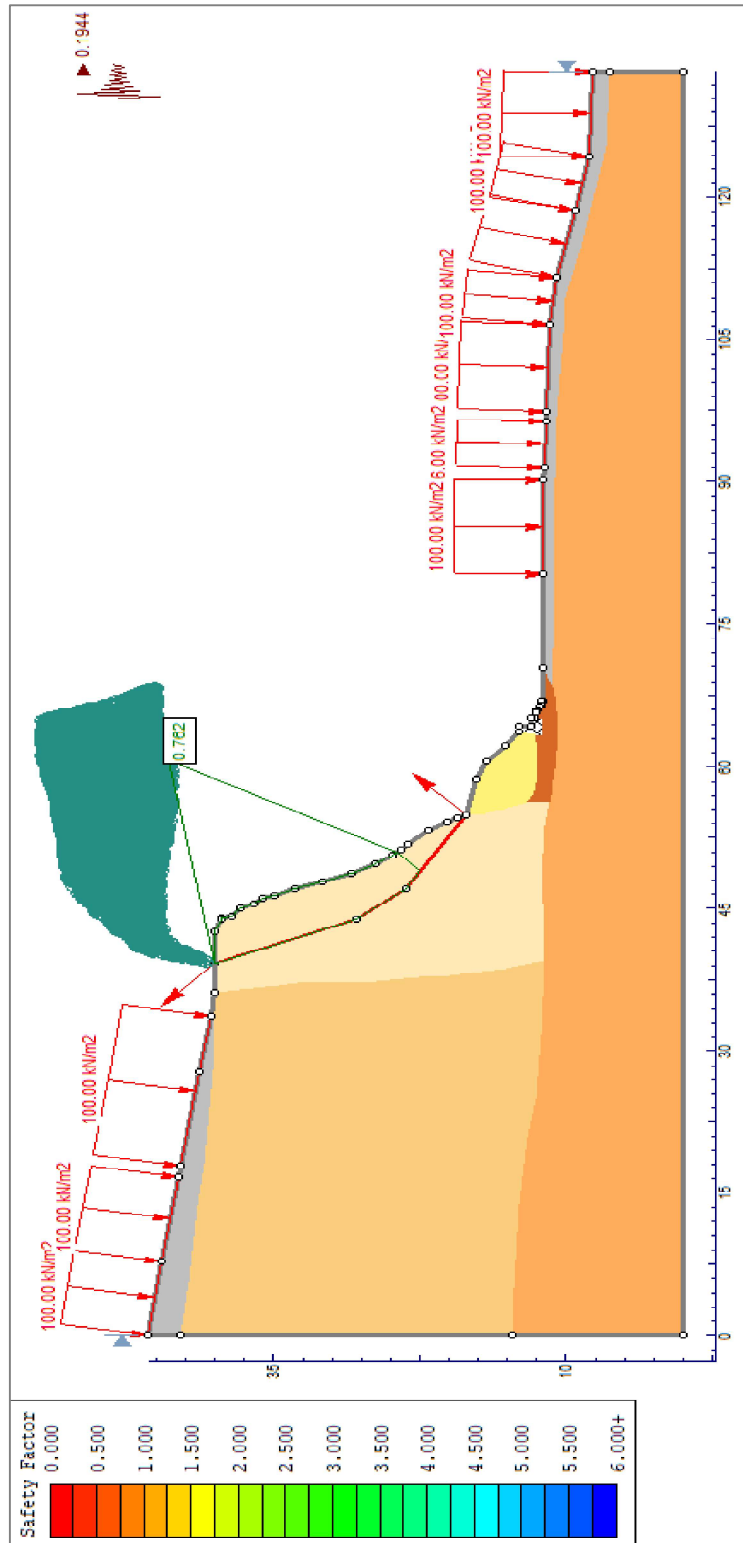
**5.6.2 PERFIL 2**

**Figura 138** Modelo sin obras condiciones estáticas -Perfil 2



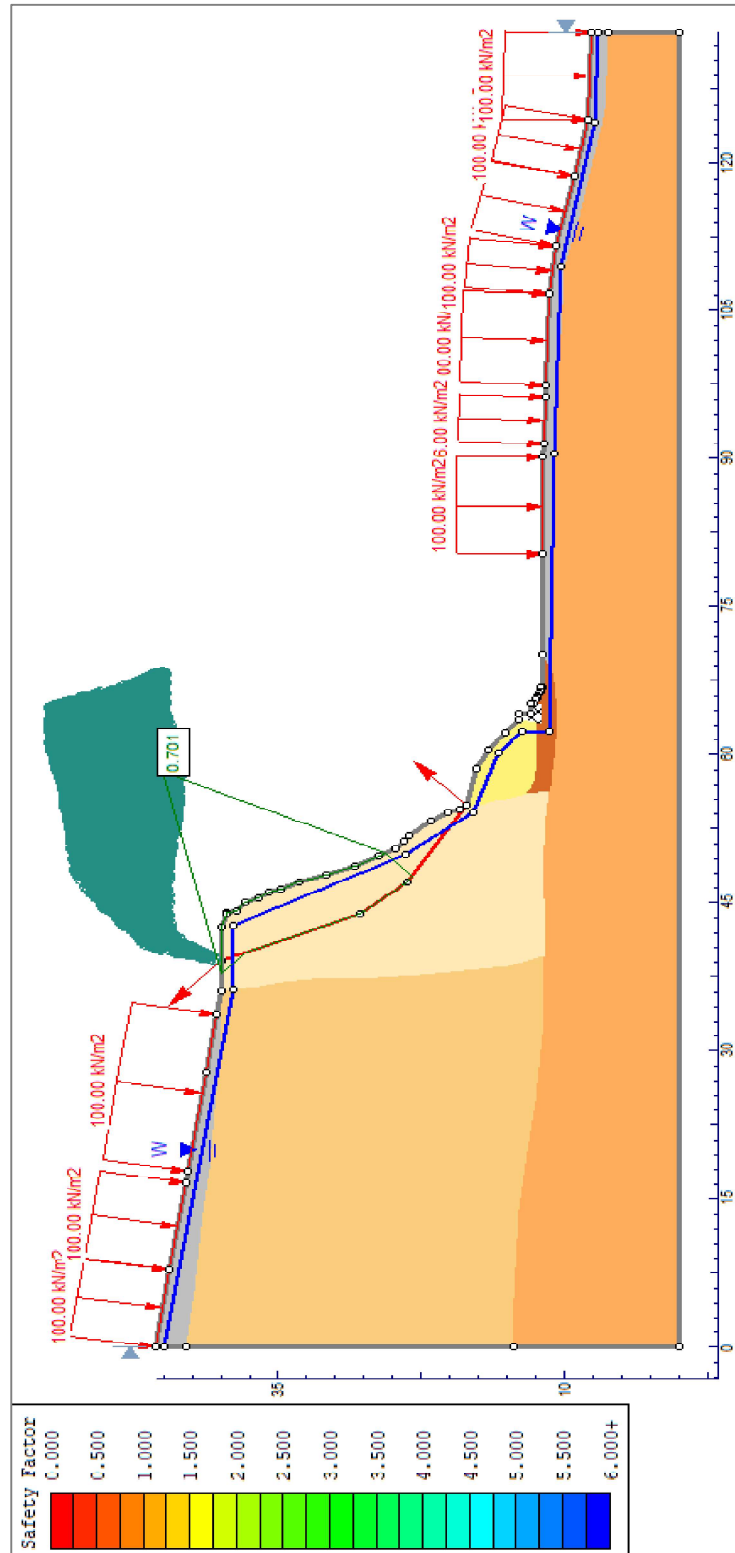
Fuente: Consultor

**Figura 139** Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas - Perfil 2



Fuente: Consultor

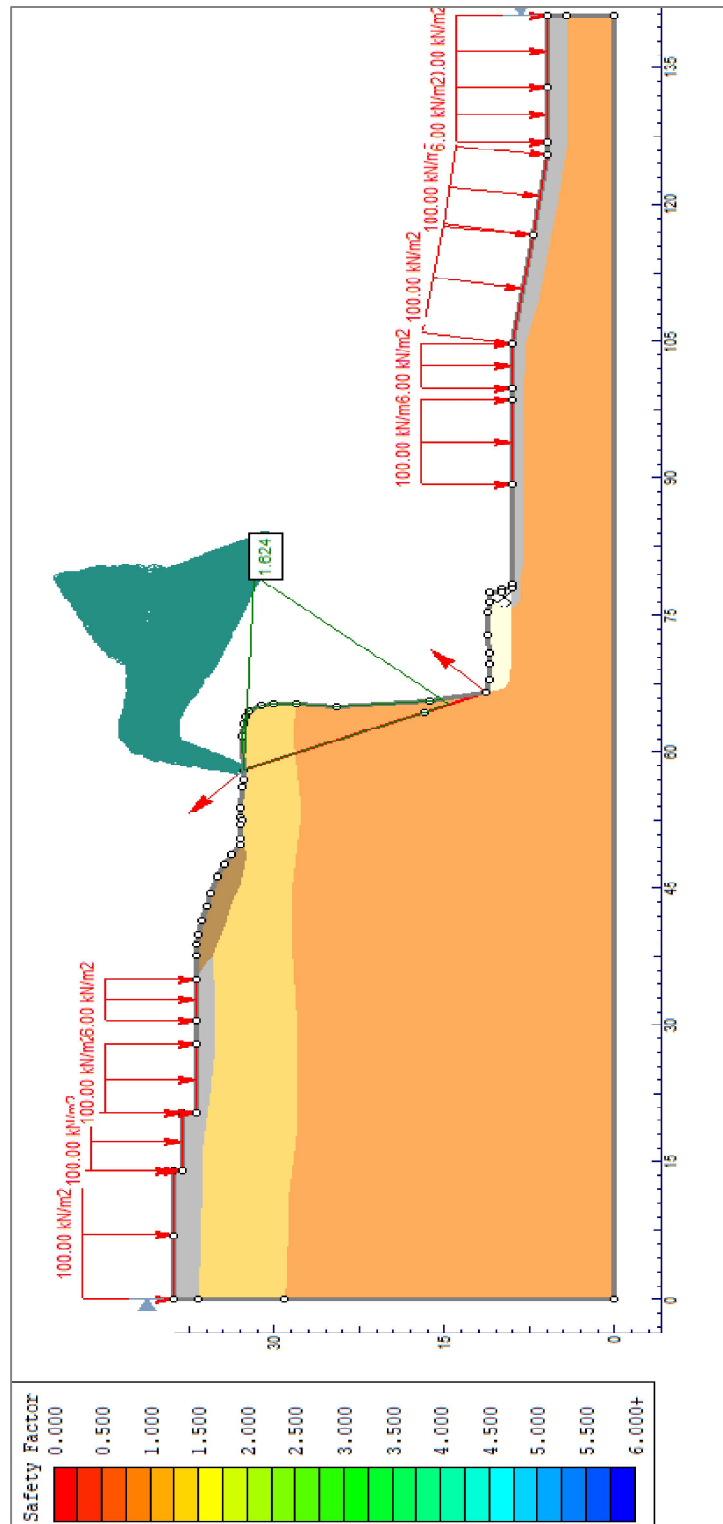
**Figura 140**      Modelo sin obras condiciones saturadas - Perfil 2



Fuente: Consultor

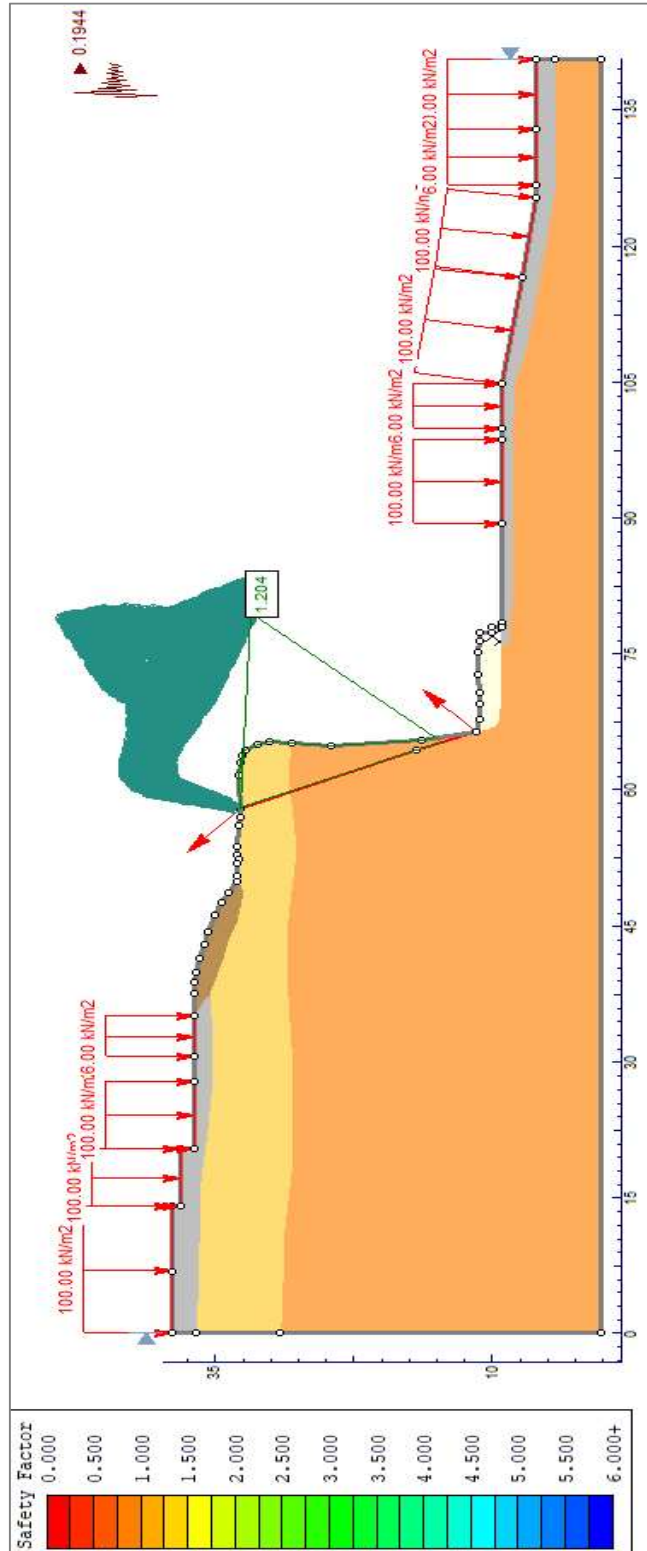
**5.6.3 PERFIL 3**

**Figura 141**      Modelo sin obras condiciones estáticas - Perfil 3



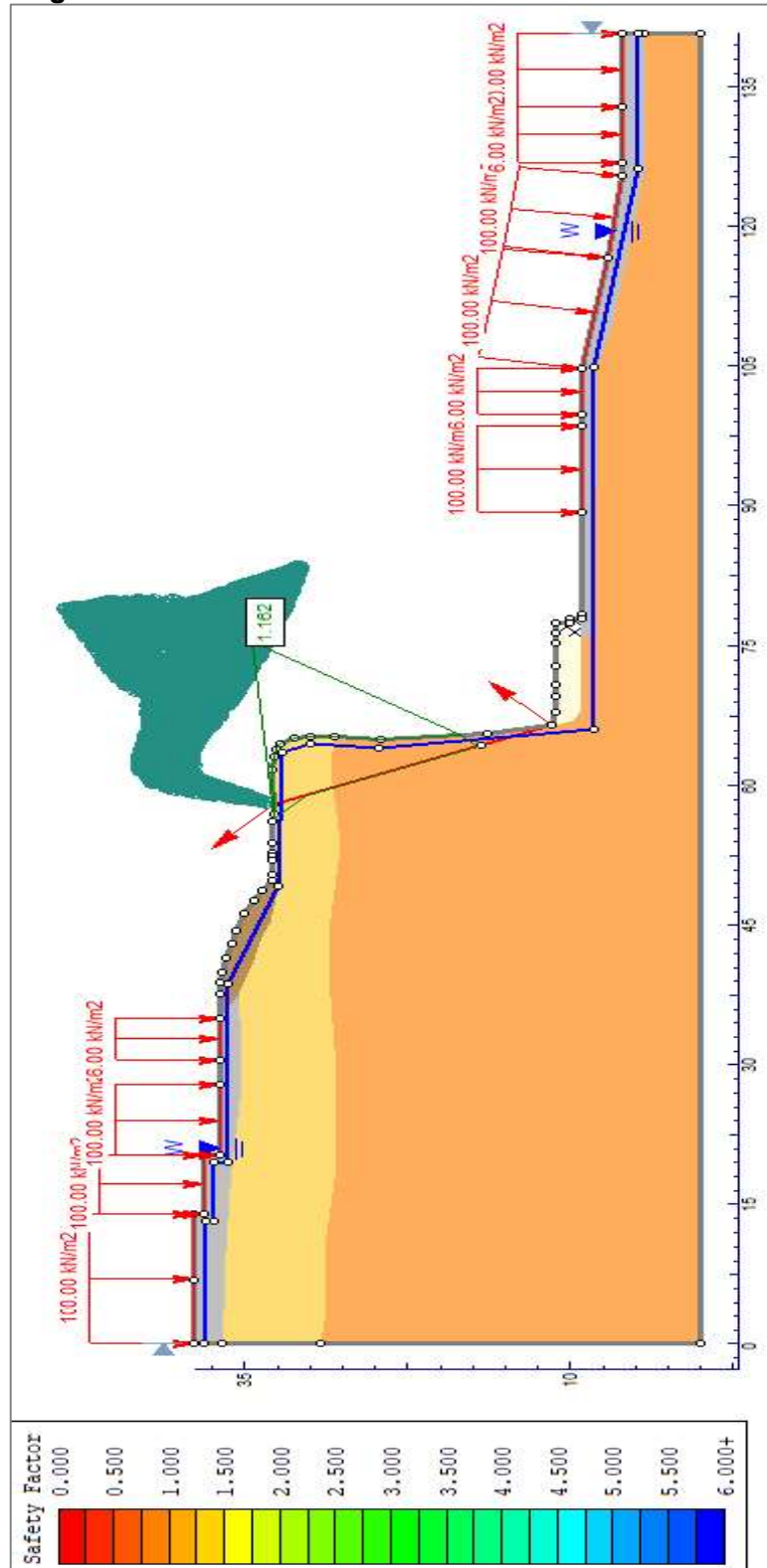
Fuente: Consultor

**Figura 142** Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas - Perfil 3



Fuente: Consultor

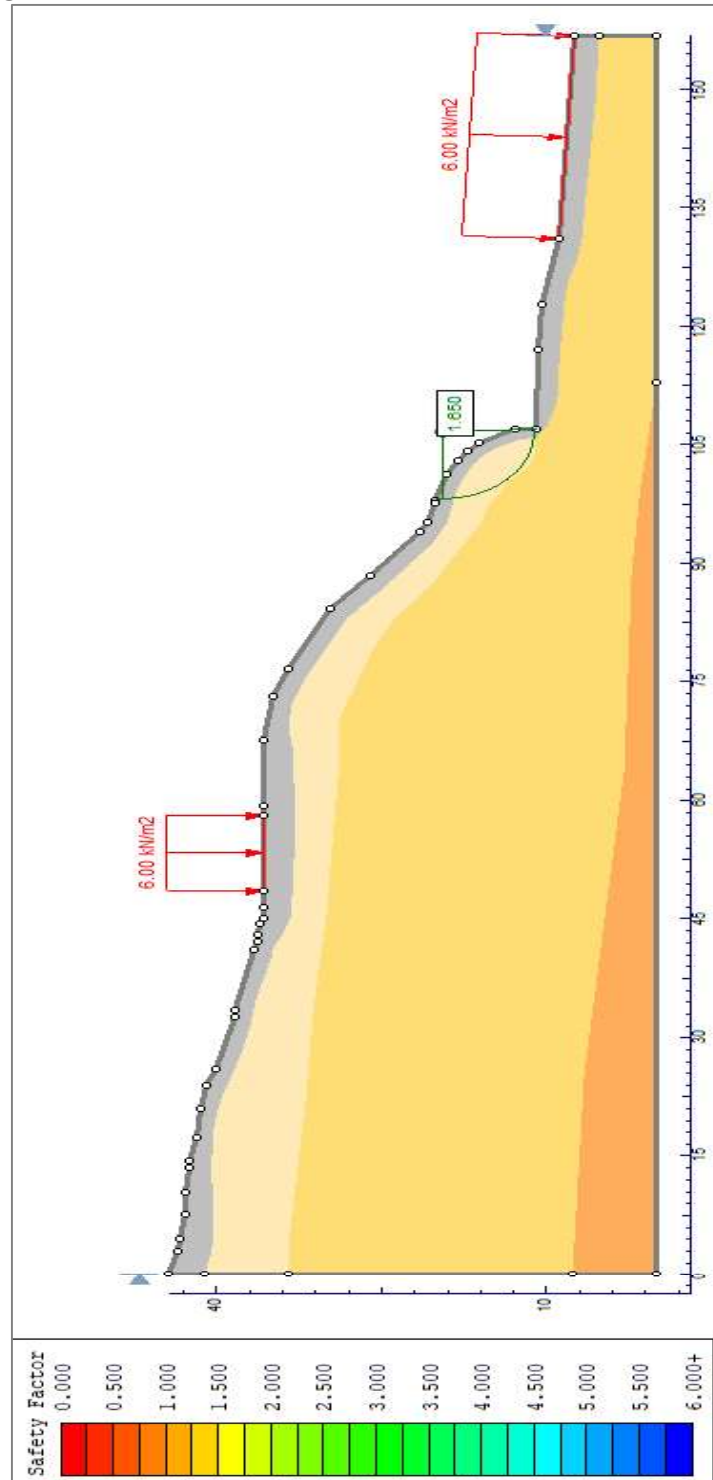
**Figura 143** Modelo sin obras condiciones saturadas - Perfil 3



Fuente: Consultor

**5.6.4 PERFIL 4**

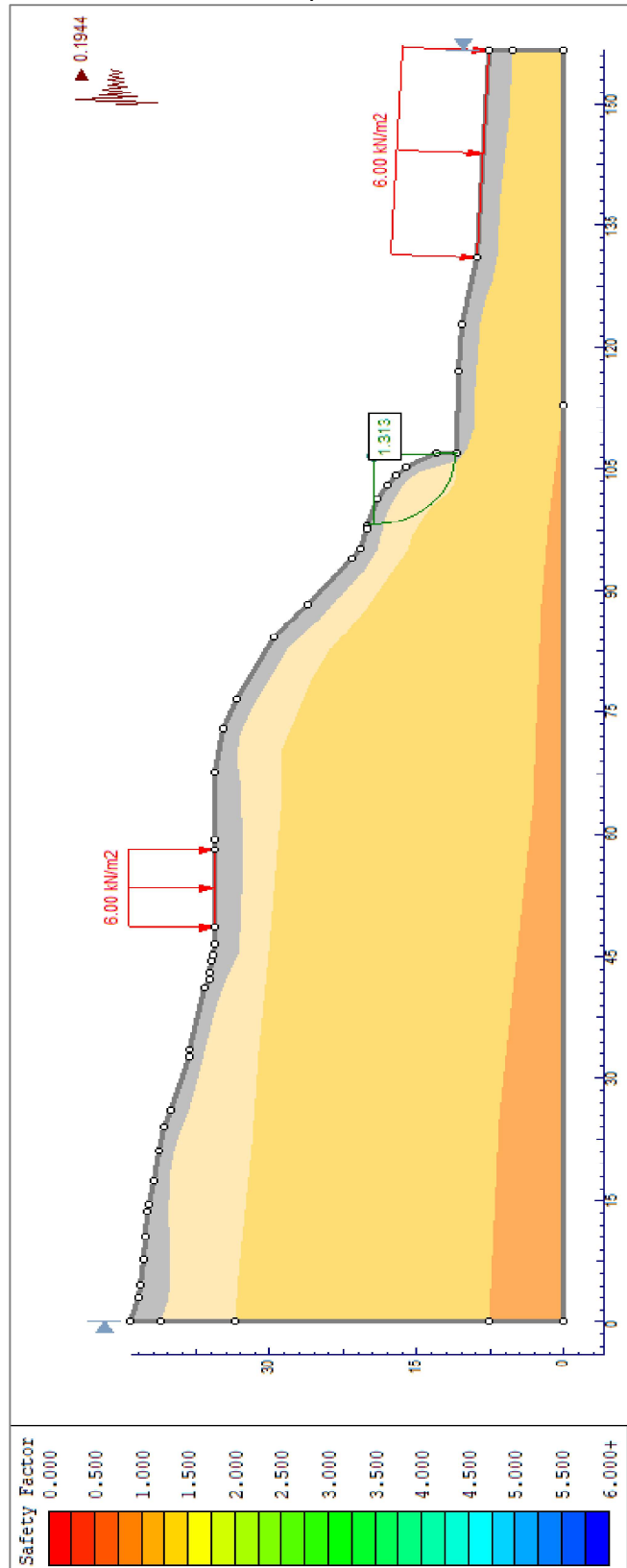
**Figura 144** Modelo sin obras condiciones estáticas - Perfil 4



**Fuente:** Consultor

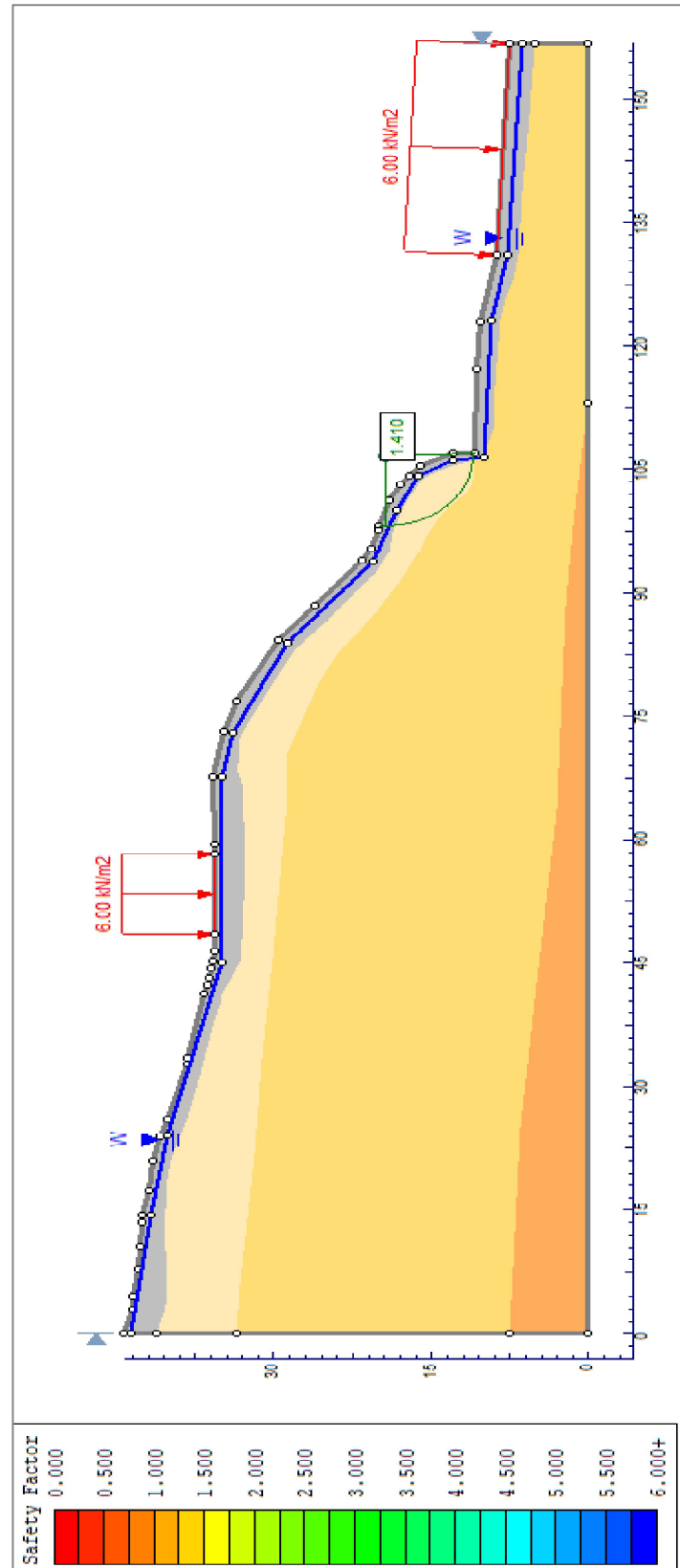


**Figura 145** Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas-Perfil 4



Fuente: Consultor

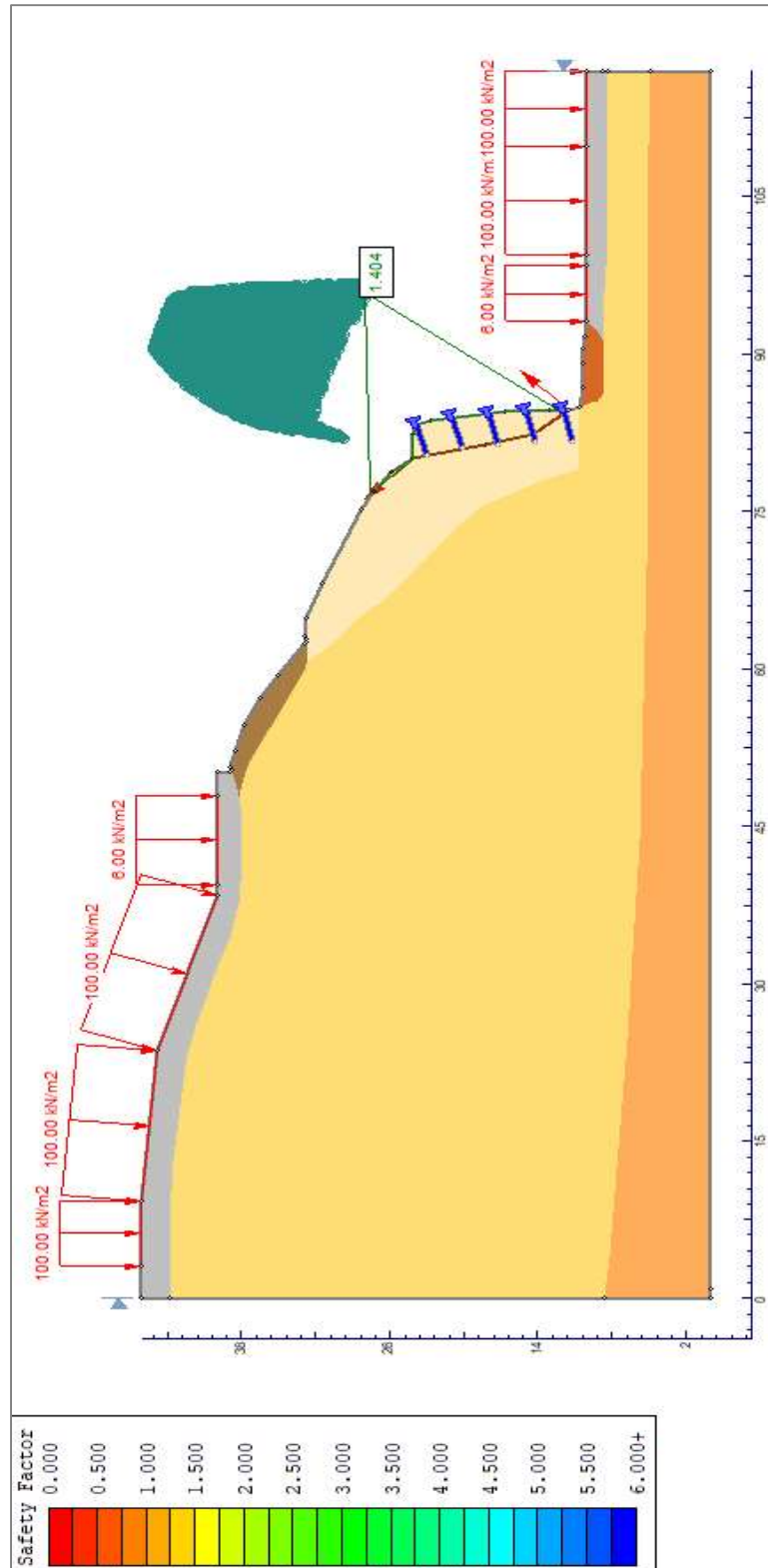
**Figura 146** Modelo sin obras condiciones saturadas - Perfil 4



Fuente: Consultor

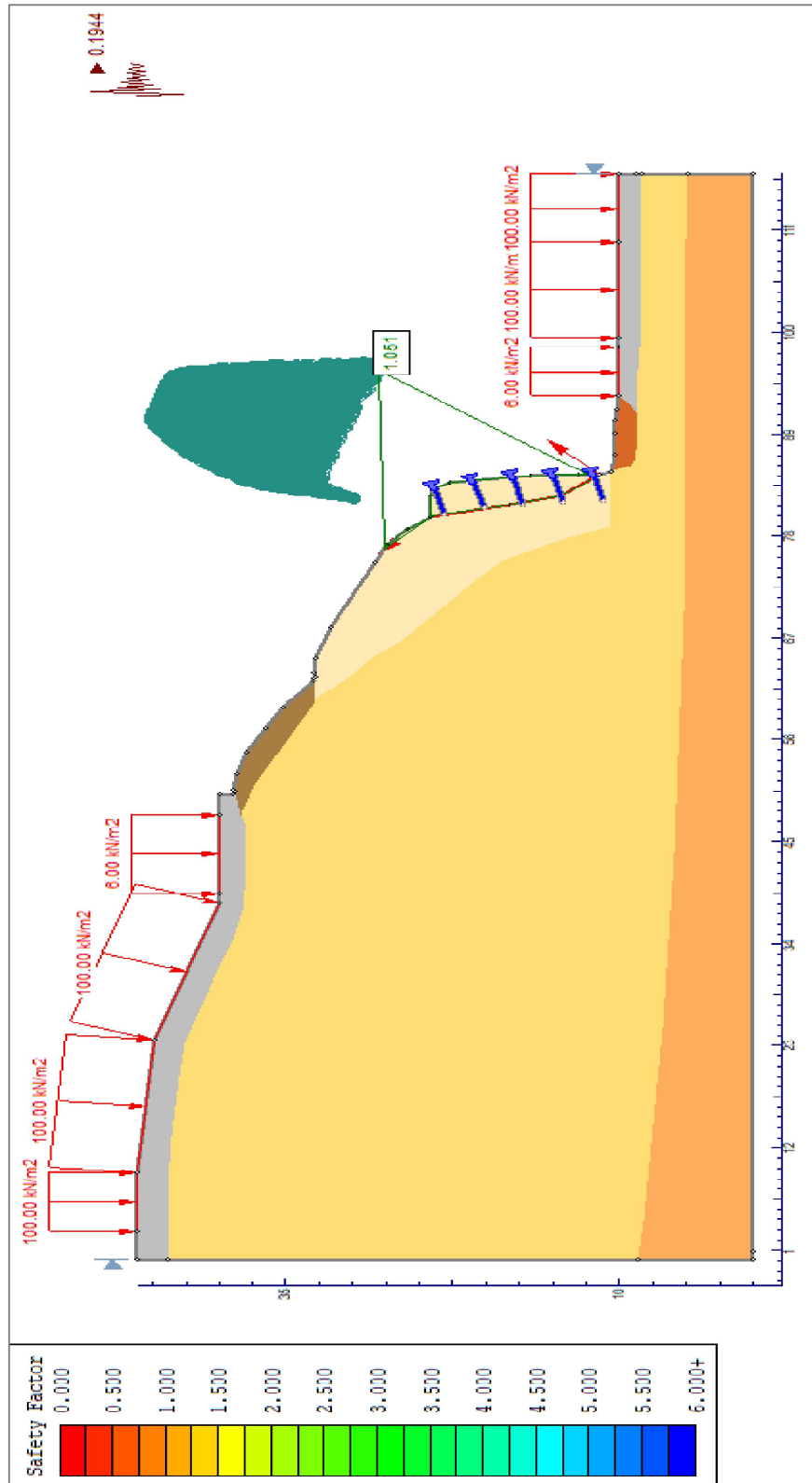
**5.6.5 PERFIL 5**

**Figura 147** Modelo sin obras condiciones estáticas - Perfil 5



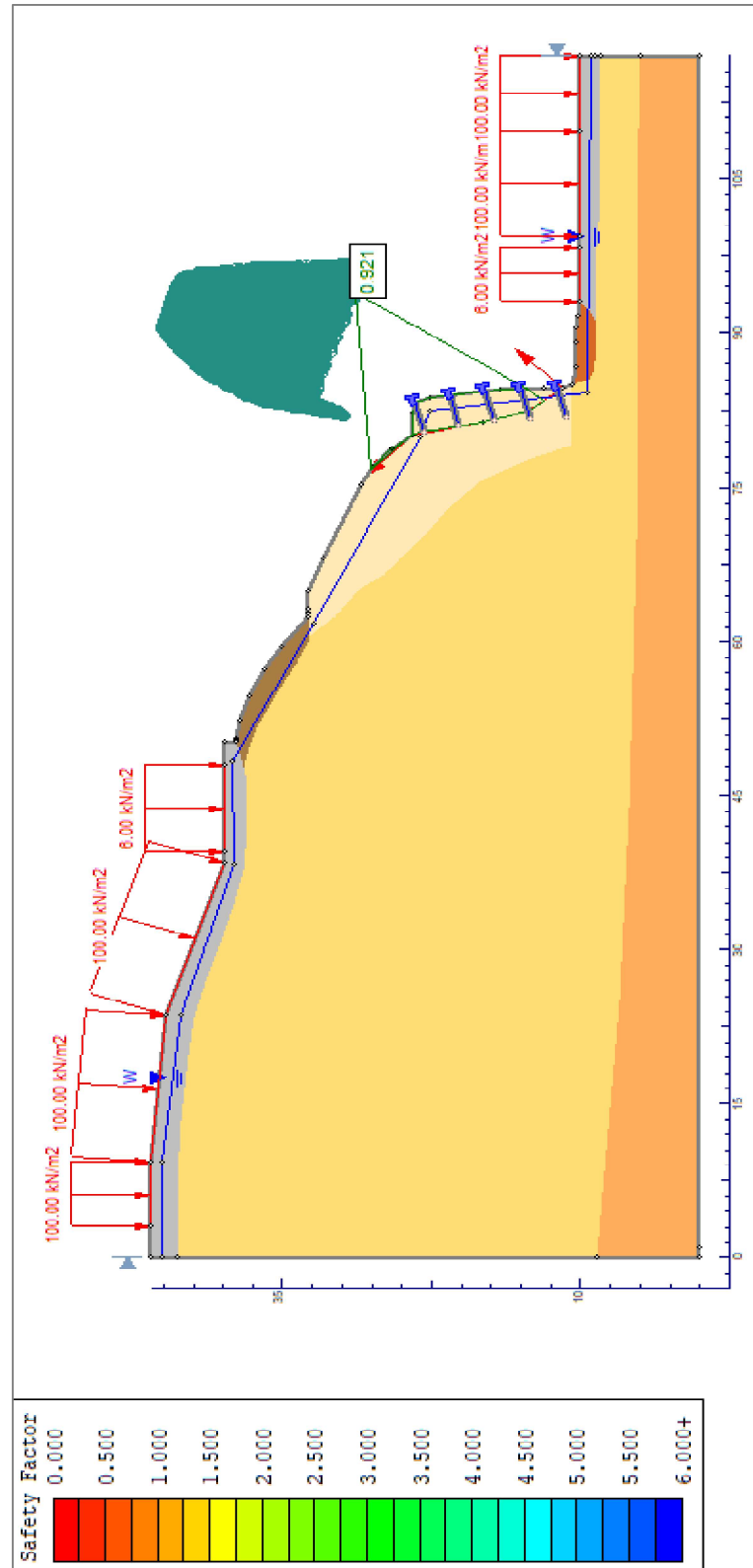
Fuente: Consultor

**Figura 148** Modelo sin obras condiciones pseudoestáticas - Perfil 5



Fuente: Consultor

**Figura 149** Modelo sin obras condiciones saturadas-Perfil 5



Fuente: Consultor

Los resultados de los factores de seguridad en el modelo matemático para las condiciones actuales del talud aplicando los métodos ya mencionados para los diferentes escenarios se presentan en la Tabla 64 **Resultados análisis de estabilidad**. Se aprecia que solo los perfiles 3, 4 y 5 según la normatividad se consideran estables en condiciones estáticas, al analizarlos bajo la presencia de factores detonantes su estabilidad se ve comprometida sobre todo en el escenario de saturación. De igual manera se identifica que para el caso de los perfiles 1 y 2 sus factores de seguridad en todas las condiciones los factores de seguridad son inferiores a los mínimos, lo cual indica inestabilidad en el talud, siendo más crítica la zona donde se localizan el perfil 2, por consiguiente, se proyecta la construcción de obras que permitan su estabilización.

**Tabla 64** Resultados análisis de estabilidad

Método/Escenario	Estático	Pseudoestático	Saturado	
<b>PERFIL 1</b>	Ordinary	0,989	0,708	0,546
	Bishop	1,122	0,918	0,453
	Janbu	1,115	0,895	0,489
	Spencer	1,163	0,972	0,584
	GLE / M -P	1,142	1,367	0,585
<b>PERFIL 2</b>	Ordinary	0,906	0,762	0,701
	Bishop	0,965	0,787	0,680
	Janbu	0,955	0,748	0,656
	Spencer	0,974	2,659	0,695
	GLE / M -P	0,966	0,848	0,710
<b>PERFIL 3</b>	Ordinary	1,624	1,204	1,162
	Bishop	1,685	1,428	0,840
	Janbu	1,704	1,211	0,107
	Spencer	1,737	1,607	0,910
	GLE / M -P	1,718	2,593	0,959
<b>PERFIL 4</b>	Ordinary	1,650	1,313	1,410
	Bishop	1,671	1,340	1,272
	Janbu	1,682	1,238	1,273
	Spencer	1,678	1,301	1,273
	GLE / M -P	1,659	1,298	1,270
<b>PERFIL 5</b>	Ordinary	1,404	1,051	0,921
	Bishop	1,423	1,148	0,458
	Janbu	1,506	1,117	0,427
	Spencer	1,759	1,225	0,741
	GLE / M -P	1,716	1,237	0,605

Fuente: Consultor

## 6. FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta que los procesos de remoción en masa en el sector obedecen a fallas de tipo Planar, en cuña y en sectores puntualizados a procesos correspondientes a caídos de roca y dada la morfología actual del talud, otro factor importante para la formulación de alternativas corresponde a las limitaciones de espacio existentes en el área, ya que en el talud superior las viviendas y la vía se encuentran muy cercanas a la corona del talud, lo que hace improcedente contar con espacios sobre el talud en las alternativas de obras, se realiza la evaluación de las alternativas de obra en base en las siguientes premisas:

De acuerdo a las consultas realizadas en las diferentes secretarías del distrito, se emiten las siguientes conclusiones del sector, importantes para el planteamiento de las alternativas y direccionamiento de las obras a proyectar:

- **SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE:** “ *Se determina que la zona objeto de la consulta no tiene afectación por la presunta actividad de extracción de minerales que se haya realizada en el pasado; por lo tanto, no requieren presentar ni implementar un Plan de Manejo, Restauración y Recuperación Ambiental – PMRRA o Plan de Restauración y Recuperación – PRR establecidos en la Resolución No. 2001 del 02 de diciembre de 2016, modificada parcialmente por la Resolución No. 1499 del 03 de agosto de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS*”. (Concepto dado mediante radicado 2022EE55408).
- **IDU:** “*Una vez consultada la información de seguimiento de obras y proyectos sobre la malla vial y el espacio público en el SIGIDU (Sistema de Información Geográfica del IDU). No se encontró ninguna obra y/o proyecto en ejecución o ejecutado por parte del Instituto de Desarrollo Urbano*”. (Concepto dado mediante radicado 20222350518131).
- **SECRETARIA DISTRITAL DE HABITAT:** “*Realizado el cruce de información, se encuentra que la ubicación detallada en la petición no presenta intervenciones puntuales en la zona para la vigencia 2020-2024, y, por tanto, no se tienen planeadas realizar acciones en el marco del programa de mejoramiento integral*.” (Concepto dado mediante radicado 2-2022-15267)

Teniendo en cuenta lo anterior, el distrito a la fecha no tiene proyectos de infraestructura adicionales proyectados en el área a intervenir, razón por la cual es posible centrar las alternativas proyectadas al eje fundamental de la presente consultoría, correspondiente a la mitigación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, para esto, se identifica inicialmente que uno de los factores condicionantes que afectan directamente la estabilidad del sector Jerusalén Canteras, corresponde a la deficiencia de infraestructura de drenaje superficial en la zona, se hace notorio que en el sector se requiere aumentar las obras

hidráulicas para el manejo de escorrentía superficial y manejo de la infiltración en la zona, es por esto que todas las alternativas de obra a proyectar coinciden en la propuesta de obras hidráulicas

### 6.1 OBRAS HIDRÁULICAS PROYECTADAS:

A continuación, se describen las obras hidráulicas proyectadas para el sector, las cuales se consideran necesarias para la adecuada mitigación de los procesos de remoción en masa identificados:

- Construcción de filtro francés en la corona superior del talud, a lo largo de toda el área en estudio.
- Construcción de filtro francés en el pie del talud, a lo largo de toda el área en estudio.
- Construcción de sumideros transversales en vías localizadas sobre el talud superior del área en estudio.
- Construcción y reparación de cunetas en la corona y en el pie del talud.
- Construcción de drenes de penetración en el talud con diámetro de 2", los cuales descolarán en los canales a proyectar en el pie del talud.

Las obras hidráulicas recomendadas previamente garantizan el manejo adecuado de la escorrentía superficial, es por esto que se hace necesaria la construcción de las obras mencionadas indiferente a la alternativa de mitigación que se tome.

### 6.2 OBRAS ADICIONALES:

Adicional a las obras hidráulicas, las cuales son comunes para todas las alternativas de mitigación, las obras adicionales a presentar a continuación también son comunes para las diferentes alternativas de mitigación a presentar; estas obras adicionales se describen a continuación:

- Construcción de muro pantalla en la zona en voladizo: En la zona del talud superior, donde actualmente se ha presentado la pérdida de la vía debido a la inestabilidad en el talud, se hace necesario dar un tratamiento especial en este sector, con el fin de reconformar la vía y el andén del talud superior, este sector tiene una longitud de 20.0 m, en él se propone la construcción de un muro pantalla con dos filas de anclajes de 30.0 m y un tensionamiento de 30 Ton, este se propone cimentar mediante micro pilotes con longitud de 15.0 m, la altura total de la pantalla será de 4.5 m de altura, en la siguiente imagen se presenta la zona donde se proyecta la construcción de la obra especial para la recuperación de la vía.



Figura 150 Planta de obras proyectadas



Fuente: Consultor

- Demolición del Colegio y Jardín Infantil: Teniendo en cuenta el uso del suelo del área en estudio y los antecedentes en referencia al riesgo del sector, pese a que la remoción en masa será mitigada con las obras proyectadas, debido al tipo de uso de suelo que debe ser el sector correspondiente a uso de conservación, se hace necesario demoler las instituciones educativas existentes y en este espacio realizar la construcción de espacios para el aprovechamiento de la comunidad.

### 6.3 OBRAS DE MITIGACIÓN EN EL TALUD EXPUESTO:

Para el sector en estudio se analizan 4 alternativas de obras de mitigación, las cuales se describirán a continuación.

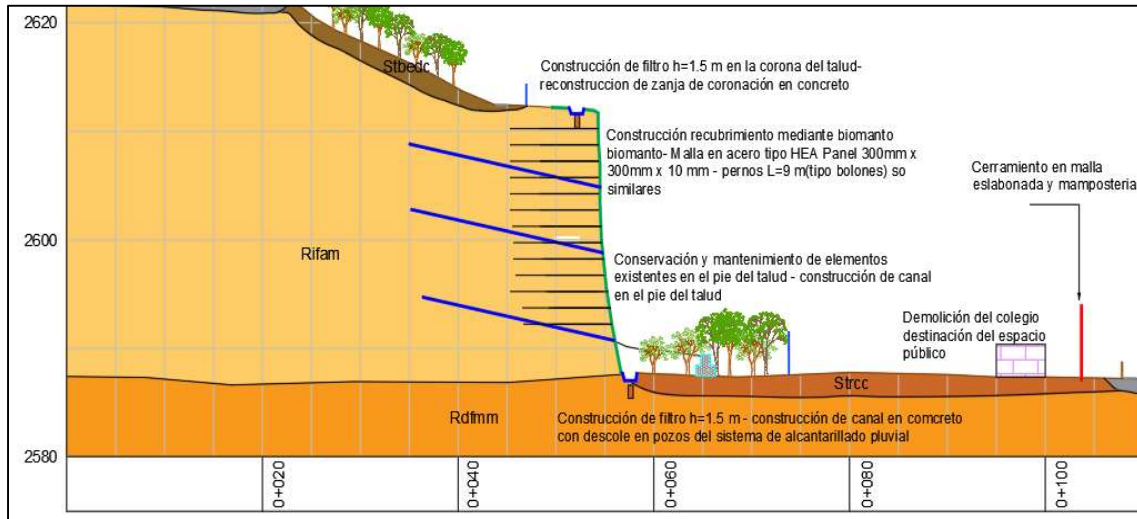
#### 6.3.1 Alternativa 1. Protección del talud expuesto mediante biomanto con malla de triple torsión y pernos – Conservación y mantenimiento de elementos existentes en el pie del talud.

Teniendo en cuenta los antecedentes de la zona y los resultados de las obras que se han proyectado previamente en el sector Jerusalén Canteras, la alternativa 1, presenta la opción recubrir el talud actualmente descubierto empleando una malla con biomanto de triple torsión (Malla en acero tipo HEA Panel 300mm x 300mm x 10 mm) y pernos tipo bolones con longitud de 9.0 m.

En esta alternativa, se contempla realizar la remoción del deslizamiento actualmente localizado en el pie del talud, la reparación de los gaviones existentes en la zona donde estos se encuentran fallados, la reconstrucción de la falla de contención existente en las zonas donde está ya ha fallado y el recubrimiento de los gaviones mediante concreto lanzado.

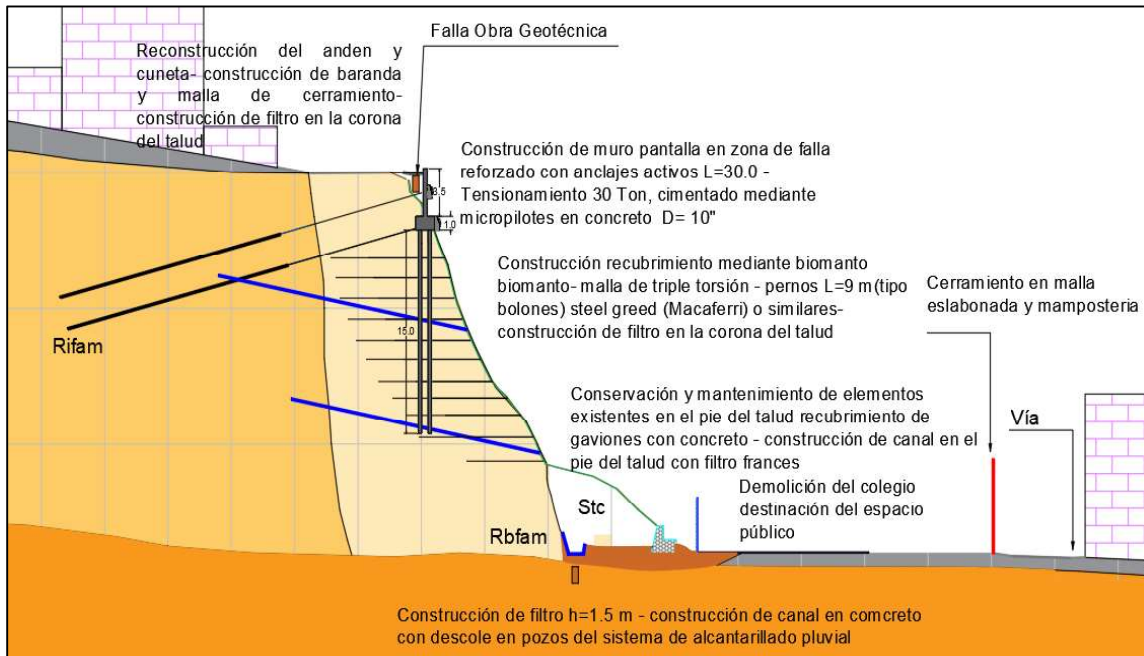
En la siguiente figura se presenta el esquema de las obras proyectadas en la alternativa No. 1

**Figura 151** Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 1



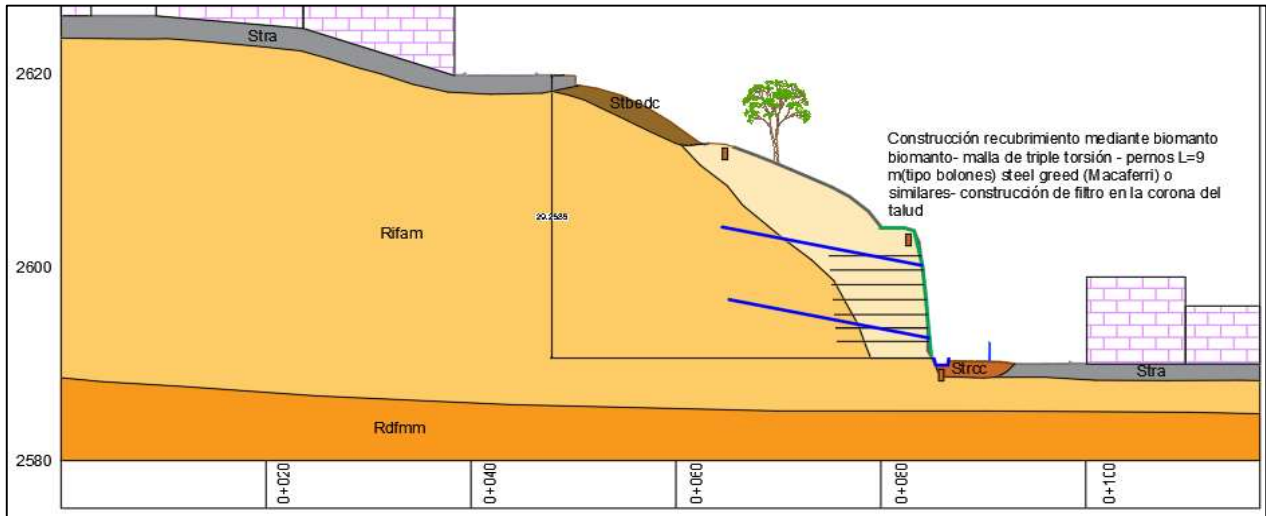
Fuente: Consultor

**Figura 152** Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 1



Fuente: Consultor

**Figura 153** Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 1

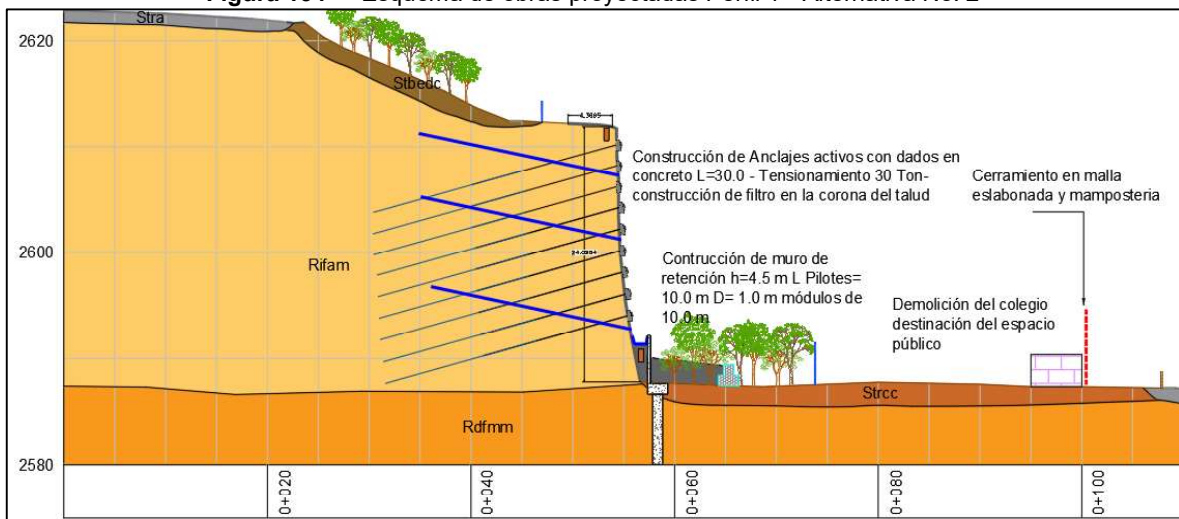


Fuente: Consultor

**6.3.2 Alternativa 2. Construcción de Muro Patero y protección de caídos, en pilotes con voladizo en concreto y construcción de anclajes activos con dados, recubrimiento del talud en concreto lanzado.**

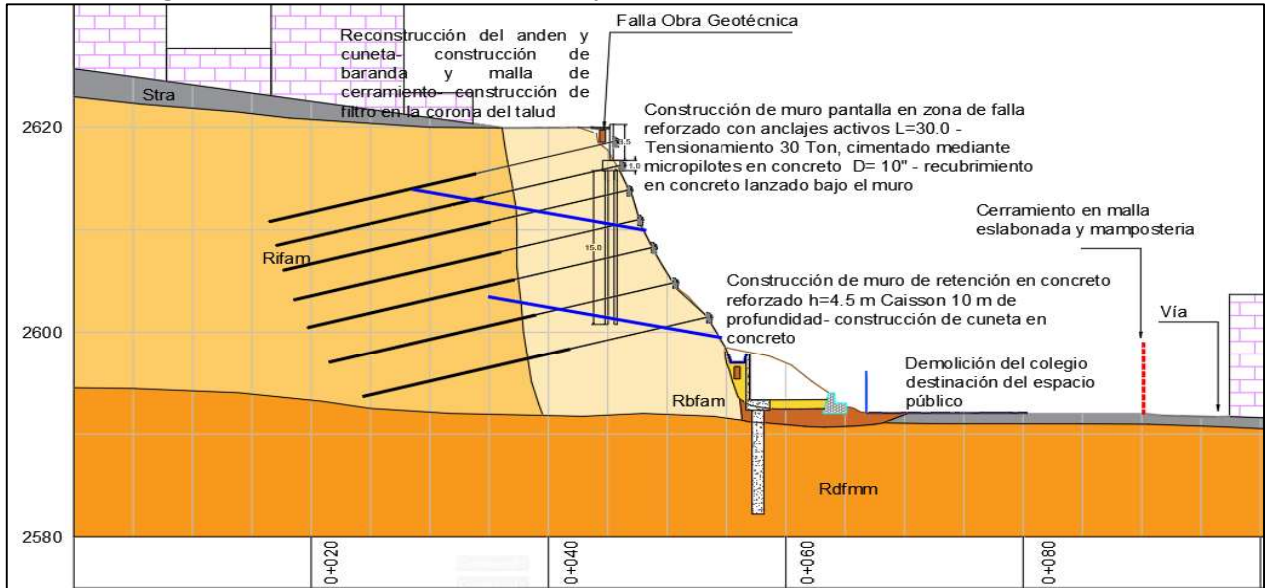
La presente alternativa contempla la construcción de anclajes activos con longitud de 30.0 metros distribuidos sobre el talud a 3.0 m de distancia horizontal y 2.5 m de distancia vertical, se propone que los anclajes cuenten con dados con una base y altura igual a 1.2 m, esto con el fin de aportar mayor rigidez a la superficie del talud, con el fin de controlar los procesos de caídos, se propone demoler el muro en gavión y la malla existente en el pie del talud y construir un muro en concreto reforzado rígido con altura total de 5.5 m entre el vástago y la zarpa, se propone cimentar este muro mediante caissons con diámetro igual a 1.0 m y una longitud de 10.0 m, en las siguientes figuras se presentan los esquemas de las obras proyectadas para la alternativa 2.

**Figura 154** Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 2



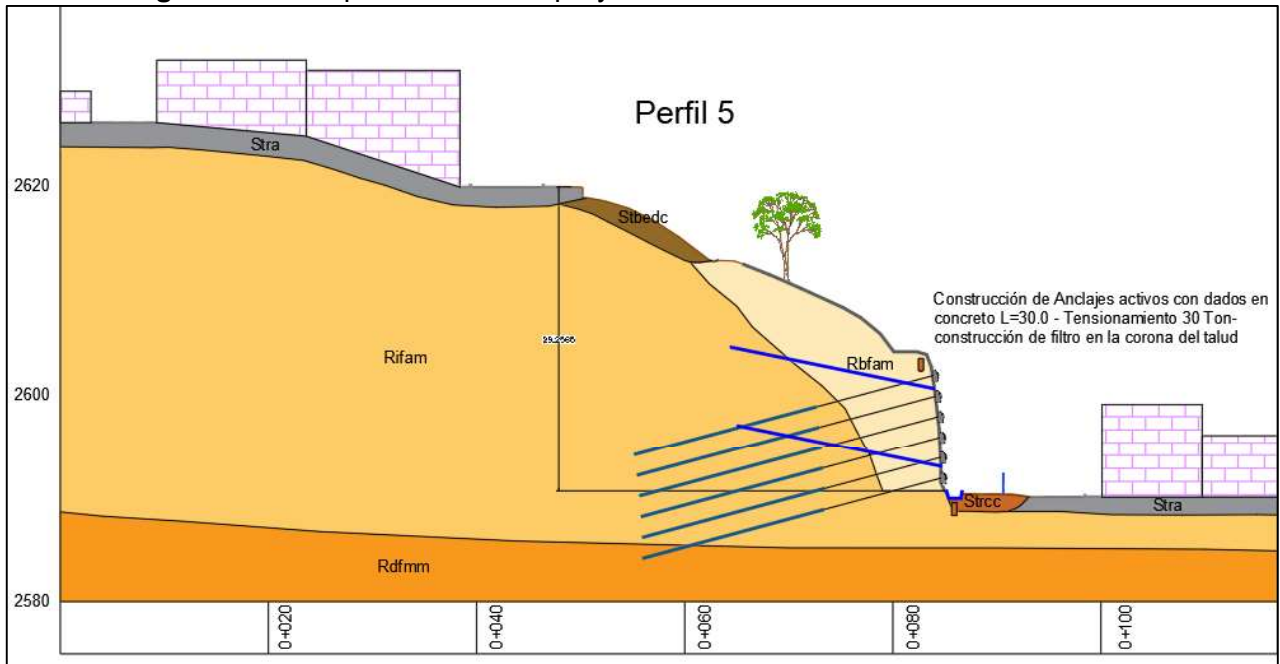
Fuente: Consultor

**Figura 155** Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 2



Fuente: Consultor

**Figura 156** Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 2



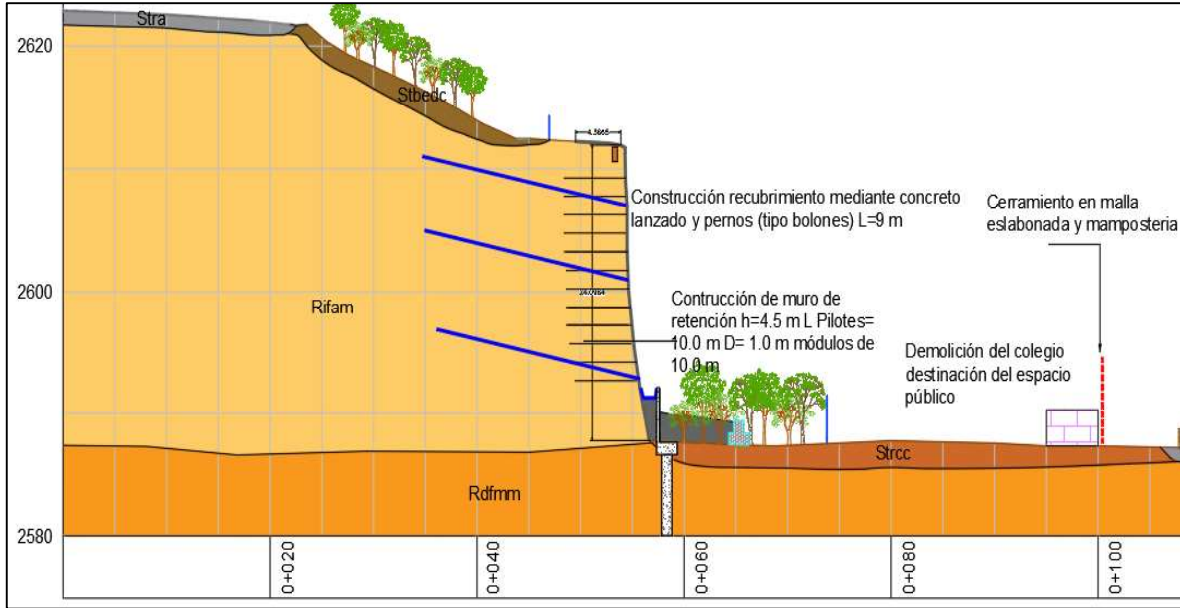
Fuente: Consultor

**6.3.3 Alternativa 3. Construcción de Muro Patero y protección de caídos, construcción de anclajes pasivos tipo bulones con recubrimiento en concreto lanzado.**

La alternativa No. 3 corresponde al tratamiento del talud mediante recubrimiento en concreto lanzado con espesor máximo de 10 cm, se propone reforzar el talud mediante la

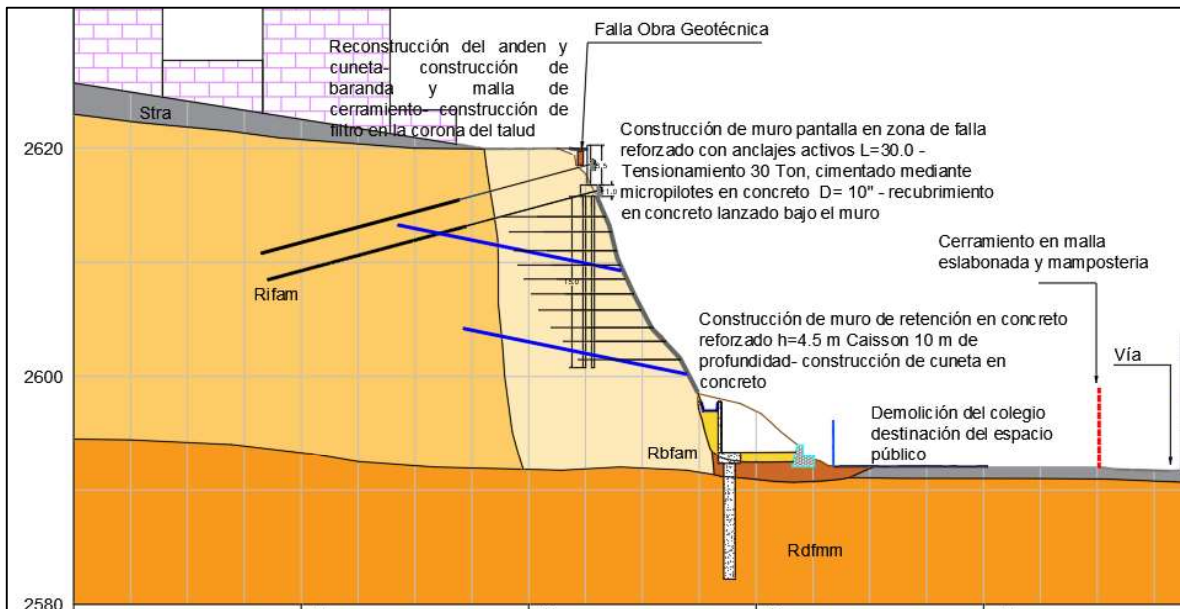
construcción de anclajes pasivos tipo bolones con longitud igual a 9.0 m espaciados horizontal y verticalmente cada 2.0 m con disposición a tres bolillos, en la zona inferior del talud, se propone la construcción de un muro de retención de caídos tal como se propuso en la alternativa No. 2, en la siguiente figura se presenta el esquema de obras para la alternativa No. 3

**Figura 157** Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 3



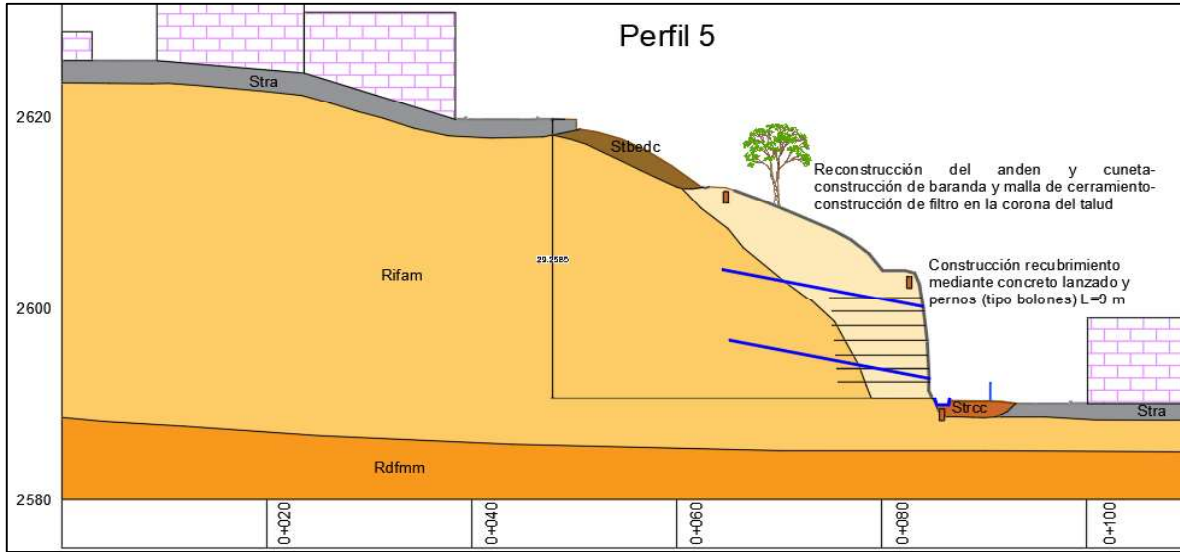
Fuente: Consultor

**Figura 158** Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 3



Fuente: Consultor

**Figura 159** Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 3

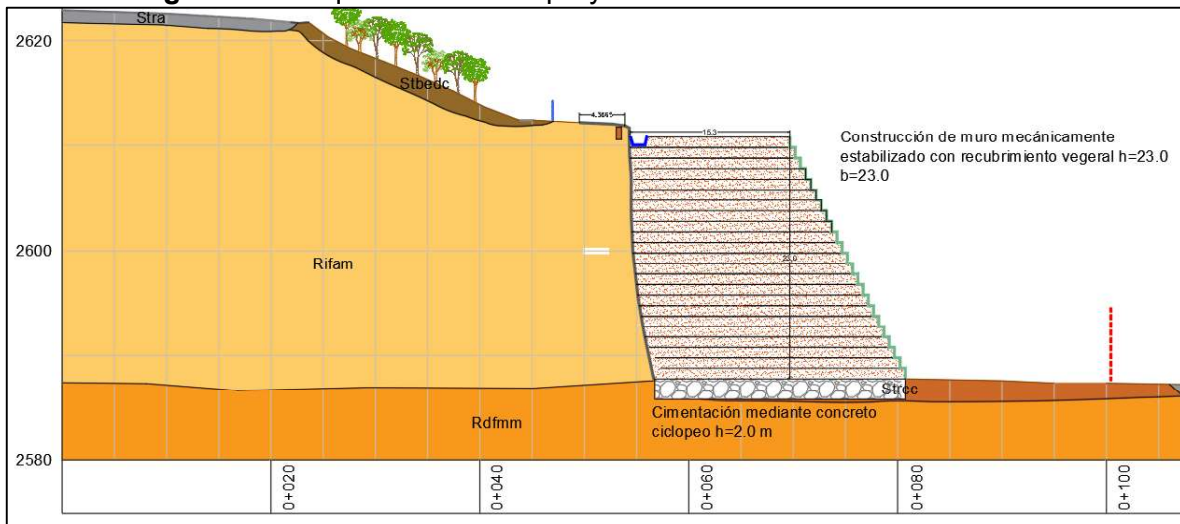


Fuente: Consultor

### 6.3.4 Alternativa 4. Construcción de muro mecánicamente estabilizado

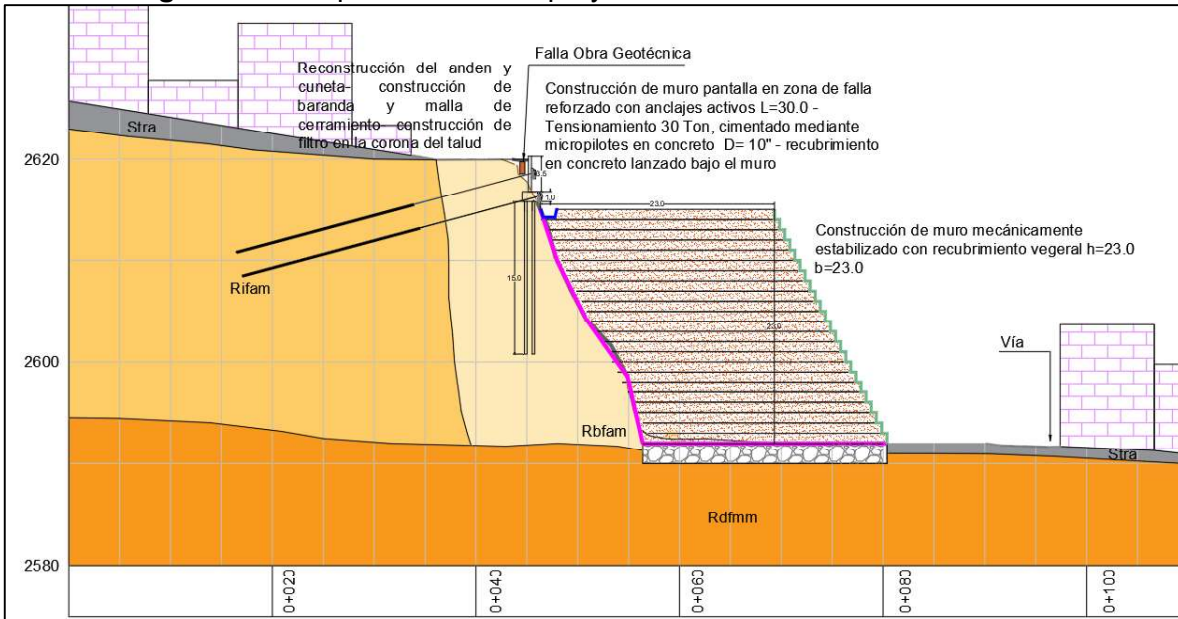
Como cuarta alternativa se propone la construcción de un muro mecánicamente estabilizado, con altura máxima de 23.0 m, este se propone con recubrimiento en biomanto y siembra de césped, para la construcción del muro mecánicamente estabilizado se requiere el mejoramiento de la base del mismo mediante la construcción de concreto ciclópeo con 2 m de altura así como la construcción de filtros adicionales en la base del muro y en el contacto entre el muro y el terreno natural, en las siguientes figuras se presentan los esquemas de la alternativa planteada, en esta alternativa se estima la movilización de 81.000 m<sup>3</sup>.

**Figura 160** Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 4



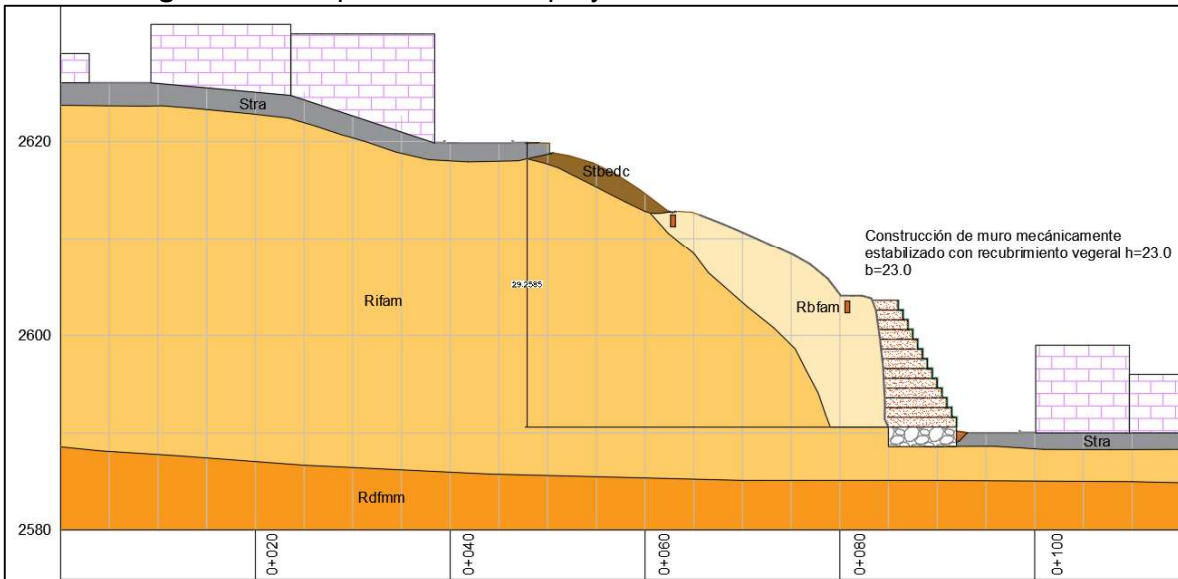
Fuente: Consultor

**Figura 161** Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 4



Fuente: Consultor

**Figura 162** Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 4



Fuente: Consultor

### 6.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS PROPUESTAS

Con el fin de verificarla viabilidad técnica de las obras proyectadas, se realiza el análisis de estabilidad del talud en estudio con la inclusión de las mismas.

Se procede a evaluar la estabilidad con las obras propuestas del sector en estudio utilizando métodos determinísticos, se tiene en cuenta el cálculo de los factores de seguridad mediante el método de equilibrio límite, utilizando las propiedades geotécnicas de diseño presentadas en el capítulo de diagnóstico geotécnico.

De acuerdo con los parámetros establecidos en la NSR-10, el factor de seguridad aceptable para garantizar estabilidad en un talud corresponde a las siguientes magnitudes: mayor o igual a 1.5 en condiciones estáticas, mayor o igual a 1.2 en condiciones pseudoestáticas y mayor o igual a 1.05 en condiciones saturadas. El cálculo del factor de seguridad requerido para el análisis se desarrolló empleando las teorías propuestas por Fellenius, Bishop, Janbú, Morgenstern-Price y Spencer.

El análisis de estabilidad se realizó para cada uno de los cinco perfiles críticos del proyecto, evaluando tres escenarios: condiciones estáticas, condiciones pseudoestáticas y condiciones saturadas del terreno. En el primer caso se consideró el nivel del terreno actual, con sobrecargas producidas por vías y viviendas, en condiciones actuales sin factores detonantes, para el análisis pseudoestático se aplicó una fuerza sísmica horizontal ( $K_{st} = 0.1944$ ) y en el último escenario se simuló condiciones saturadas del talud agregando el nivel freático aproximadamente un metro bajo la superficie del terreno.

Para la realización de los modelos se tuvo en cuenta una falla de tipo planar y cuña sobre el macizo rocoso, a excepción del perfil 4 el cual se modeló con una superficie de falla circular debido al comportamiento esperado por parte de un relleno antrópico y una roca blanda fracturada. Los parámetros de resistencia se asignaron utilizando el modelo de Mohr-Coulomb (cohesión y ángulo de fricción) para los suelos y la roca blanda fracturada, y el modelo de Hoek and Brown para las unidades de roca fracturada (dura e intermedia).

A continuación, se presenta el análisis en cada uno de los escenarios de estudio (estático, pseudoestático y saturado), para los cinco perfiles críticos del talud con sus respectivas obras de estabilización.

#### **6.4.1 Análisis de estabilidad alternativa 1**

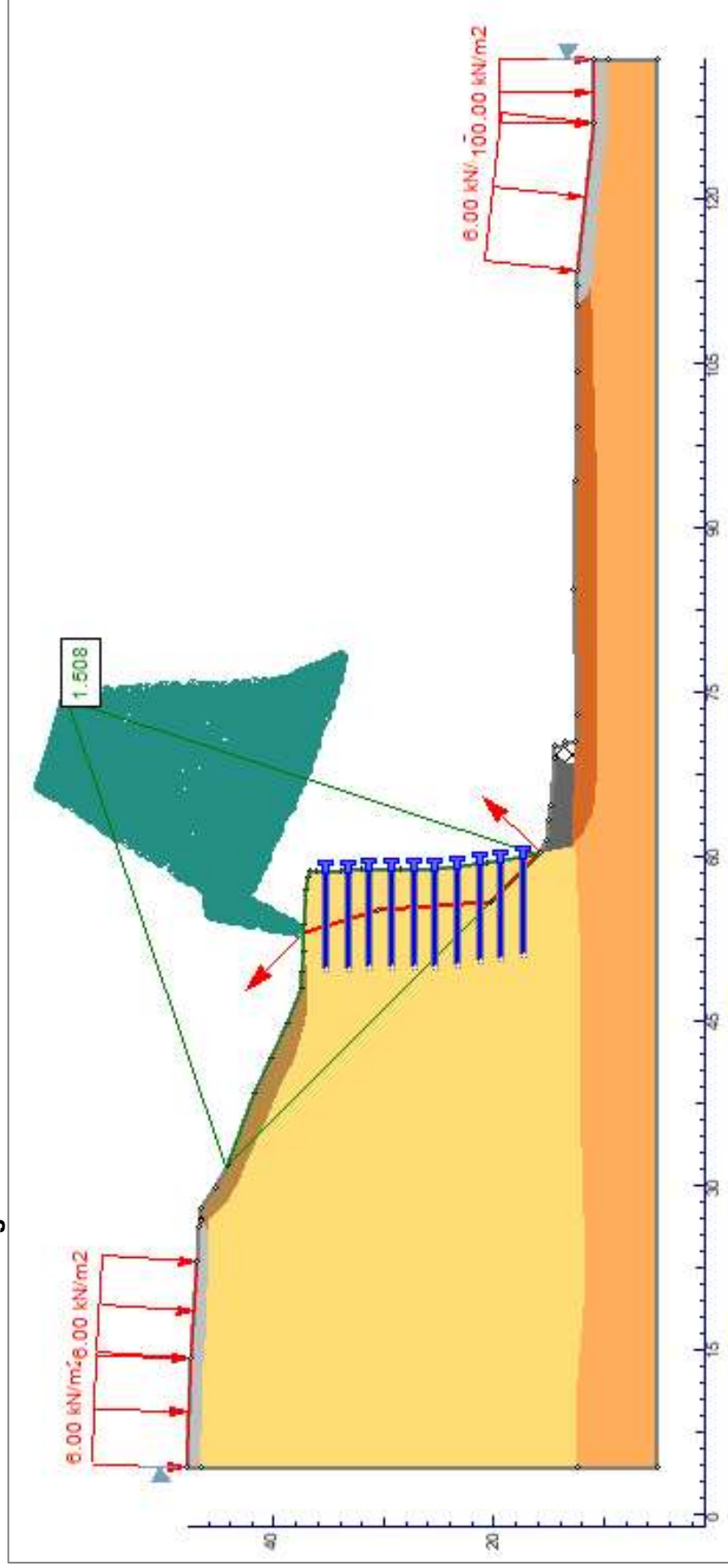
A continuación se presenta el análisis de estabilidad incluyendo las obras proyectadas en la alternativa No 1 evaluadas para cada uno de los perfiles definidos dentro del diagnóstico geotécnico

##### **6.4.1.1 PERFIL 1**

En el perfil No. 1 se realiza el análisis con obras teniendo en cuenta la superficie de falla analizada correspondiente a una superficie de tipo planar, la evaluación se desarrolló analizando el talud en condiciones futuras ante eventos de lluvia y sismo

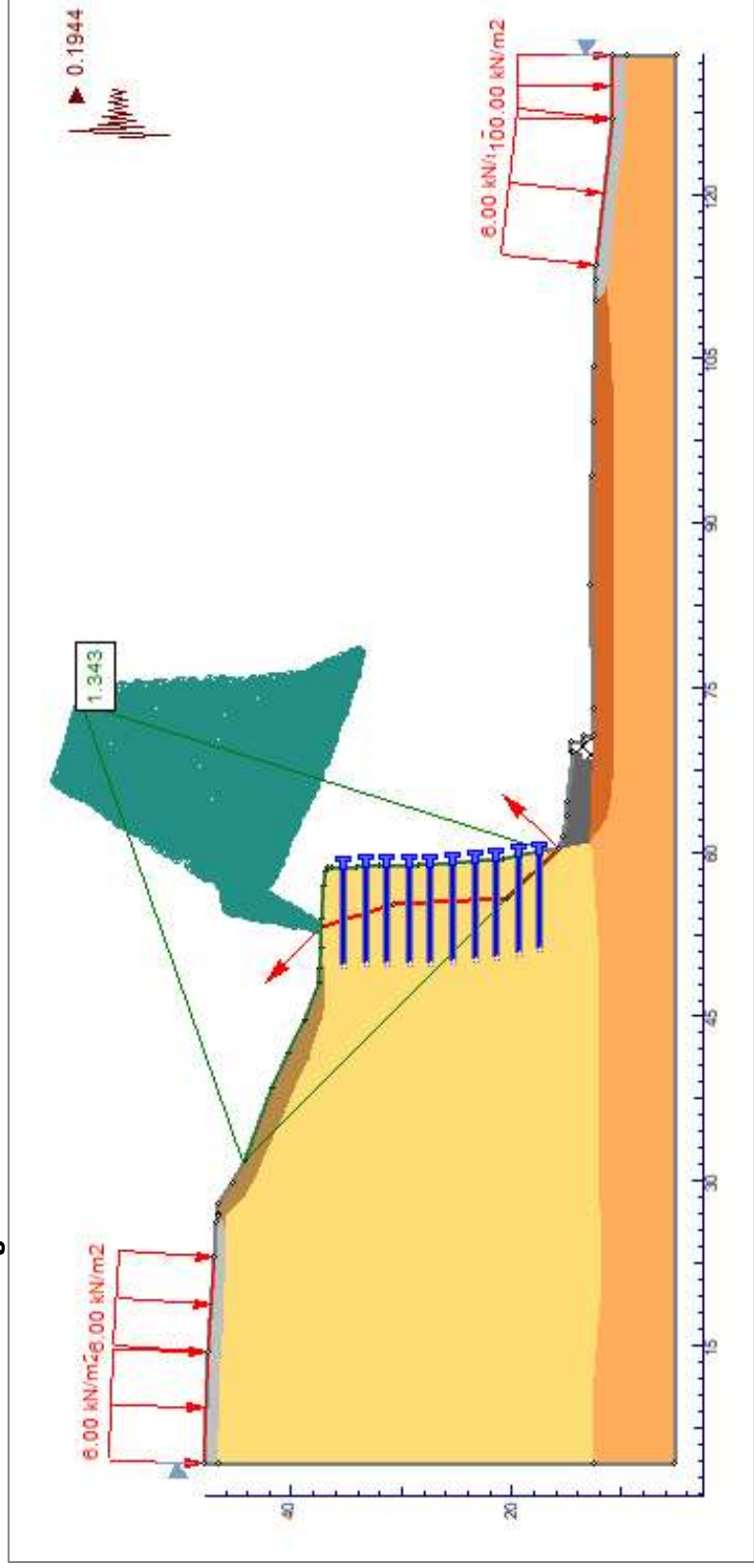


**Figura 163** Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 1 – Alternativa 1



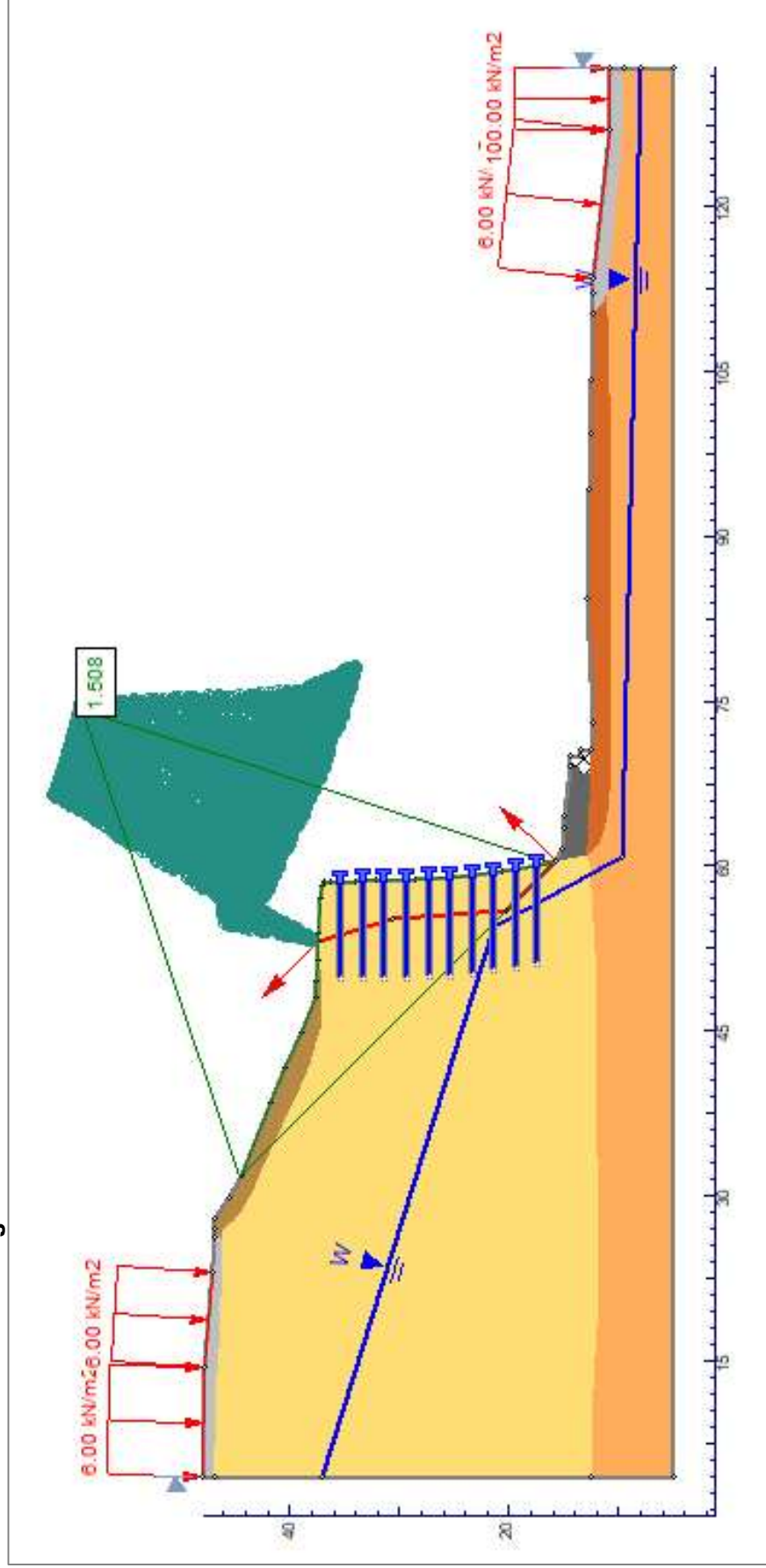
Fuente: Consultor

**Figura 164** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas – Perfil 1 – Alternativa 1



Fuente: Consultor

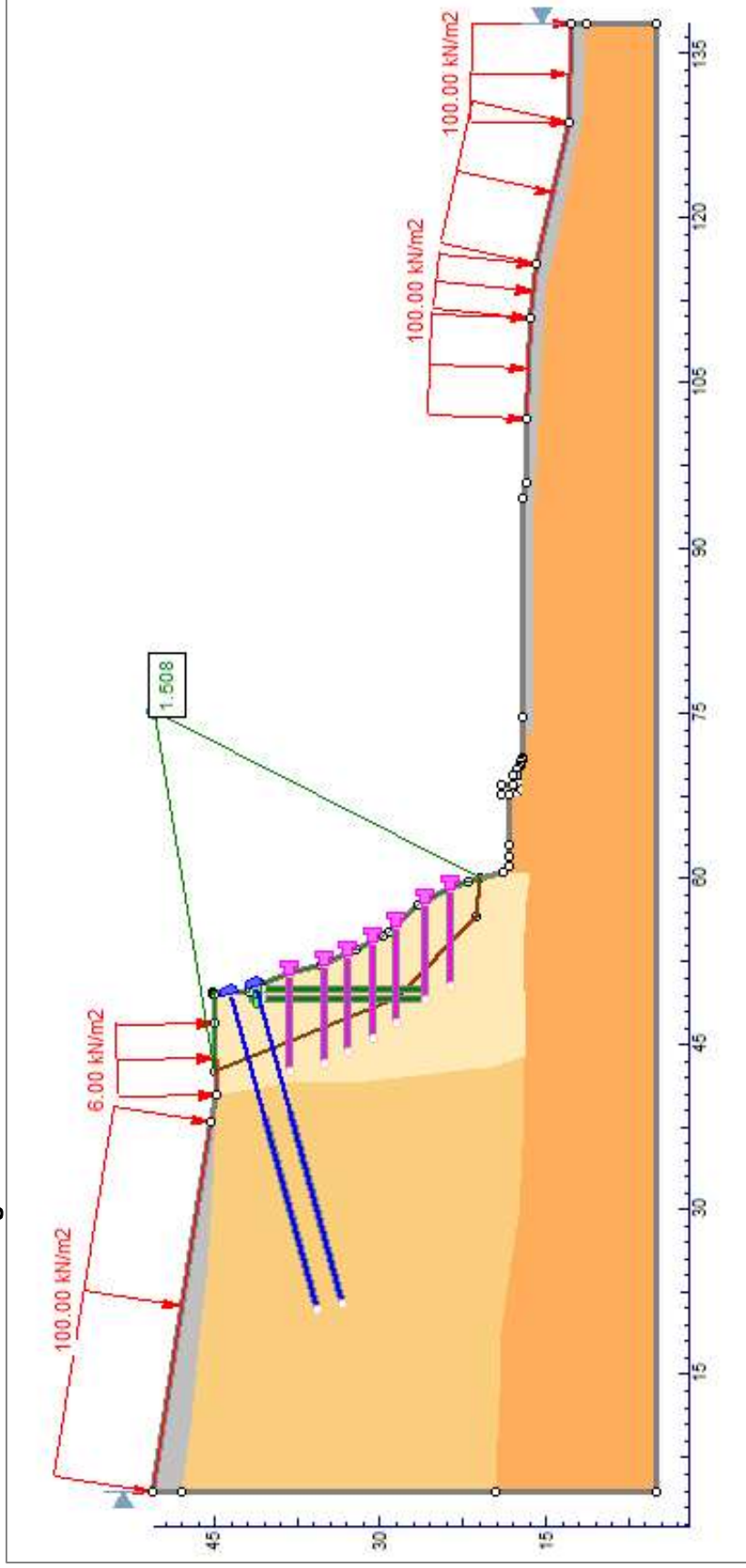
**Figura 165** Modelo con obras en condiciones Saturadas – Perfil – Alternativa 1



Fuente: Consultor

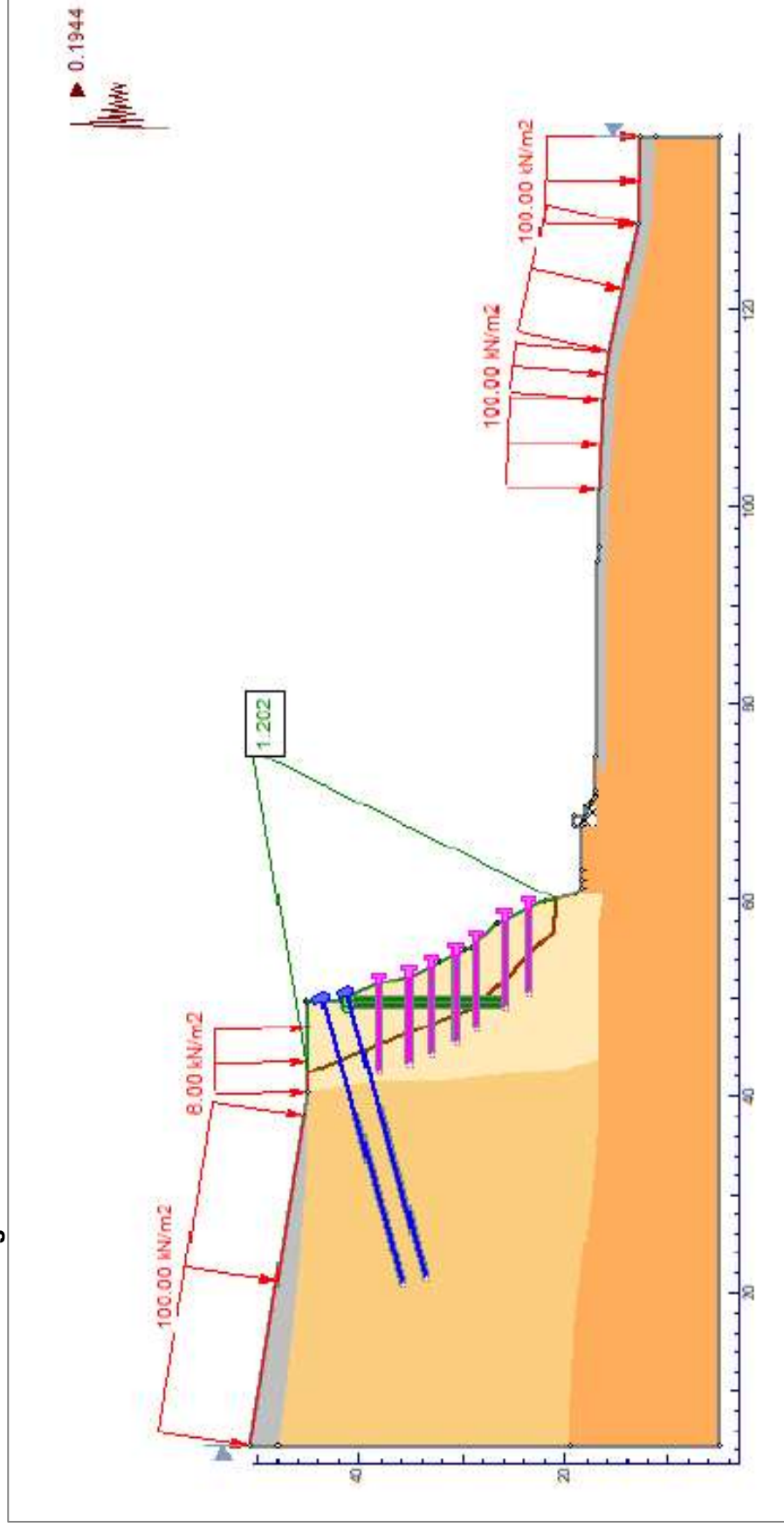
### 6.4.1.2 PERFIL 2

Figura 166 Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 2 – Alternativa 1



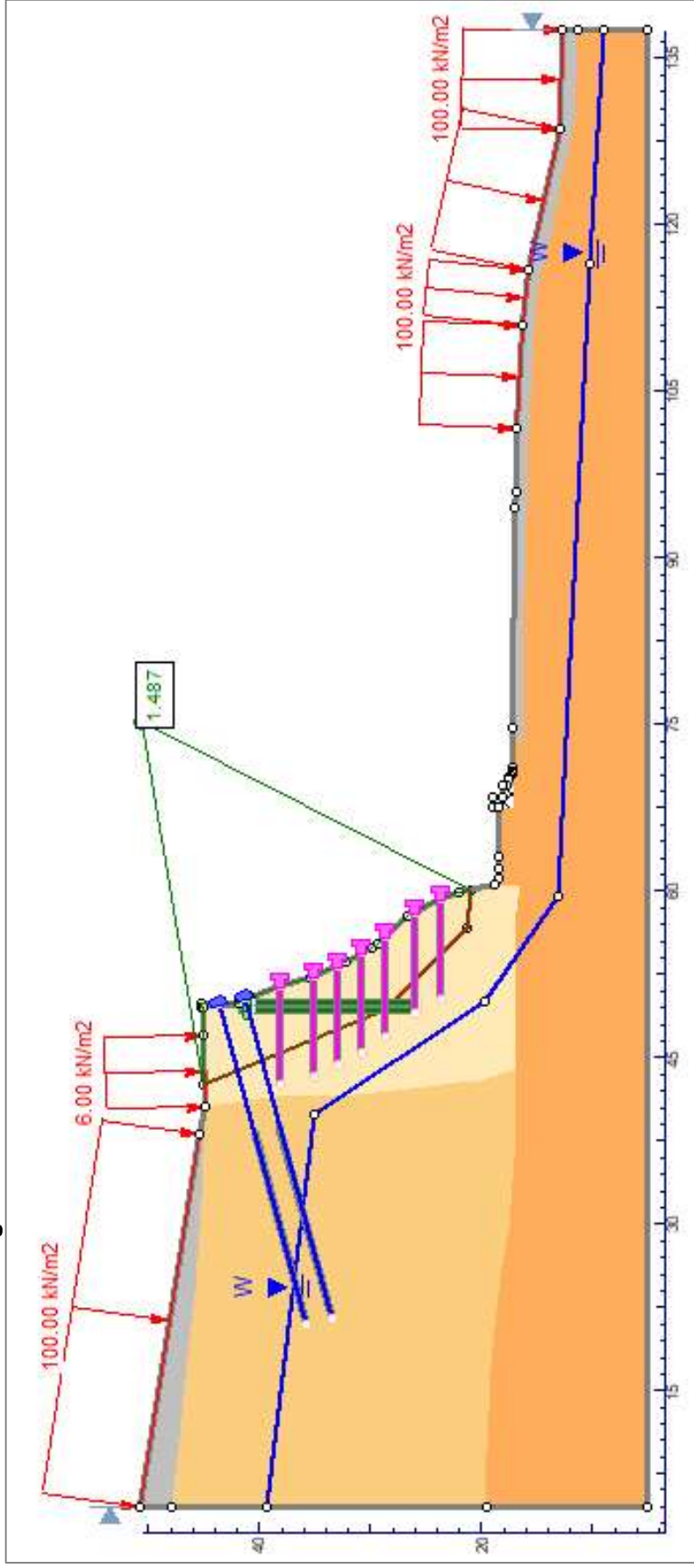
Fuente: Consultor

**Figura 167** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 – Alternativa 1



Fuente: Consultor

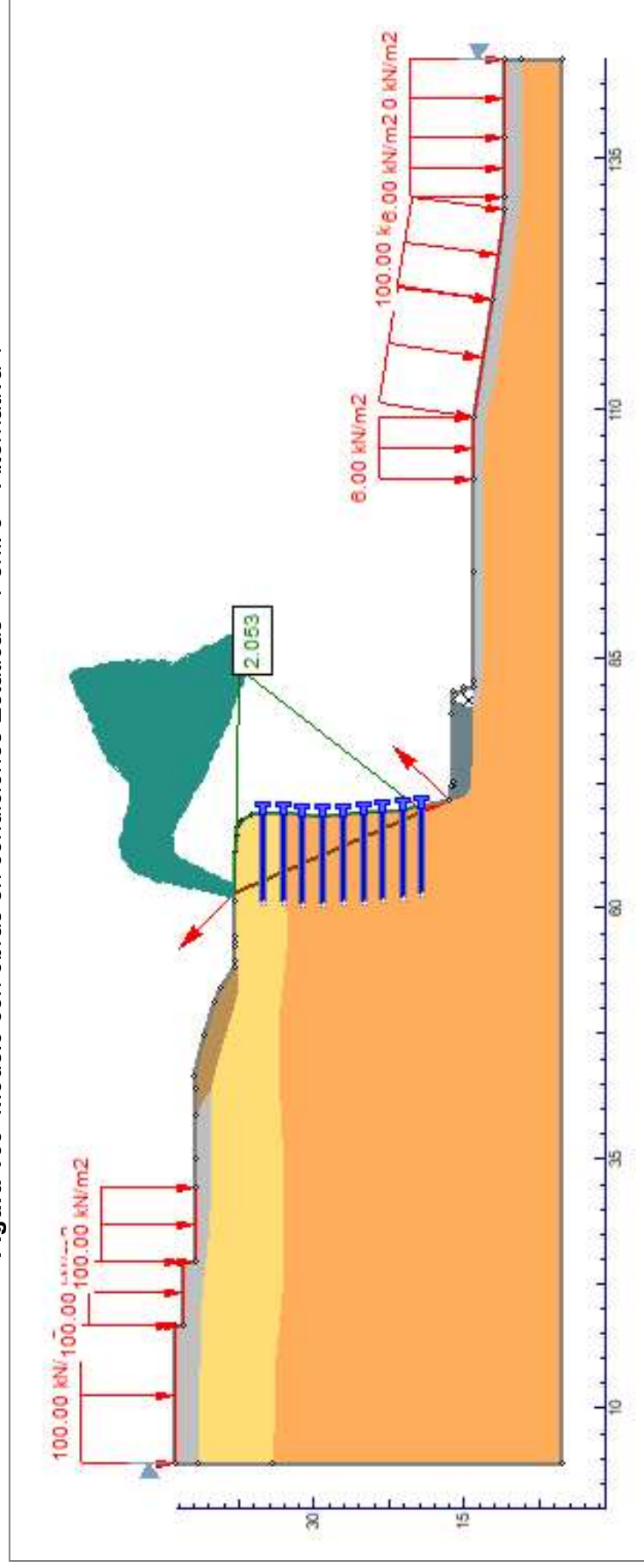
Figura 168 Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 2 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

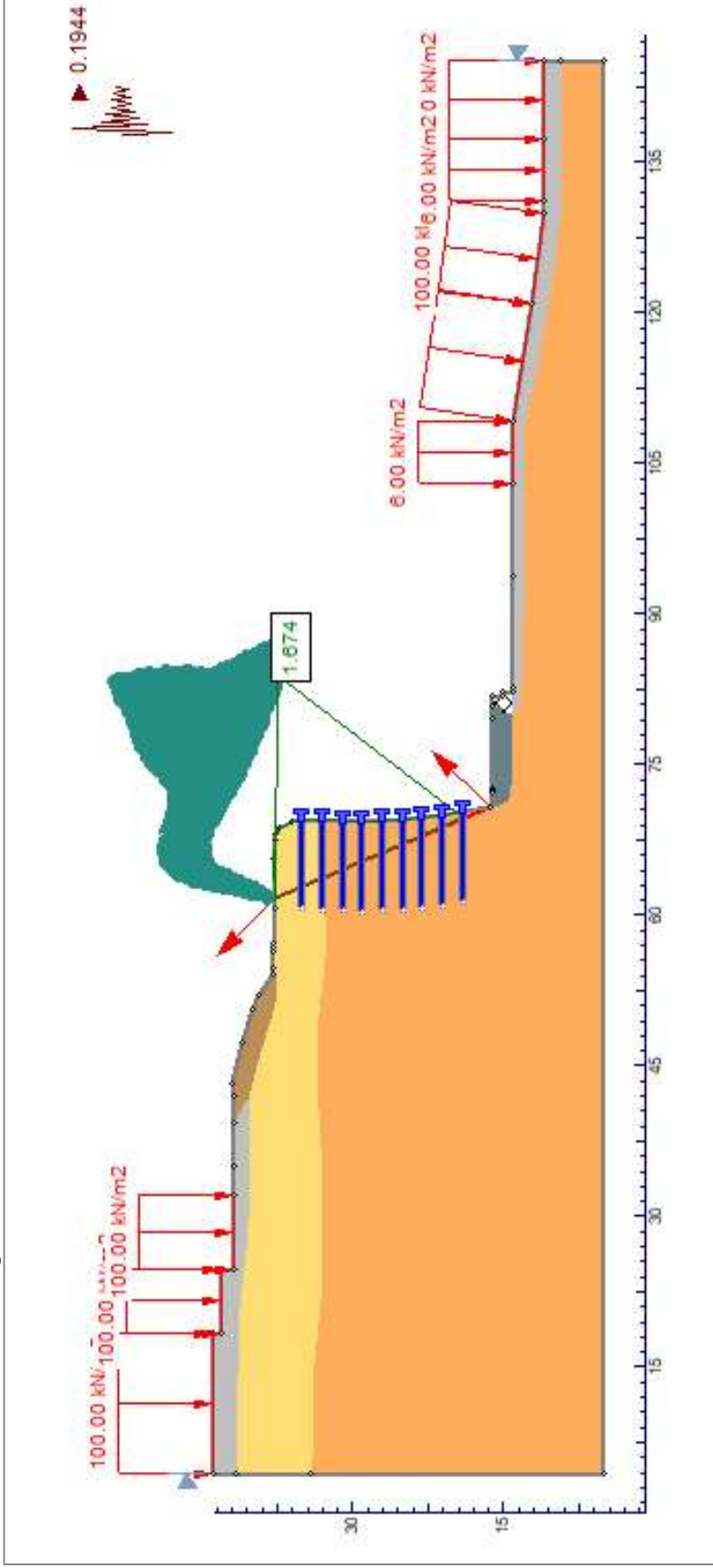
### 6.4.1.3 PERFIL 3

Figura 169 Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 3 – Alternativa 1



Fuente: Consultor

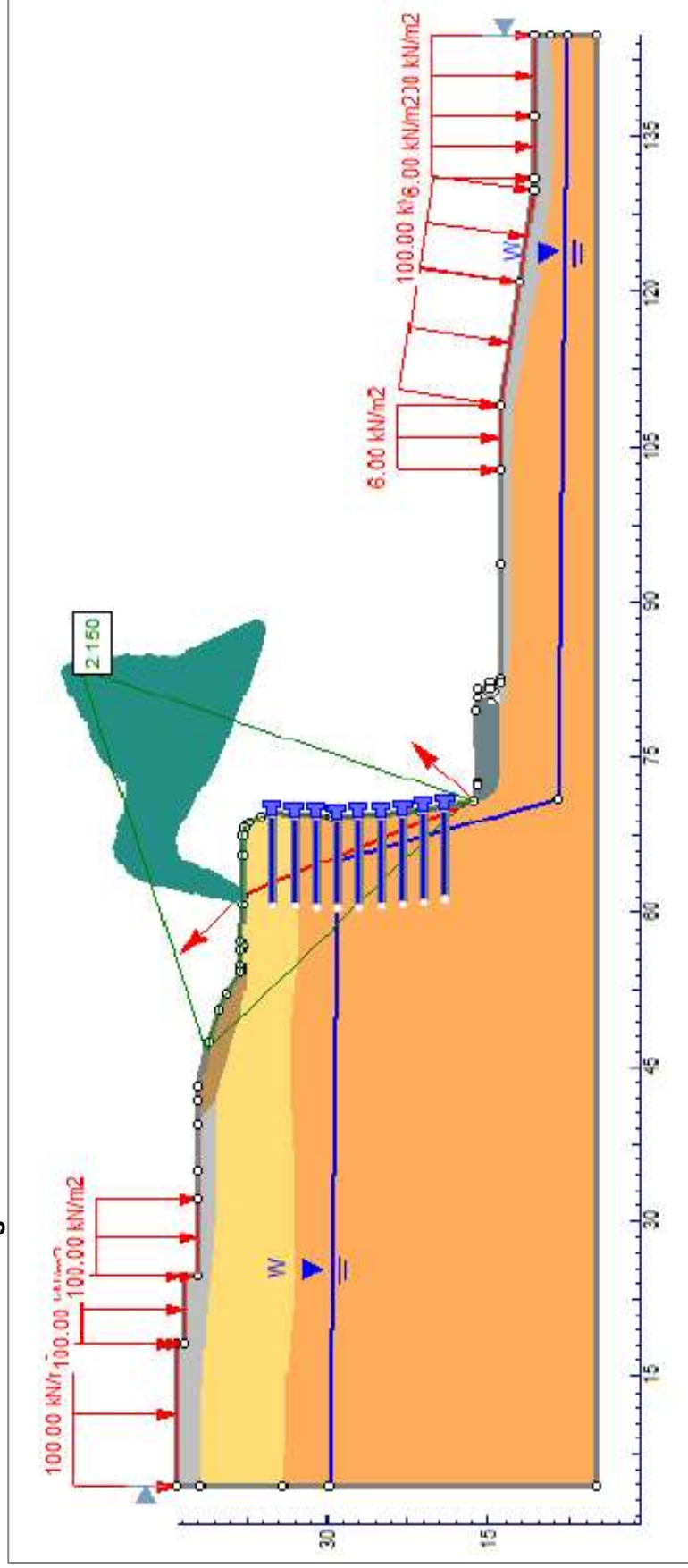
**Figura 170** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 3 – Alternativa 1



Fuente: Consultor



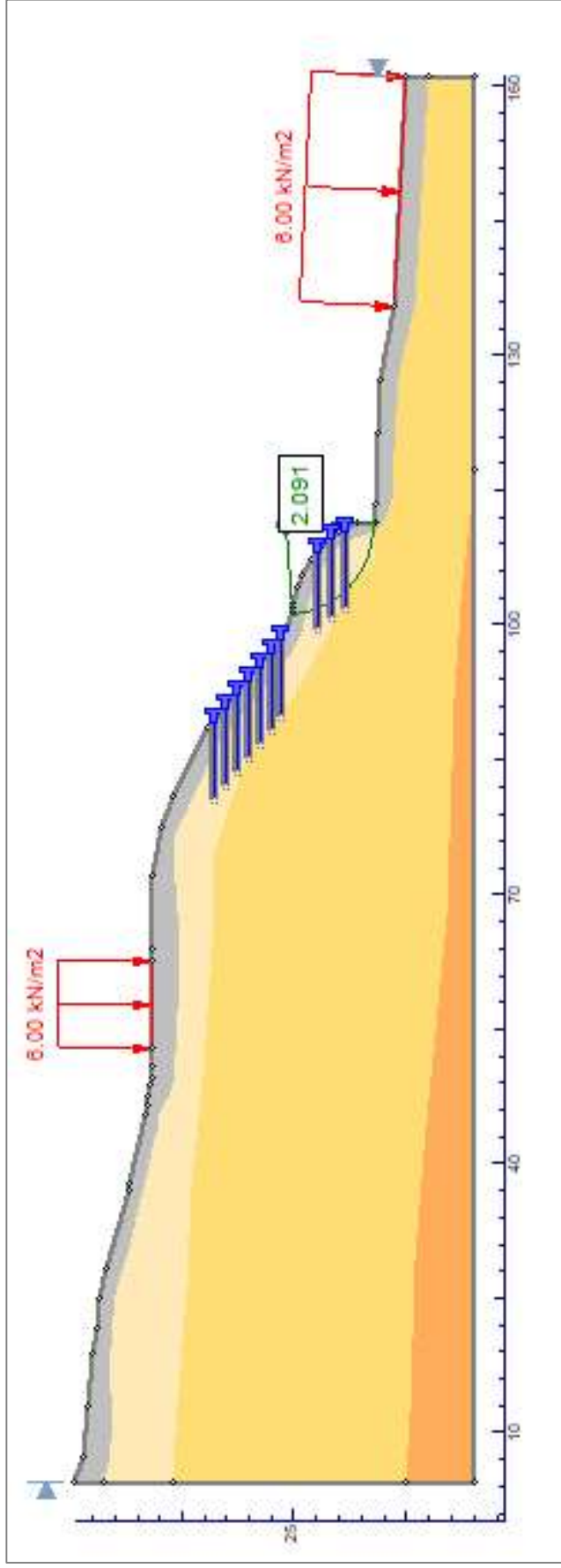
**Figura 171** Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 3 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

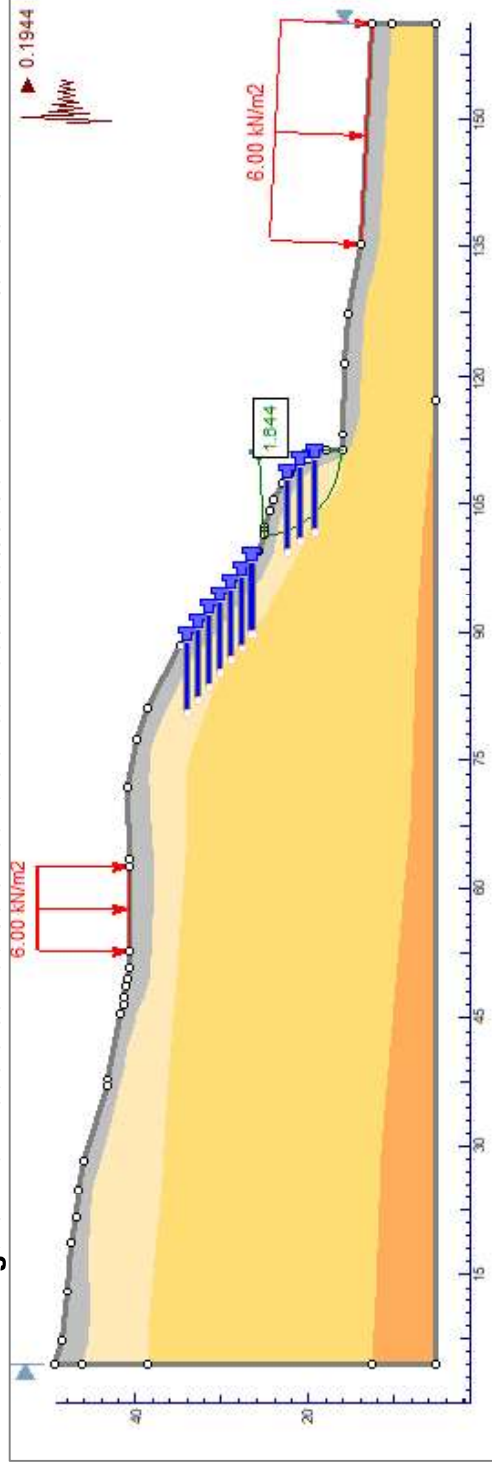
#### 6.4.1.4 PERFIL 4

Figura 172 Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 4 – Alternativa 1



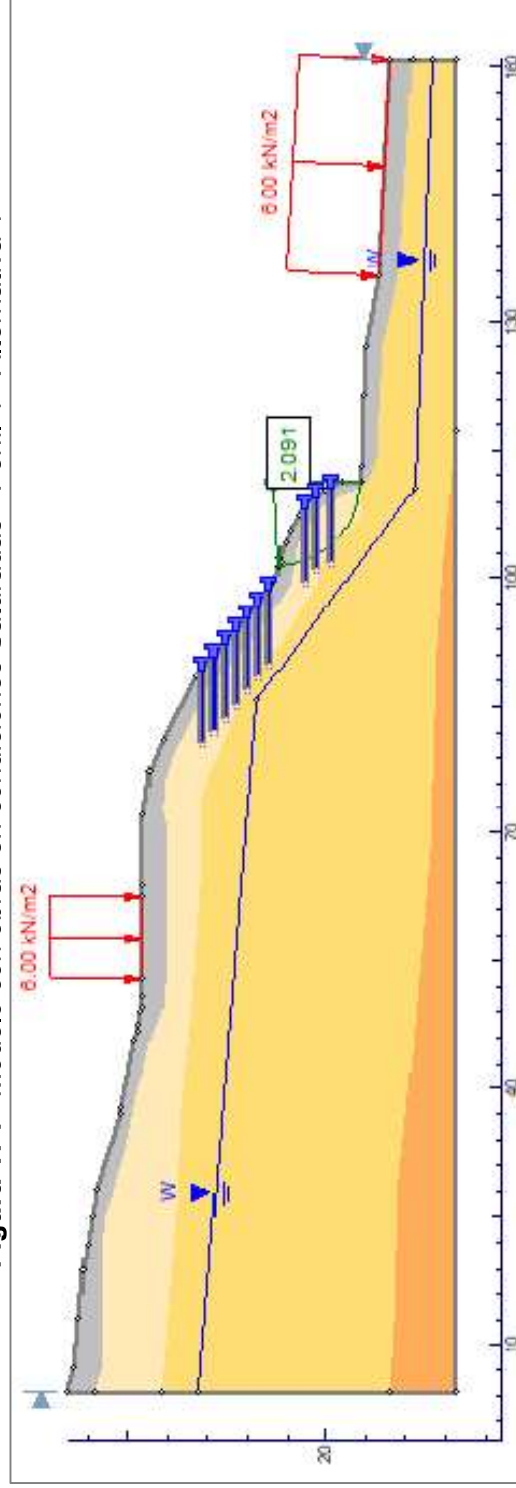
Fuente: Consultor

Figura 173 Modelo con obras en condiciones Pseudoelásticas - Perfil 4 – Alternativa 1



Fuente: Consultor

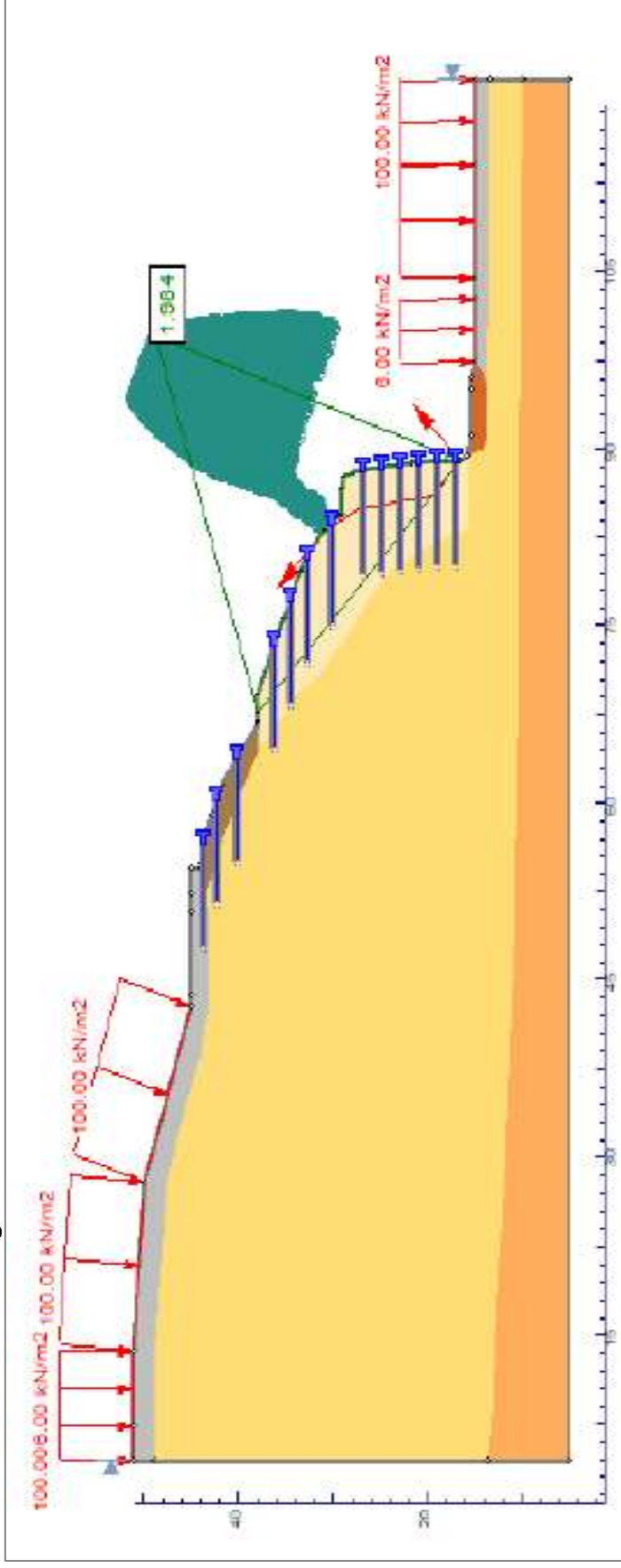
Figura 174 Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 4 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

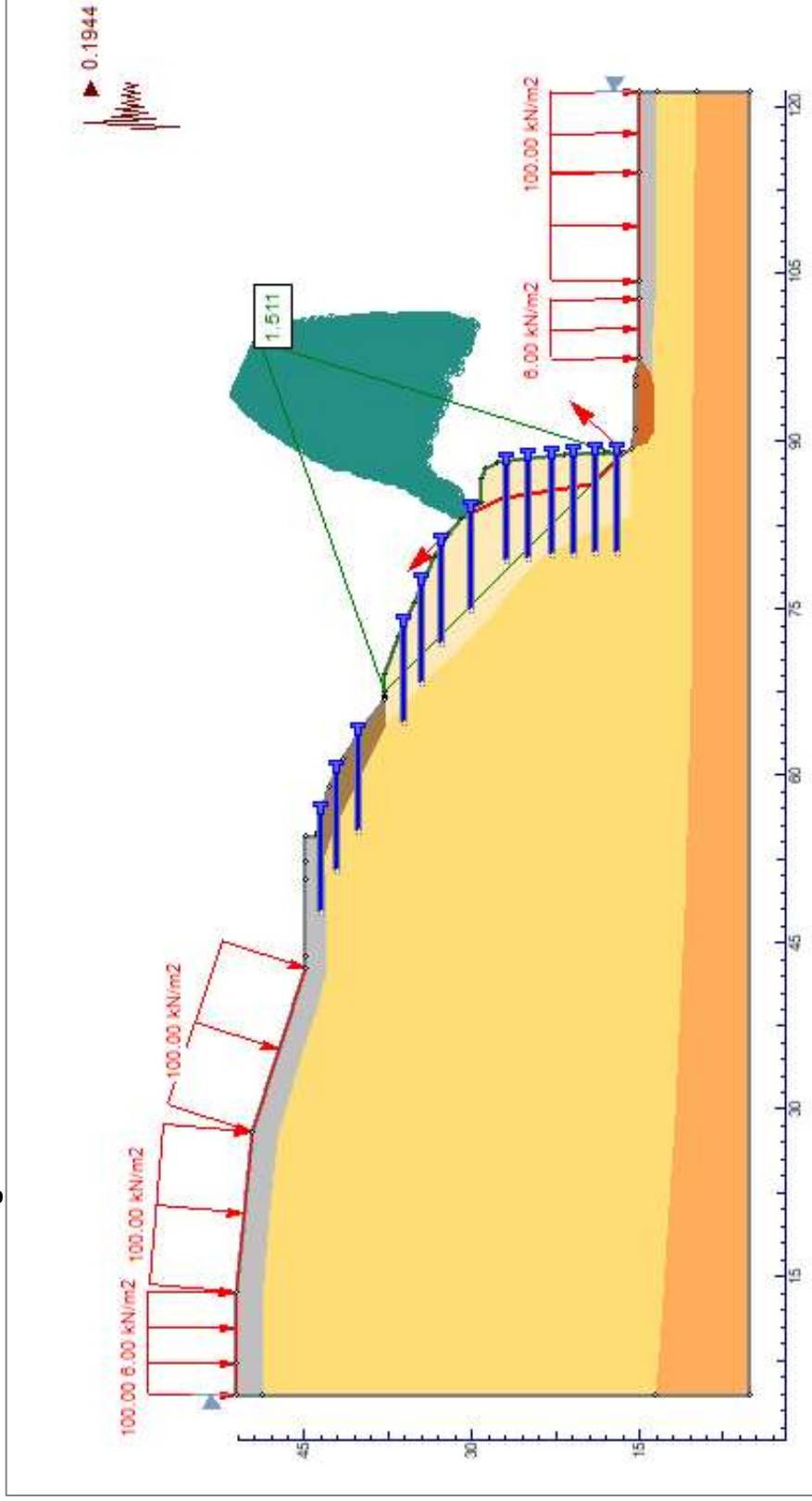
### 6.4.1.5 PERFIL 5

Figura 175 Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 5 – Alternativa 1



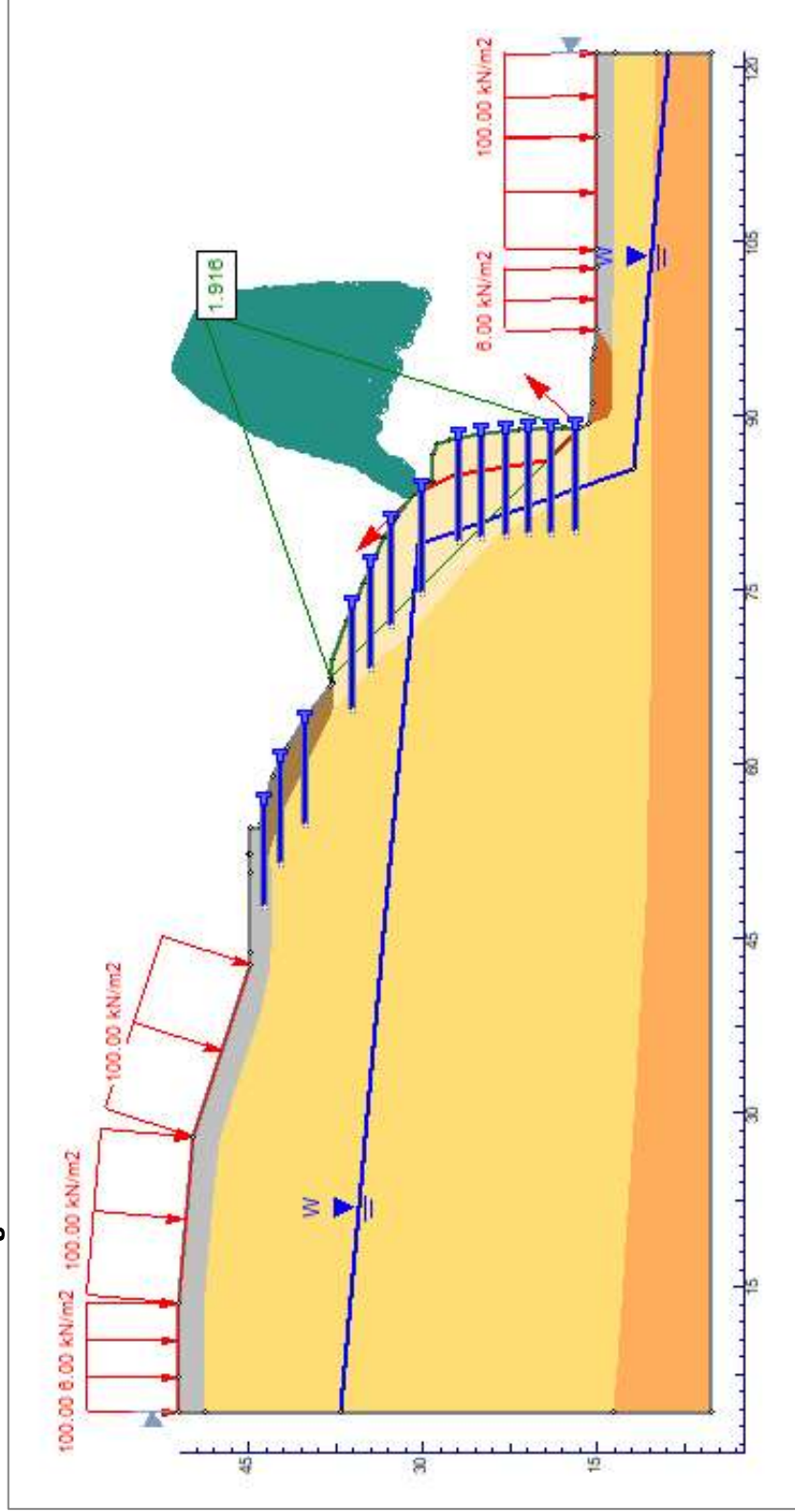
Fuente: Consultor

Figura 176 Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 5 – Alternativa 1



Fuente: Consultor

Figura 177 Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 5 - Alternativa 1



Fuente: Consultor

Los resultados de los factores de seguridad en el modelo matemático aplicando los métodos ya mencionados para los diferentes escenarios y contemplando las obras propuestas en la alternativa 1 se presentan en la siguiente tabla

Se aprecia que para todos los casos de estudio y en todos los perfiles los factores de seguridad son mayores a los mínimos especificados por la normativa vigente, lo cual indica que las obras propuestas para estabilizar el talud son técnicamente viables.

**Tabla 65** Resultados análisis de estabilidad con obras propuestas Alternativa 1

Método/Escenario		Estático	Pseudoestático	Saturado
PERFIL 1	Ordinary	1,508	1,238	1,508
	Bishop	1,486	1,157	1,486
	Janbu	1,504	1,341	1,504
	Spencer	1,552	1,443	1,552
	GLE / M -P	1,512	1,343	1,512
PERFIL 2	Ordinary	1,519	1,202	1,487
	Bishop	1,468	1,196	1,368
	Janbu	1,495	1,198	1,395
	Spencer	1,508	1,254	1,475
	GLE / M -P	1,502	1,252	1,325
PERFIL 3	Ordinary	2,053	1,674	2,053
	Bishop	2,045	1,789	2,045
	Janbu	2,130	1,662	2,120
	Spencer	2,177	1,816	2,131
	GLE / M -P	2,162	2,184	2,150
PERFIL 4	Ordinary	2,091	1,644	2,091
	Bishop	2,069	1,626	2,069
	Janbu	2,206	1,628	2,060
	Spencer	2,015	1,624	1,900
	GLE / M -P	2,045	1,628	1,997
PERFIL 5	Ordinary	1,979	1,511	1,916
	Bishop	1,904	1,478	1,801
	Janbu	1,965	1,457	1,847
	Spencer	2,124	1,563	1,954
	GLE / M -P	1,984	1,605	1,861

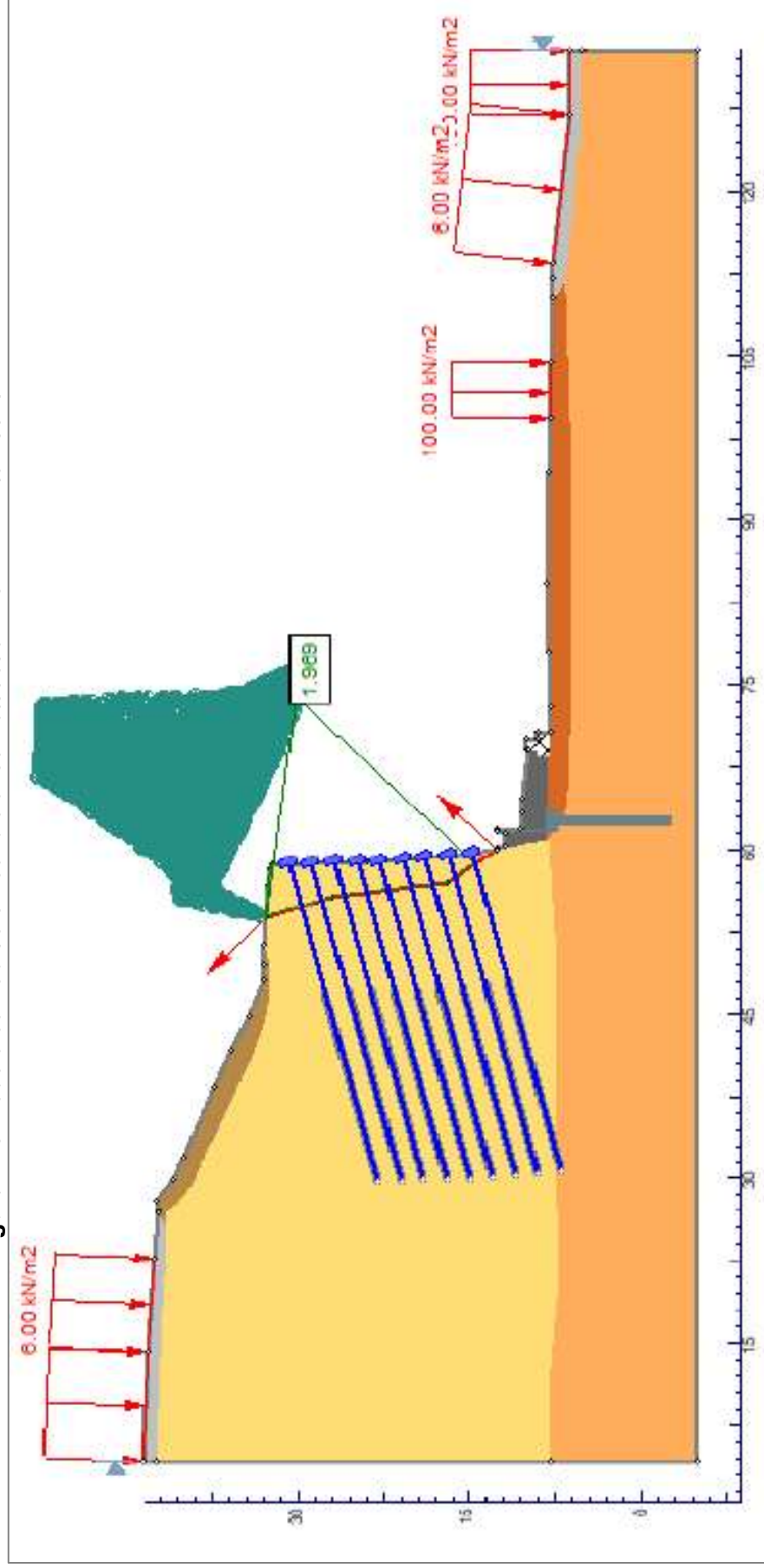
Fuente: Consultor

#### 6.4.2 Análisis de estabilidad alternativa 2

A continuación se realiza el análisis de la alternativa 2 para los 5 perfiles analizados en el diagnóstico geotécnico, a continuación se presentan os modelos realizados.

### 6.4.2.1 PERFIL 1

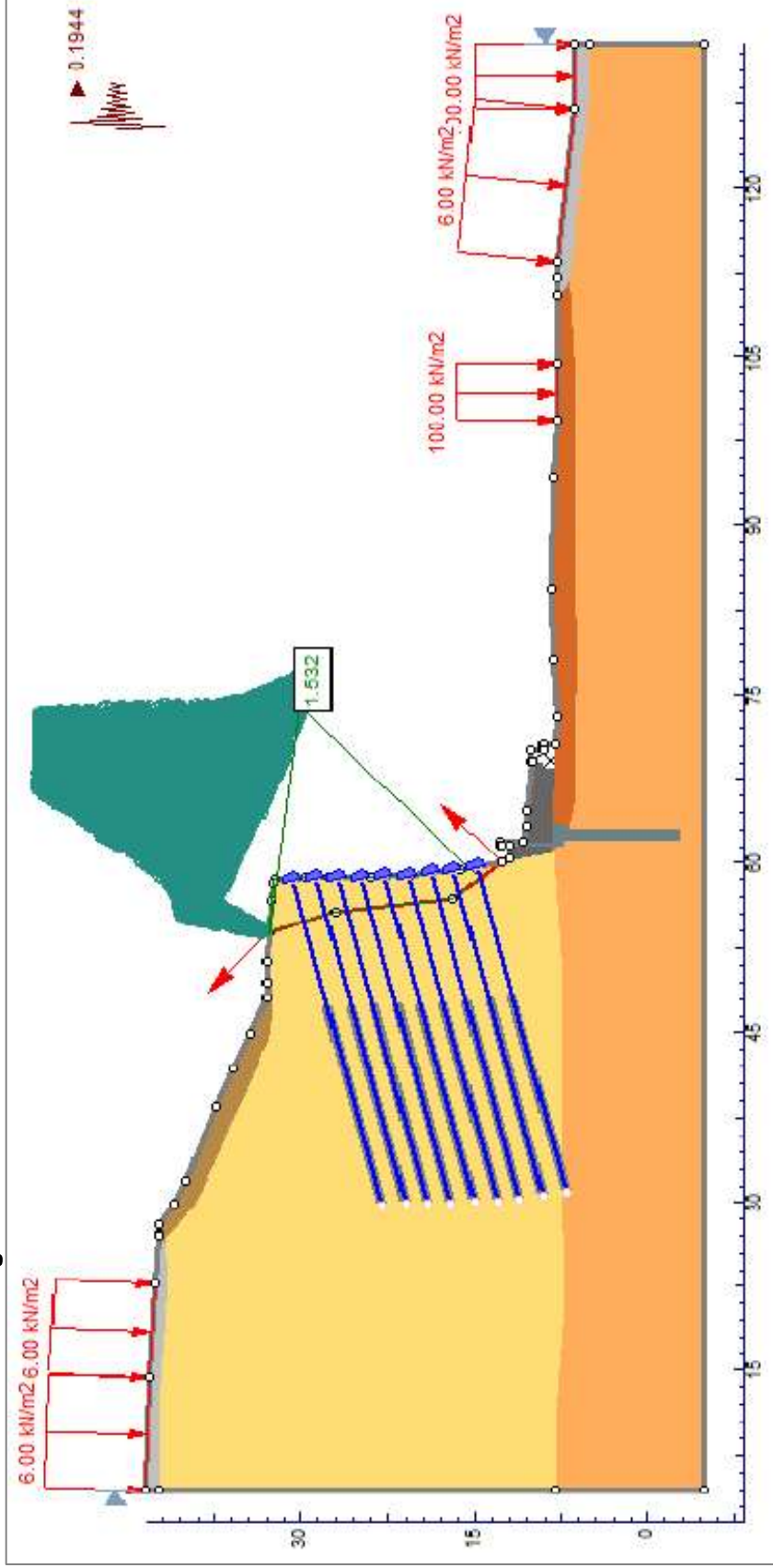
Figura 178 Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 1 – Alternativa 2



Fuente: Consultor

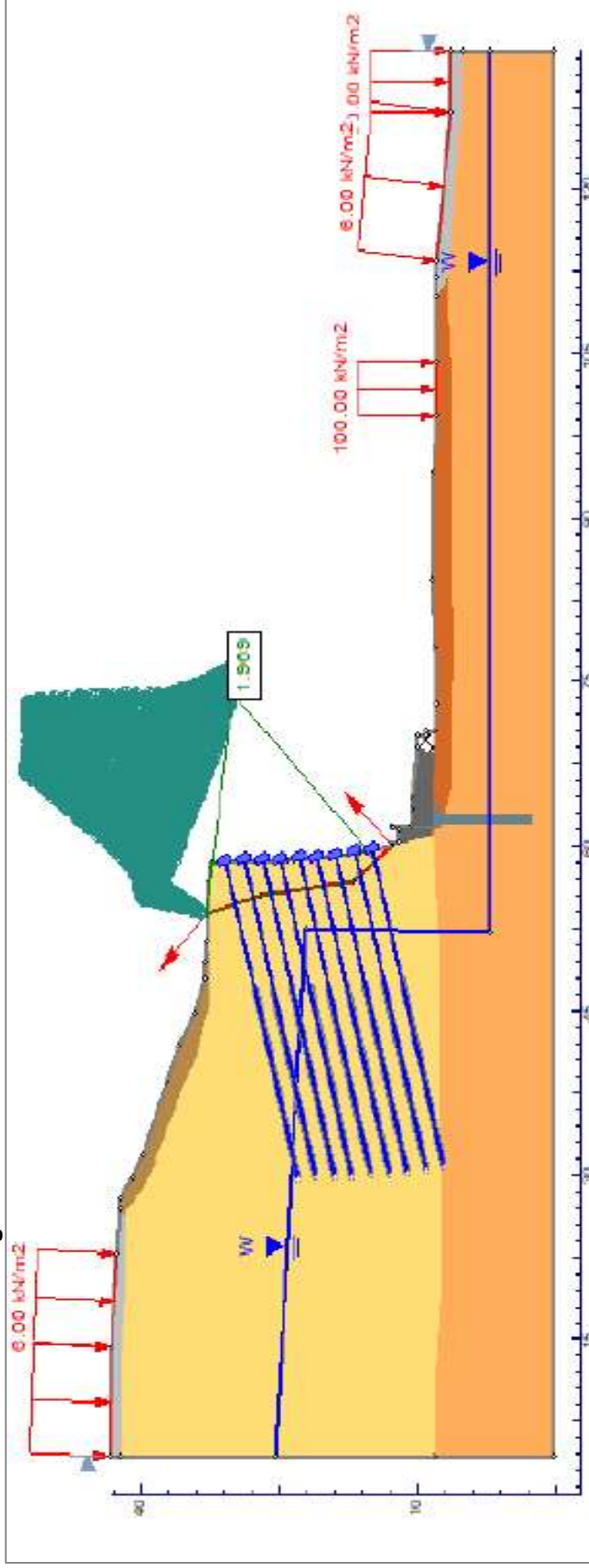


Figura 179 Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 1 – Alternativa 2



Fuente: Consultor

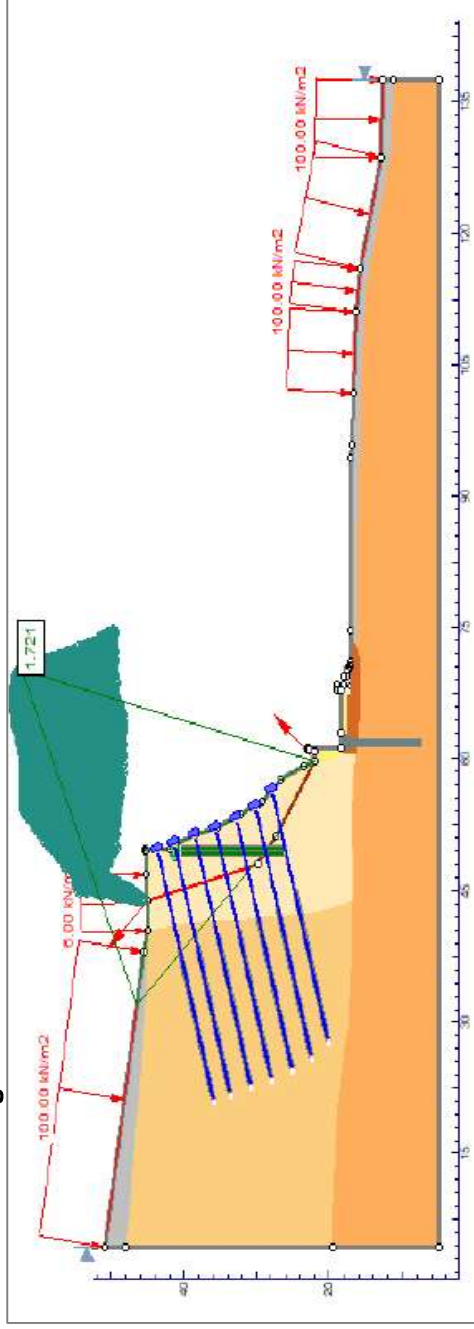
Figura 180 Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 1 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

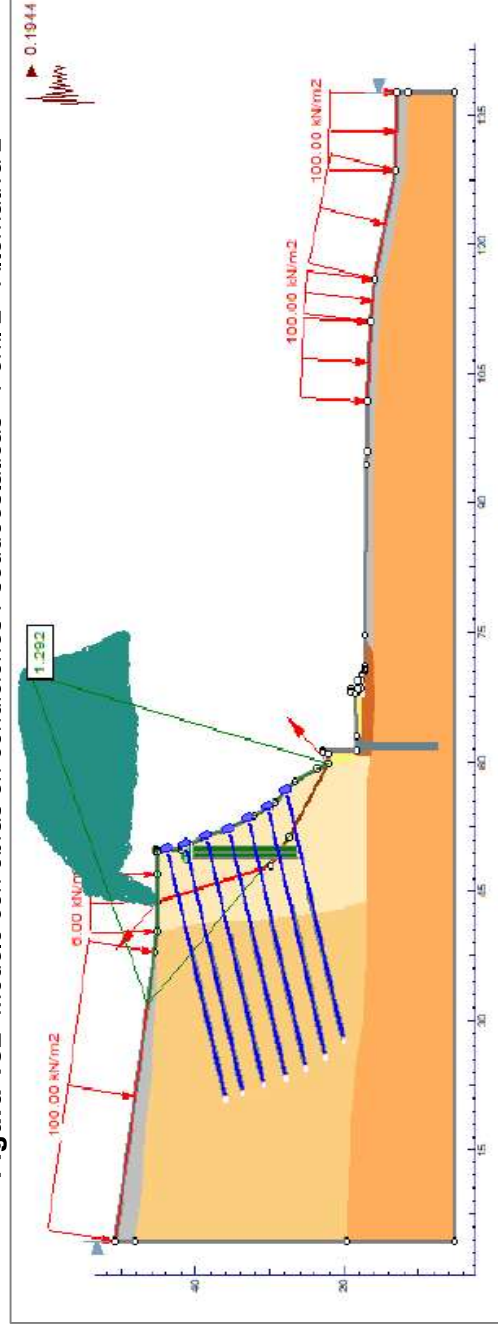
### 6.4.2.2 PERFIL 2

**Figura 181** Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 2 - Alternativa 2



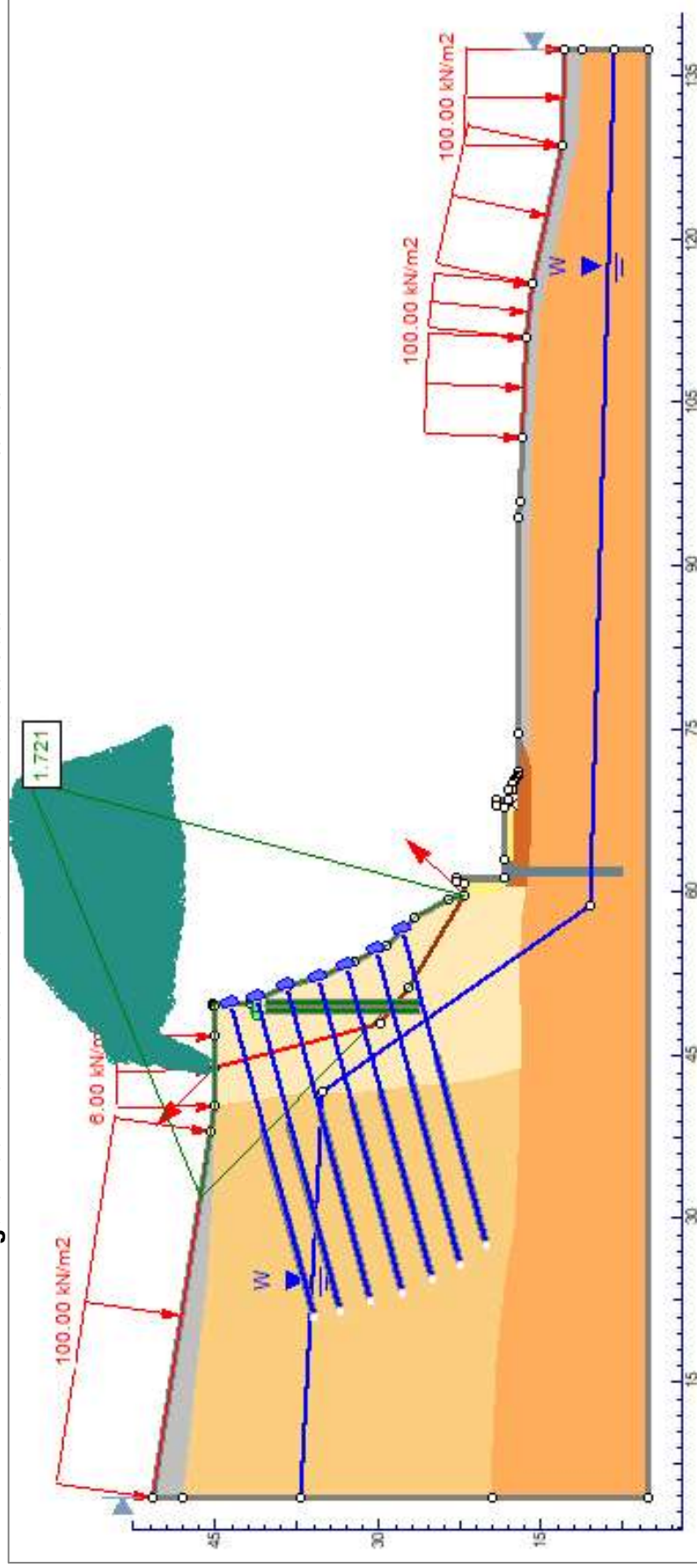
Fuente: Consultor

**Figura 182** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

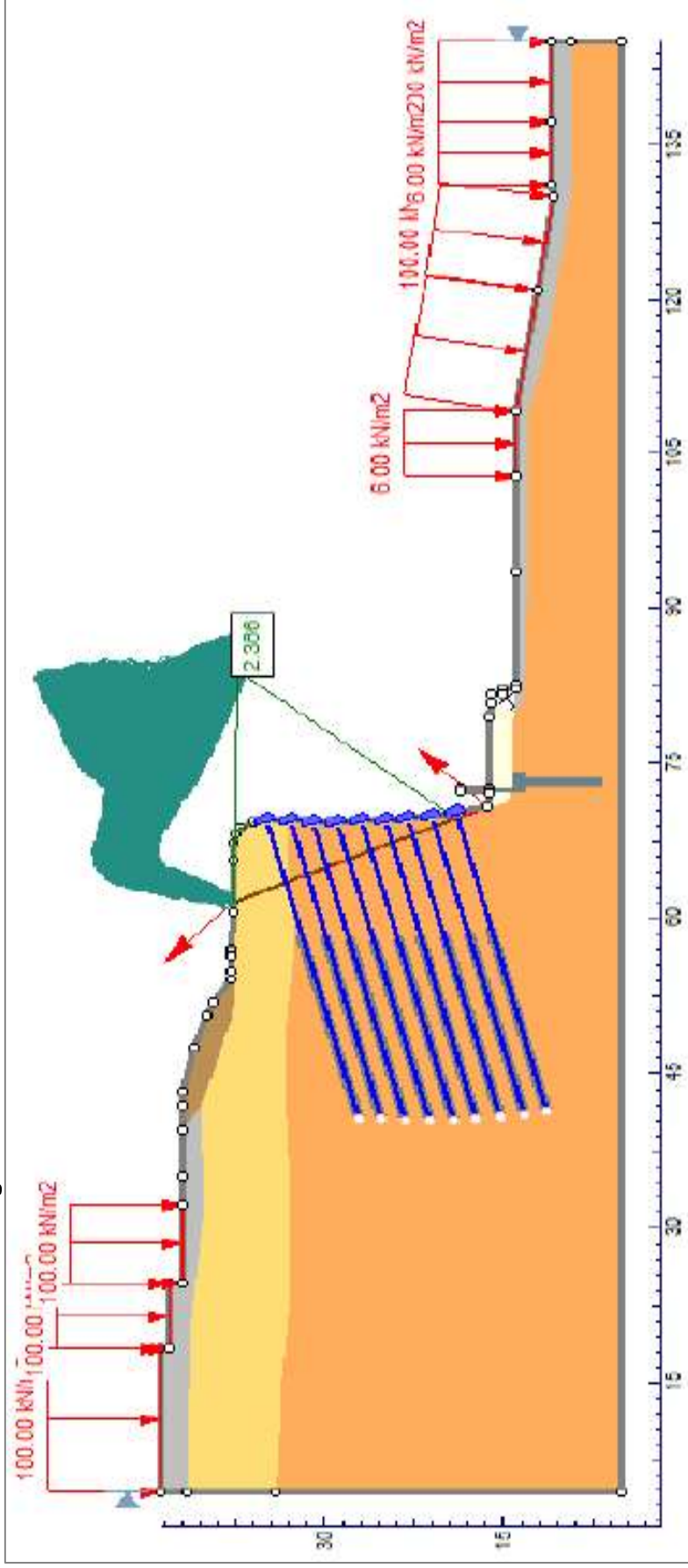
Figura 183 Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 2 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

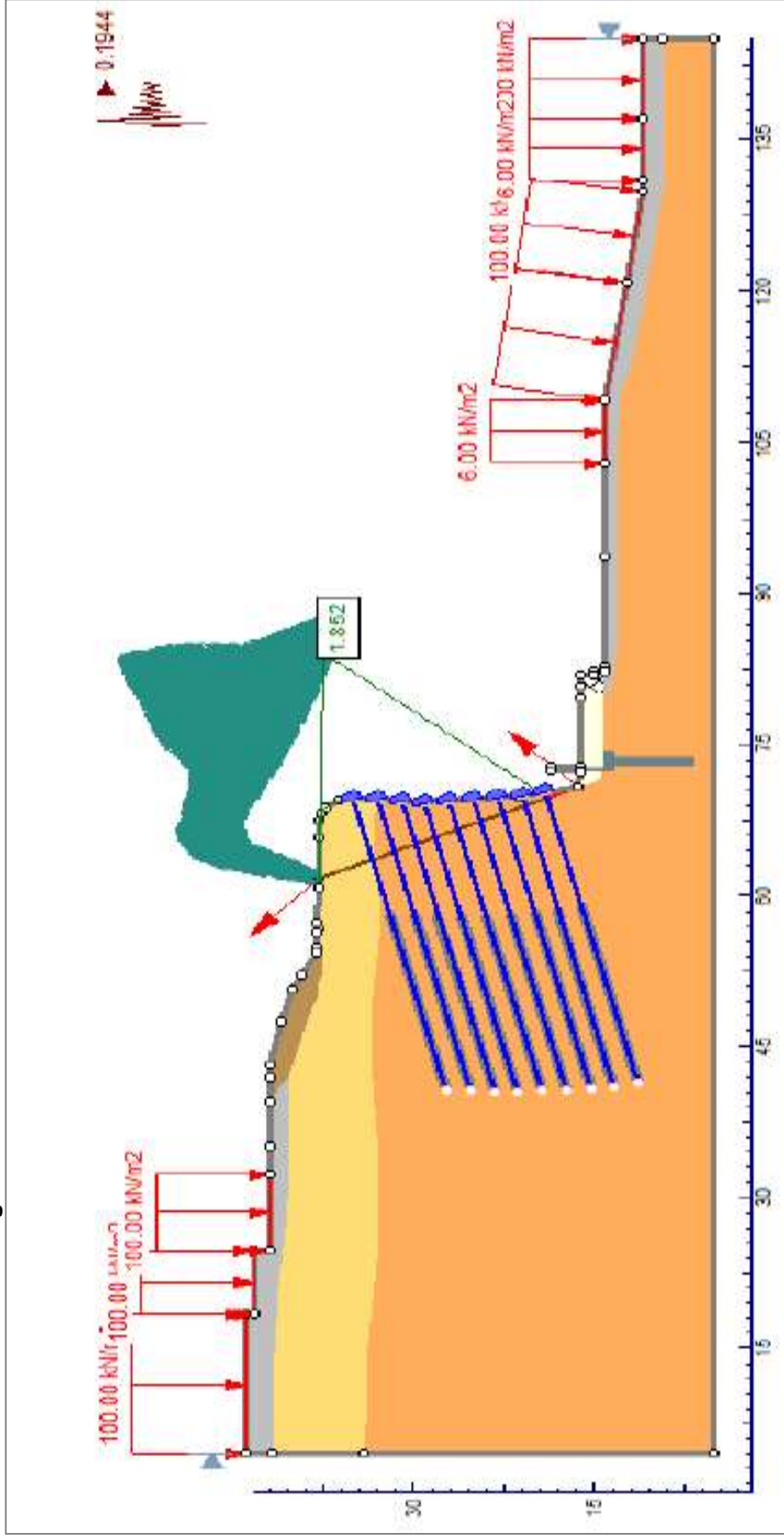
### 6.4.2.3 PERFIL 3

**Figura 184** Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 3 - Alternativa 2



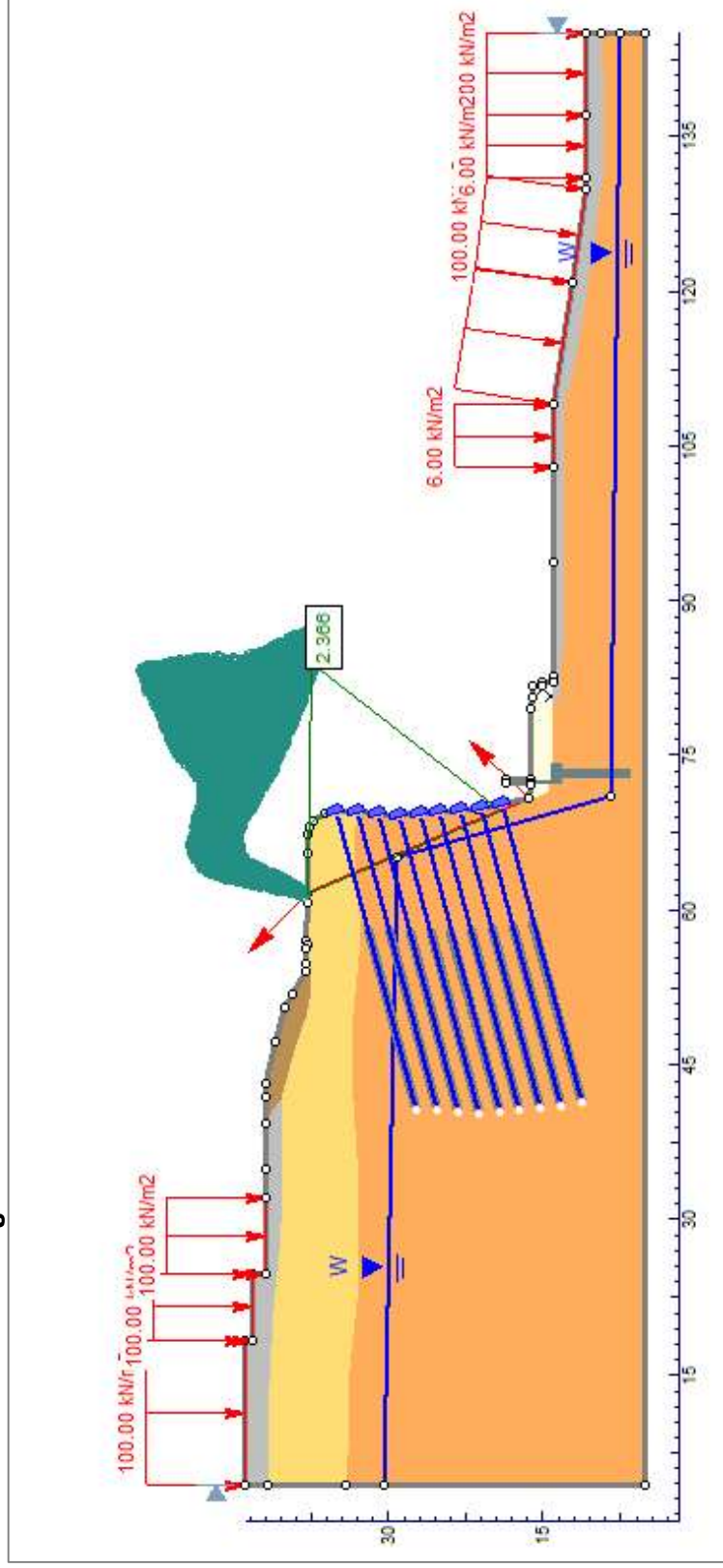
Fuente: Consultor

**Figura 185** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 3 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

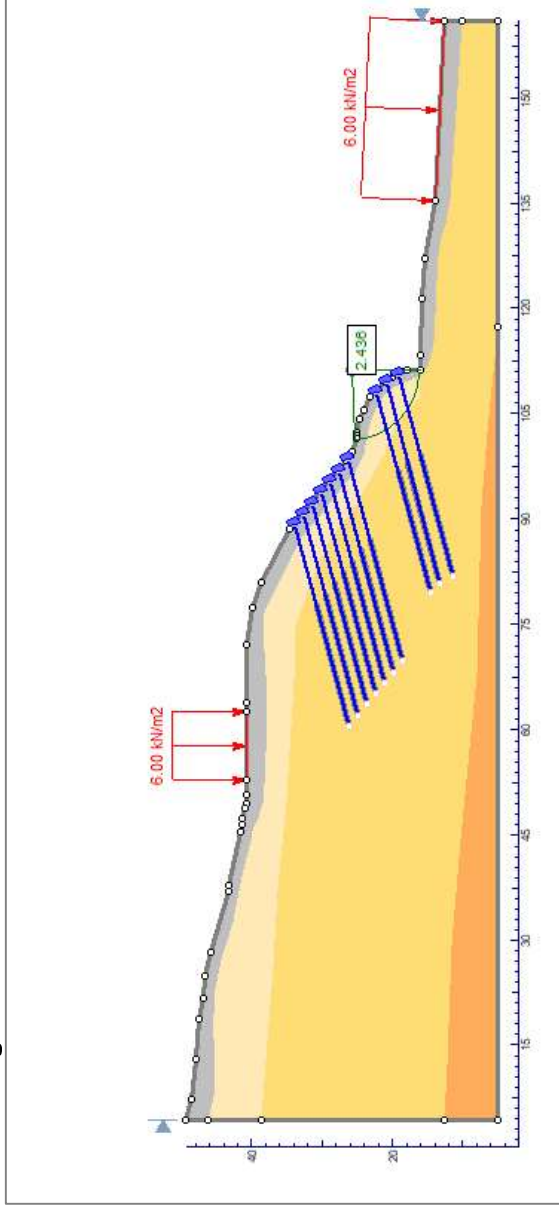
**Figura 186** Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 3 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

### 6.4.2.4 PERFIL 4

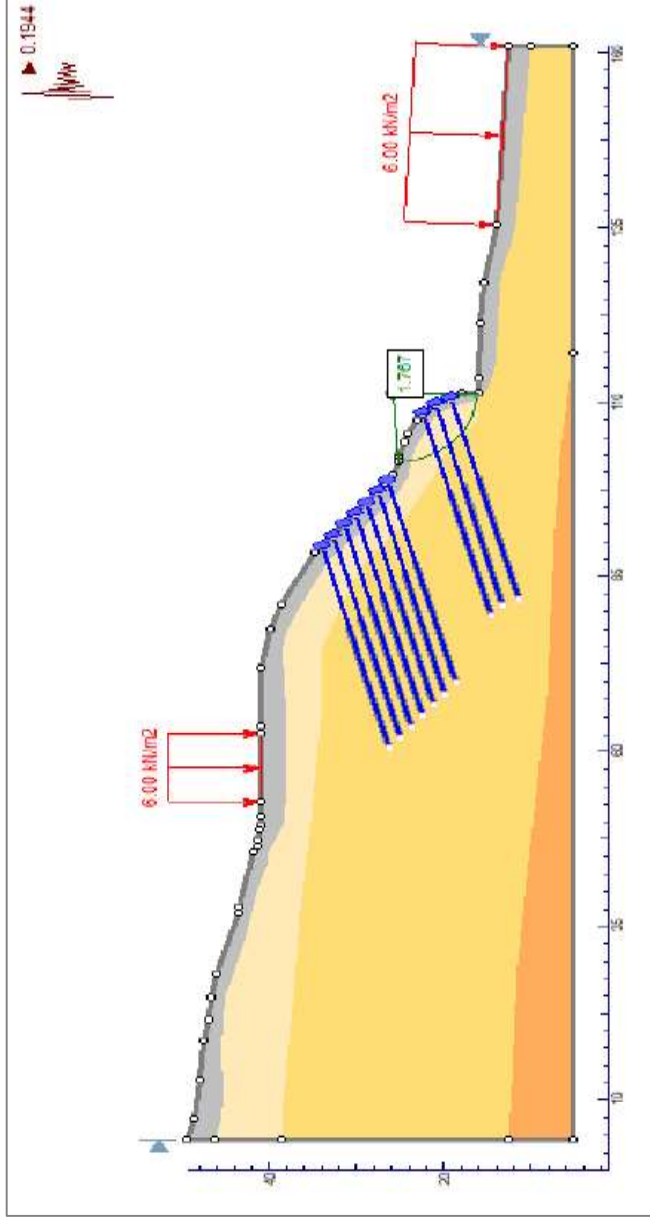
**Figura 187** Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 4 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

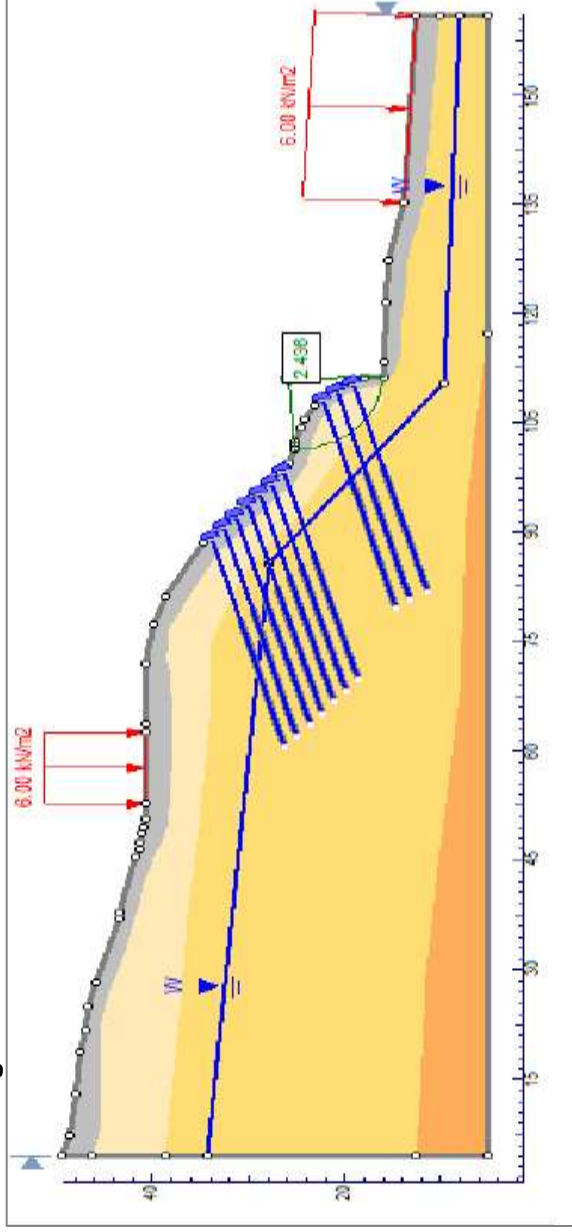


**Figura 188** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 4 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

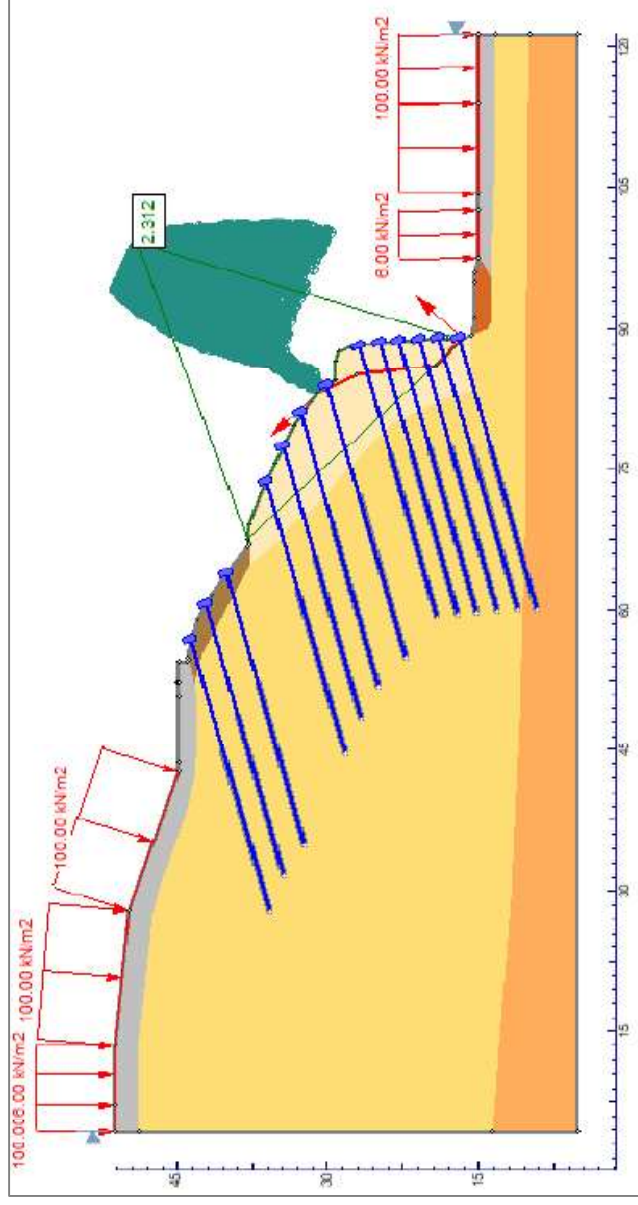
**Figura 189** Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 4 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

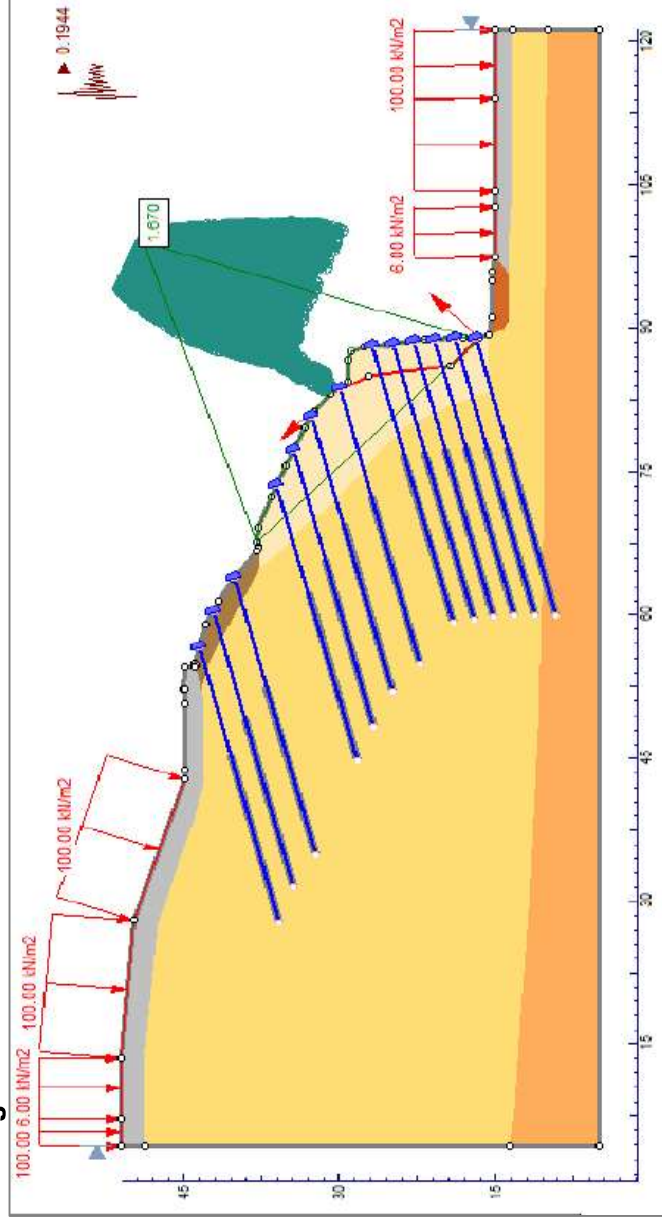
### 6.4.2.5 PERFIL 5

**Figura 190**    Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 5 - Alternativa 2



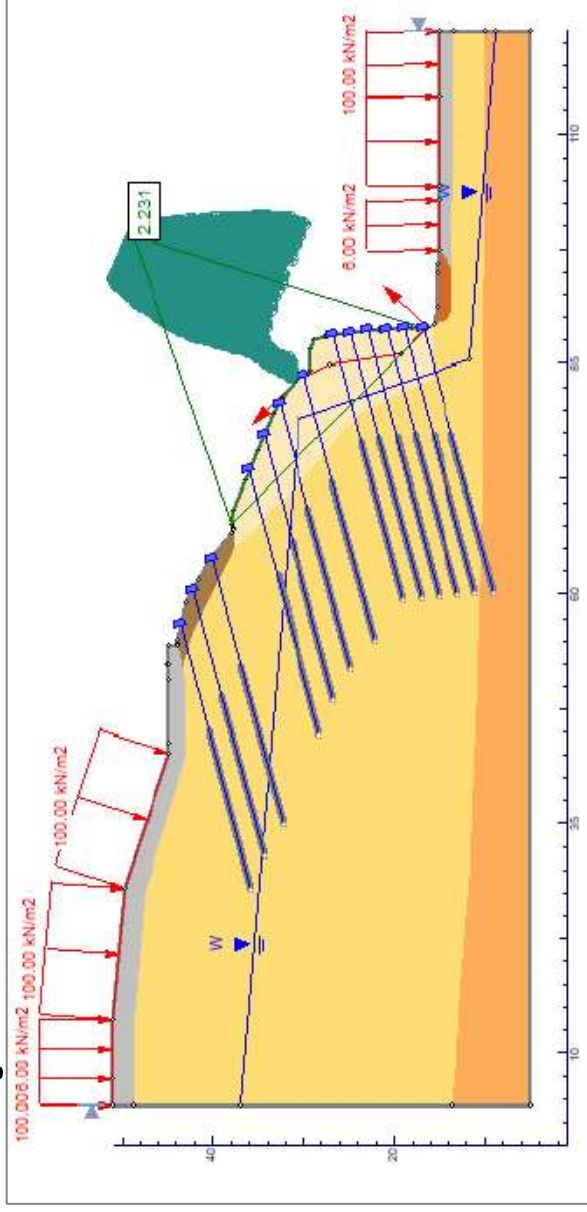
Fuente: Consultor

**Figura 191**      Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 5 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

**Figura 192**      Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 5 - Alternativa 2



Fuente: Consultor

Los resultados de los factores de seguridad en el modelo matemático aplicando los métodos ya mencionados para los diferentes escenarios y contemplando las obras propuestas en la alternativa 2 se presentan en la siguiente tabla

Se aprecia que para todos los casos de estudio y en todos los perfiles los factores de seguridad son mayores a los mínimos especificados por la normativa vigente, lo cual indica que las obras propuestas para estabilizar el talud son técnicamente viables.

**Tabla 66** Resultados análisis de estabilidad con obras propuestas Alternativa 2

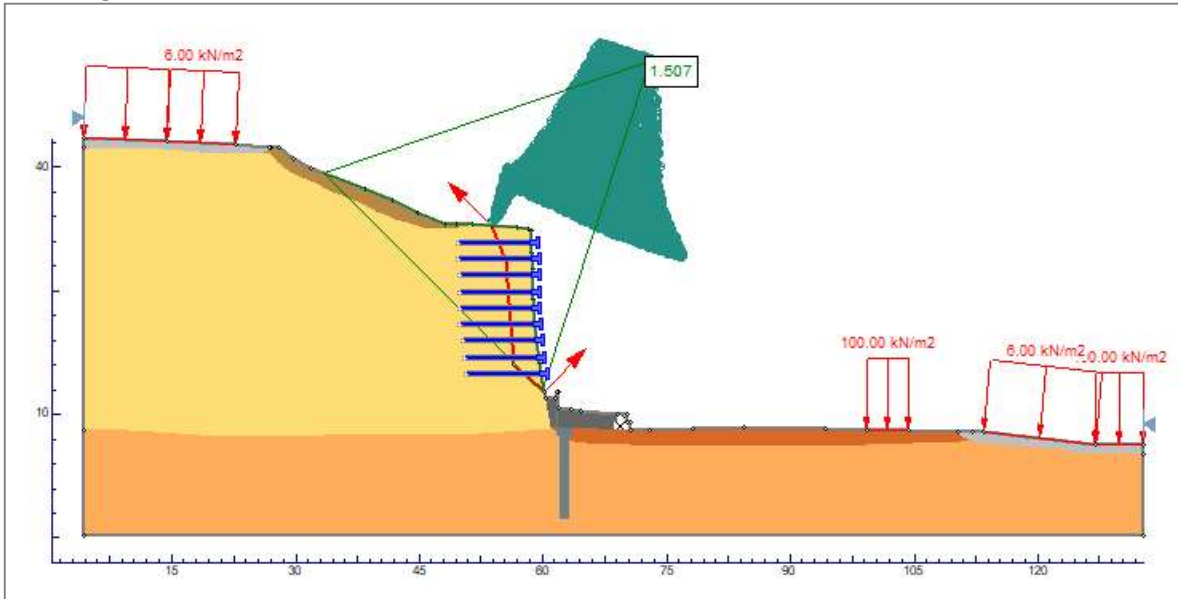
Método/Escenario		Estático	Pseudoestático	Saturado
PERFIL 1	Ordinary	1,969	1,532	1,969
	Bishop	1,746	1,532	1,746
	Janbu	2,106	1,491	2,094
	Spencer	2,118	1,686	2,115
	GLE / M -P	2,102	1,674	2,091
PERFIL 2	Ordinary	1,721	1,292	1,721
	Bishop	1,647	1,210	1,647
	Janbu	1,663	1,177	1,663
	Spencer	1,699	1,424	1,699
	GLE / M -P	1,684	1,432	1,684
PERFIL 3	Ordinary	2,366	1,852	2,366
	Bishop	2,342	1,974	2,412
	Janbu	2,355	1,838	2,573
	Spencer	2,373	1,824	2,594
	GLE / M -P	2,370	1,901	2,592
PERFIL 4	Ordinary	2,436	1,767	2,436
	Bishop	2,450	1,784	2,450
	Janbu	2,494	1,659	2,494
	Spencer	2,405	1,730	2,457
	GLE / M -P	2,417	1,734	2,385
PERFIL 5	Ordinary	2,312	1,670	2,231
	Bishop	2,254	1,652	2,118
	Janbu	2,341	1,621	2,183
	Spencer	2,375	1,745	2,290
	GLE / M -P	2,363	1,746	2,198

Fuente: Consultor

### 6.4.3 Análisis de estabilidad alternativa 3

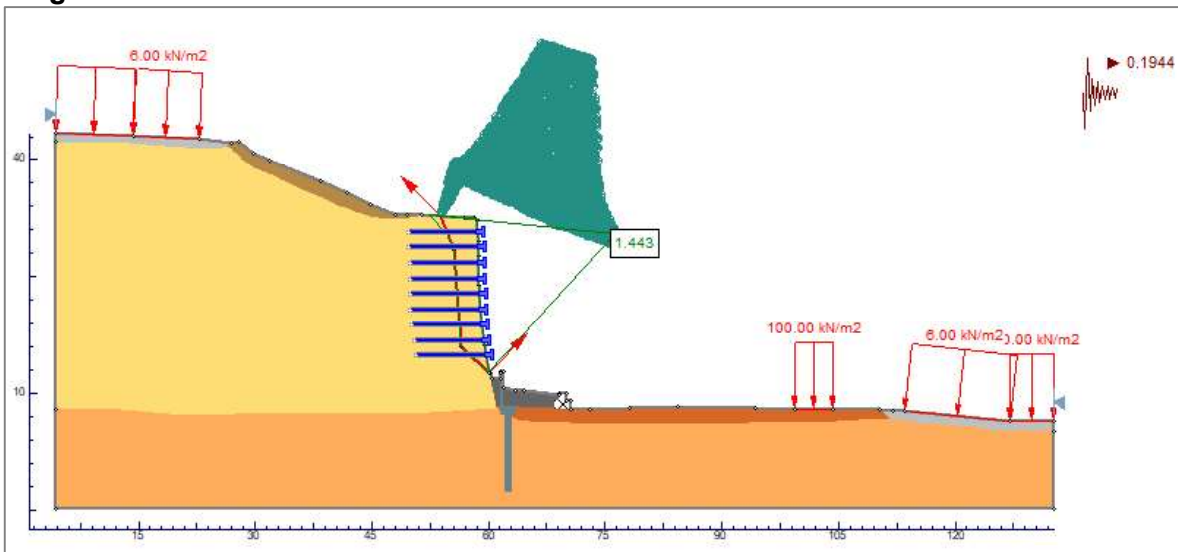
#### 6.4.3.1 PERFIL 1

**Figura 193** Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 1 – Alternativa 3



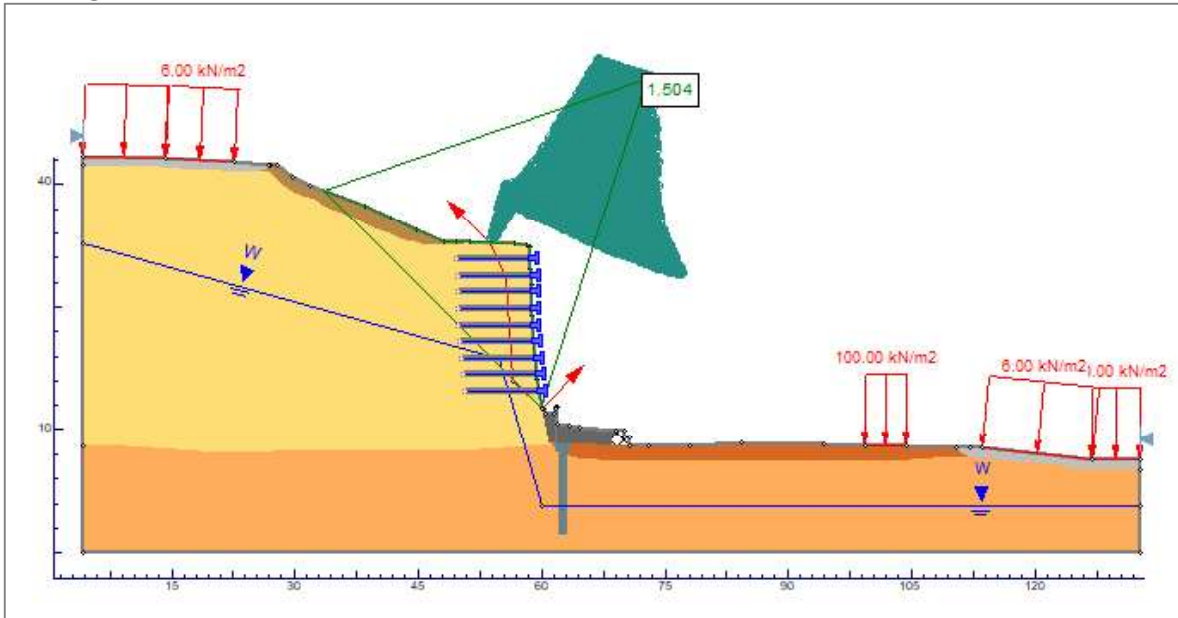
Fuente: Consultor

**Figura 194** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 1 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

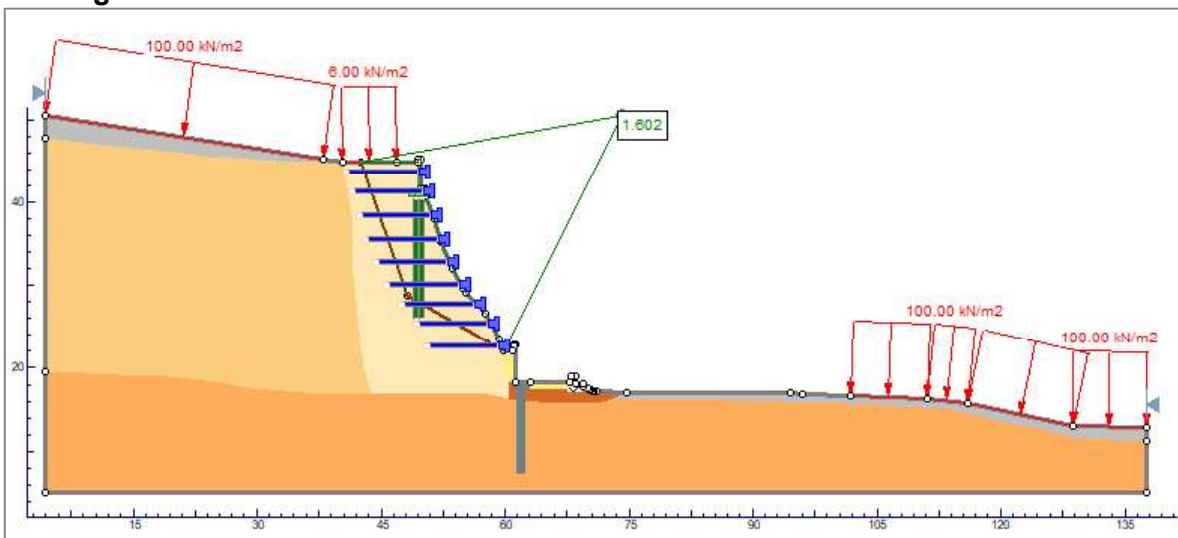
**Figura 195** Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 1 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

**6.4.3.2 PERFIL 2**

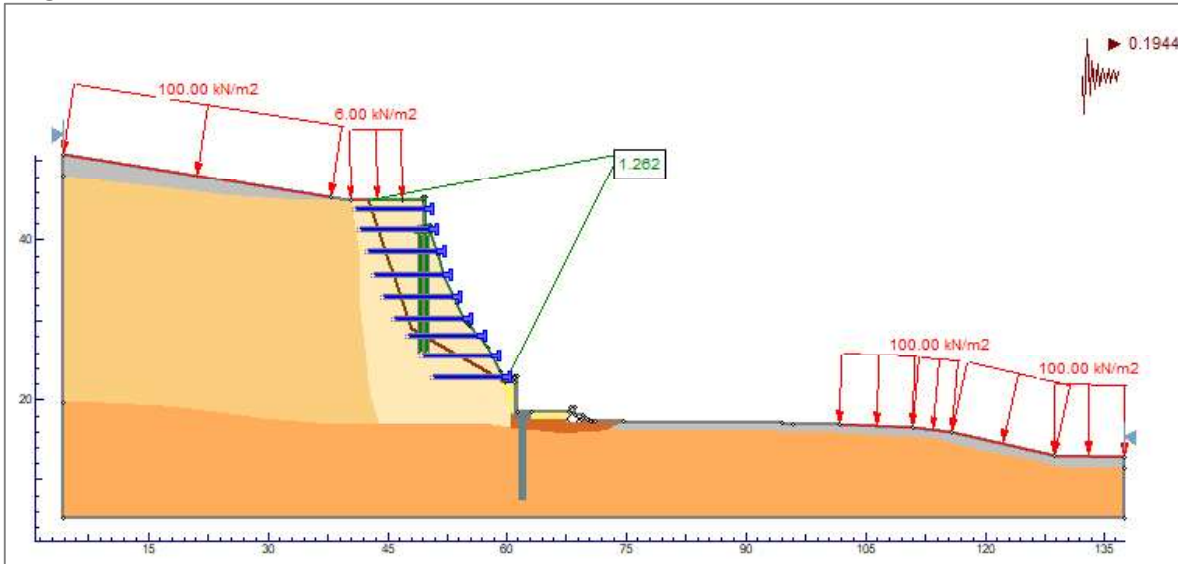
**Figura 196** Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 2 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

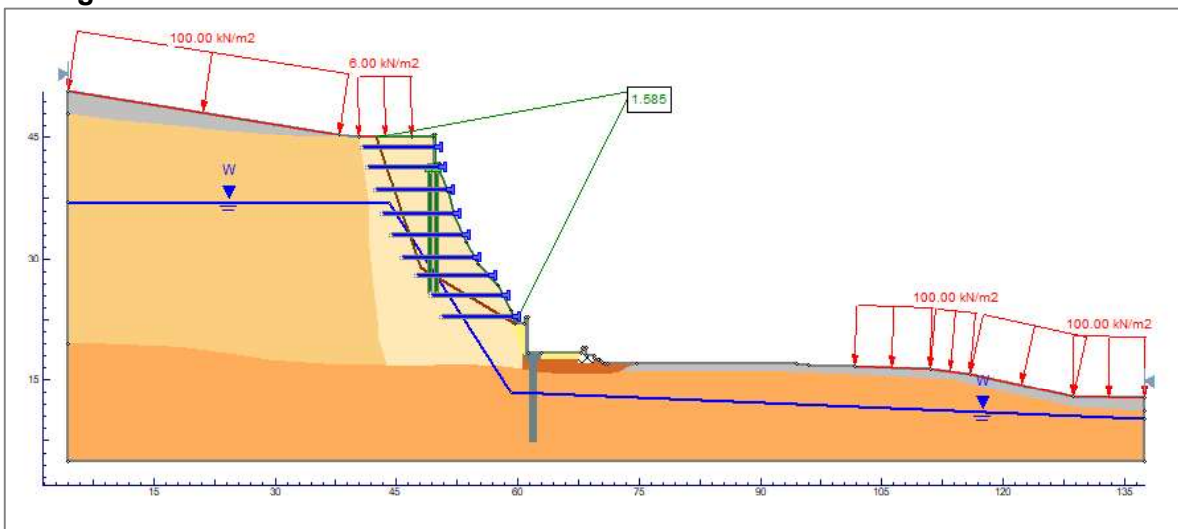


**Figura 197** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

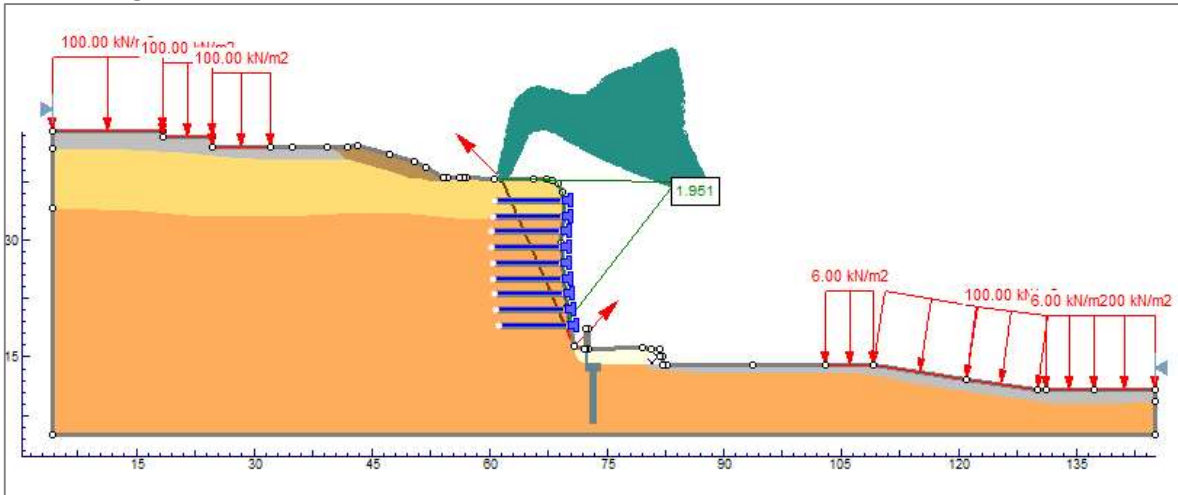
**Figura 198** Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 2 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

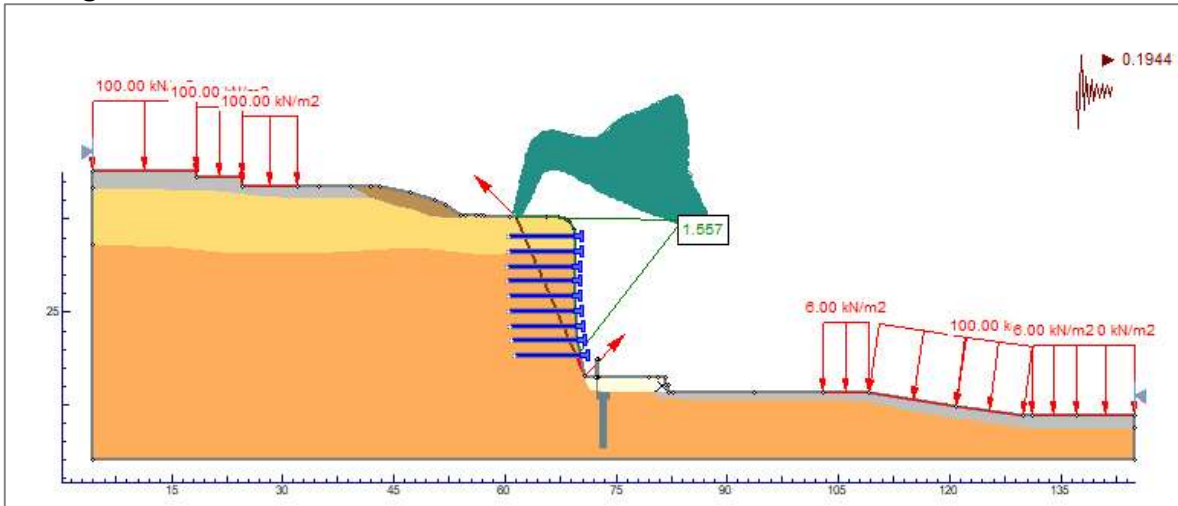
**6.4.3.3 PERFIL 3**

**Figura 199** Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 3 – Alternativa 3



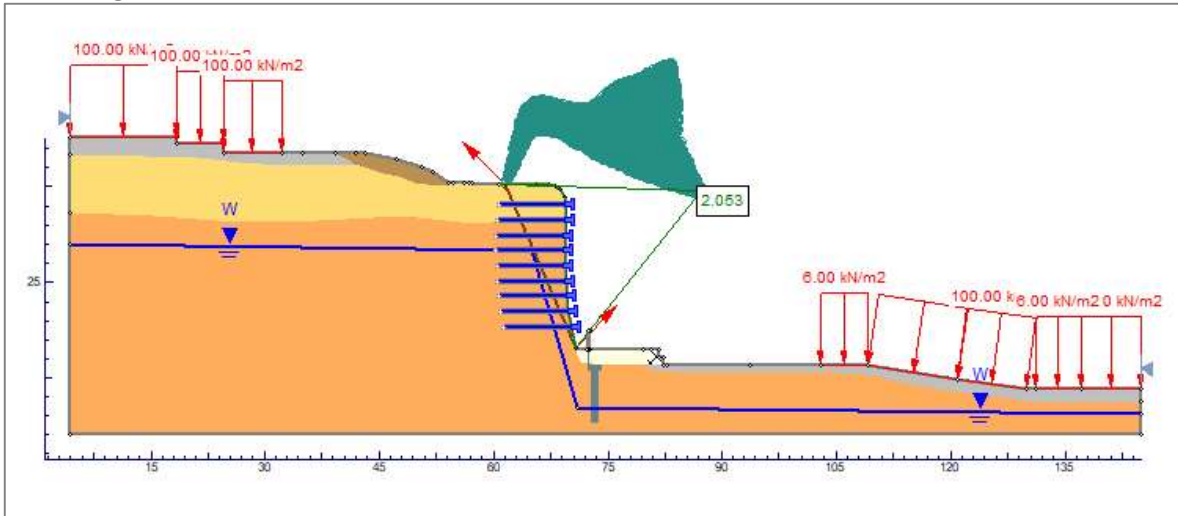
Fuente: Consultor

**Figura 200** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

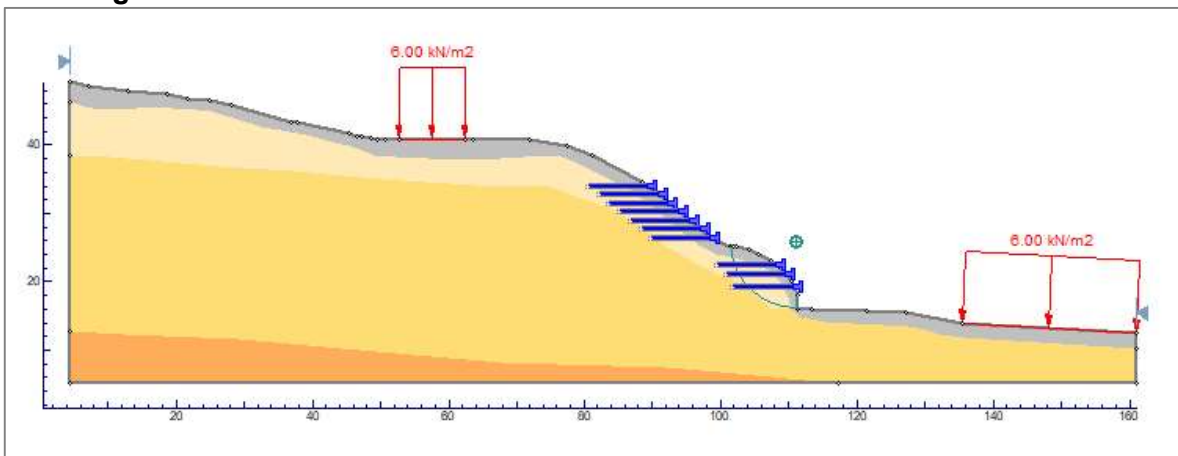
**Figura 201**      Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 3 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

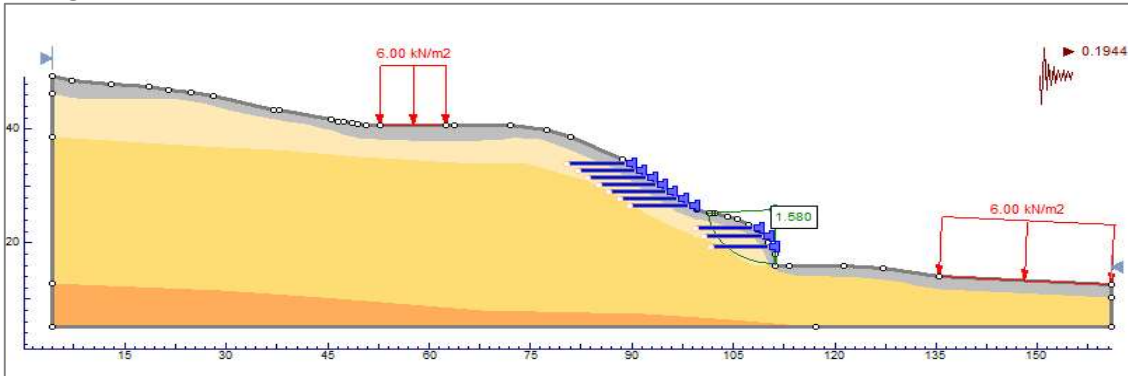
**6.4.3.4 PERFIL 4**

**Figura 202**      Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 4 – Alternativa 3



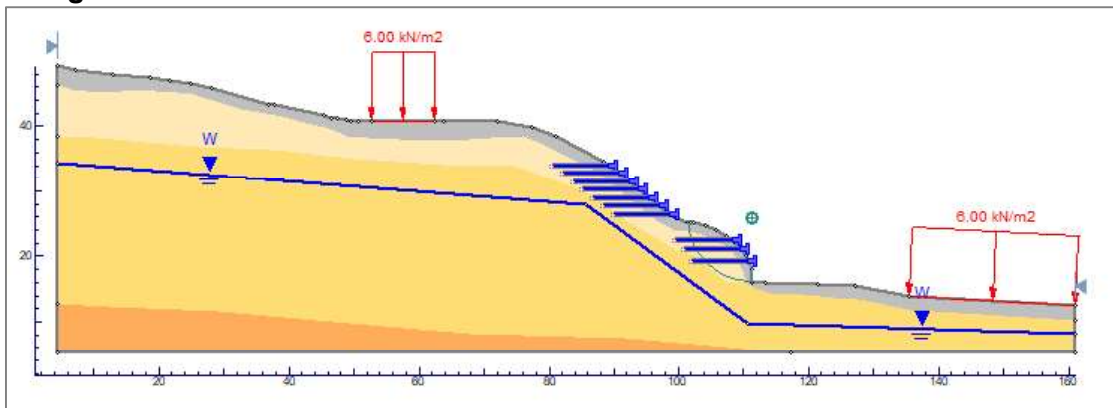
Fuente: Consultor

**Figura 203**      Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 4 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

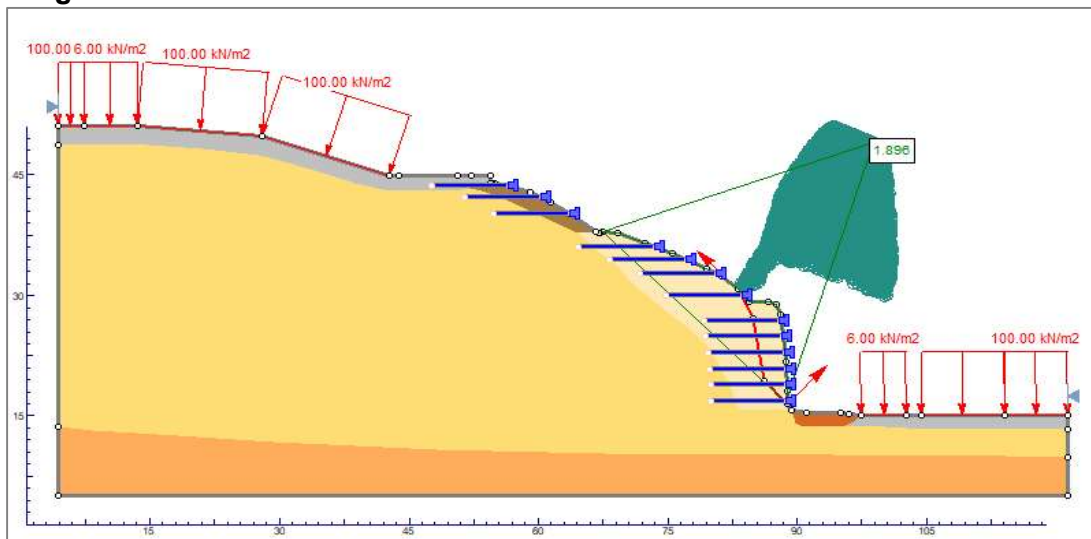
**Figura 204**      Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 4 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

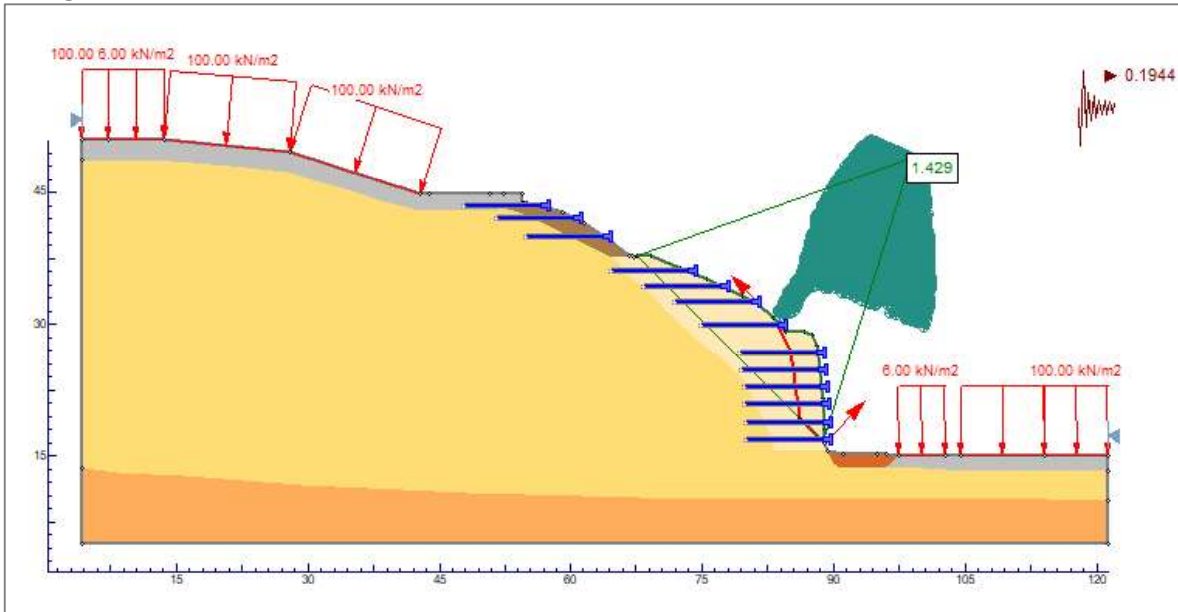
**6.4.3.5 PERFIL 5**

**Figura 205**      Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 5 – Alternativa 3



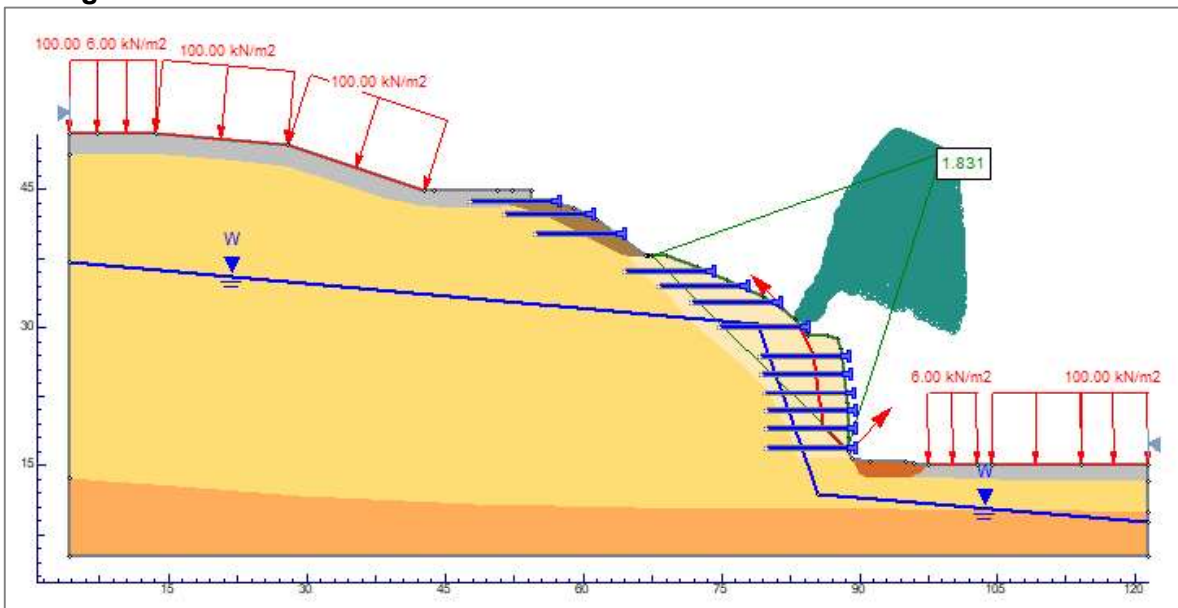
Fuente: Consultor

**Figura 206**      Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 5 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

**Figura 207**      Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 5 – Alternativa 3



Fuente: Consultor

Los resultados de los factores de seguridad en el modelo matemático aplicando los métodos ya mencionados para los diferentes escenarios y contemplando las obras propuestas en la alternativa 3 se presentan en la siguiente tabla. Se aprecia que para todos los casos de estudio y en todos los perfiles los factores de seguridad son mayores a los mínimos.

especificados por la normativa vigente, lo cual indica que las obras propuestas para estabilizar el talud son técnicamente viables.

**Tabla 67** Resultados análisis de estabilidad con obras propuestas Alternativa 3

Método/Escenario		Estático	Pseudoestático	Saturado
PERFIL 1	Ordinary	1,507	1,233	1,504
	Bishop	1,501	1,208	1,476
	Janbu	1,502	1,301	1,499
	Spencer	1,566	1,443	1,539
	GLE / M -P	1,512	1,346	1,507
PERFIL 2	Ordinary	1,602	1,262	1,585
	Bishop	1,528	1,204	1,434
	Janbu	1,546	1,255	1,447
	Spencer	1,589	1,207	1,511
	GLE / M -P	1,594	1,213	1,575
PERFIL 3	Ordinary	1,951	1,557	1,951
	Bishop	1,948	1,685	1,948
	Janbu	2,019	1,551	2,019
	Spencer	2,073	1,748	2,073
	GLE / M -P	2,053	2,206	2,053
PERFIL 4	Ordinary	2,017	1,580	2,017
	Bishop	2,002	1,568	2,002
	Janbu	2,113	1,551	2,113
	Spencer	2,048	1,565	2,048
	GLE / M -P	2,015	1,565	2,015
PERFIL 5	Ordinary	1,896	1,429	1,831
	Bishop	1,823	1,399	1,717
	Janbu	1,876	1,371	1,756
	Spencer	1,999	1,486	1,839
	GLE / M -P	1,894	1,527	1,768

Fuente: Consultor

#### 6.4.4 Análisis de estabilidad alternativa 4

La alternativa No 4 corresponde a la conformación de un muro mecánicamente estabilizado con altura máxima de 23 m, a continuación se presenta el análisis de estabilidad global realizado para la la verificación de la viabilidad técnica de esta alternativa; para la revisión

de la estabilidad global del muro mecánicamente estabilizado, se emplearon los siguientes parámetros para su análisis :

**Tabla 68** Parámetros para el análisis de estabilidad del muro mecánicamente estabilizado (suelos).

Descripción	$\phi$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C suelos (KPa)
Suelo de cimentación	30	21	18.00
Masa de suelo retenido	27	18.5	16.50
Masa de suelo reforzado	28	20	10.00

Fuente: Consultor

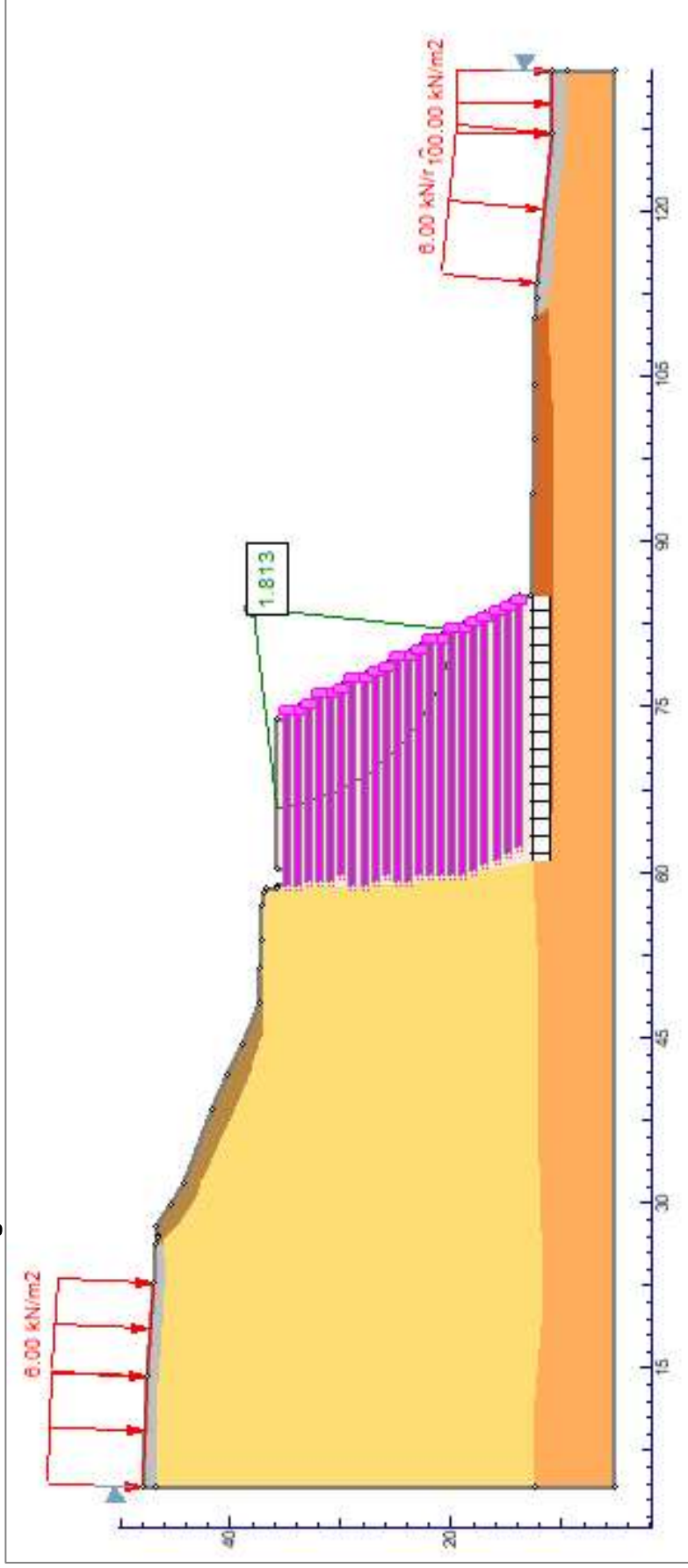
**Tabla 69** Propiedades del geosintético para el análisis de estabilidad del muro mecánicamente estabilizado.

<b>C</b>	Perímetro Unitario Efectivo de Refuerzo	2.00
<b>C<sub>i</sub></b>	Coefficiente de interacción	0.66
<b>p</b>	Coefficiente de fricción de la interacción suelo/refuerzo	18.67

Fuente: Consultor

### 6.4.4.1 PERFIL 1

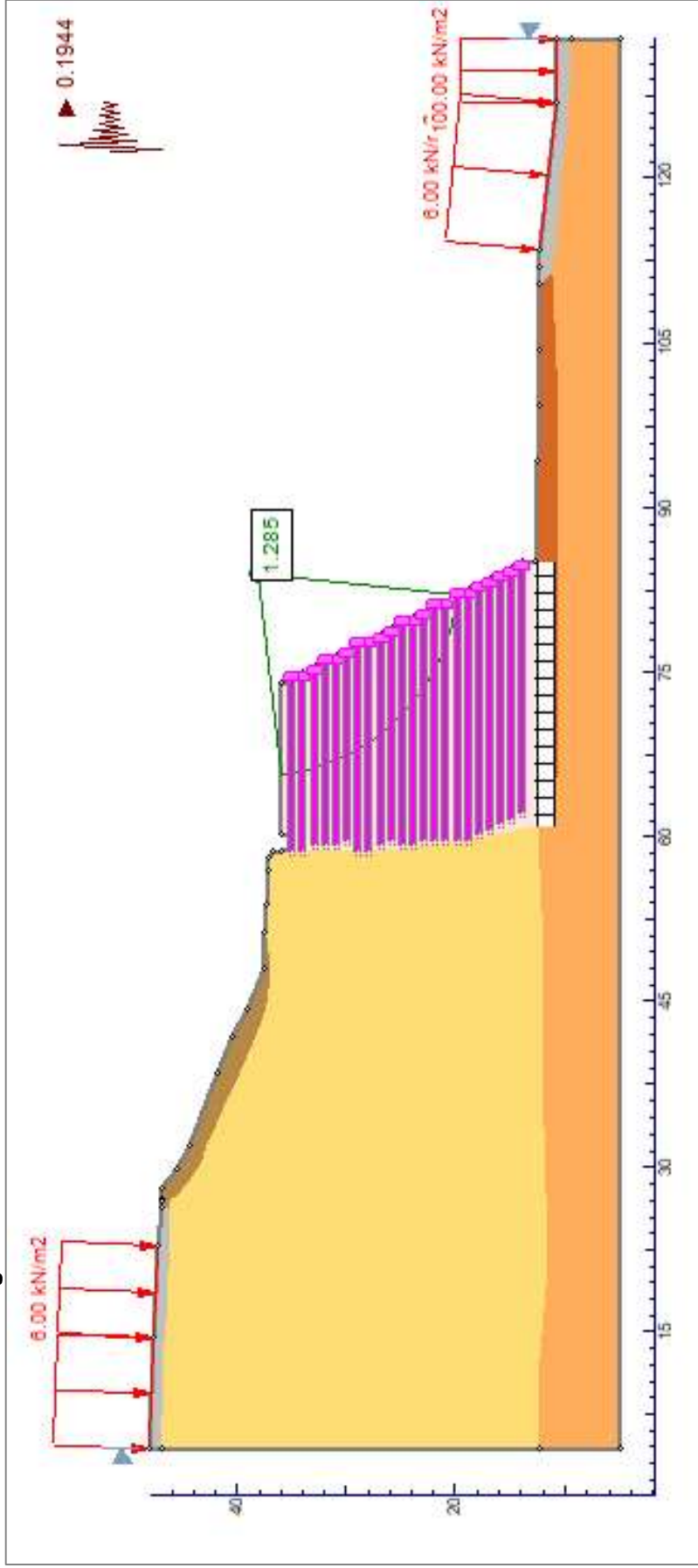
Figura 208 Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 1 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

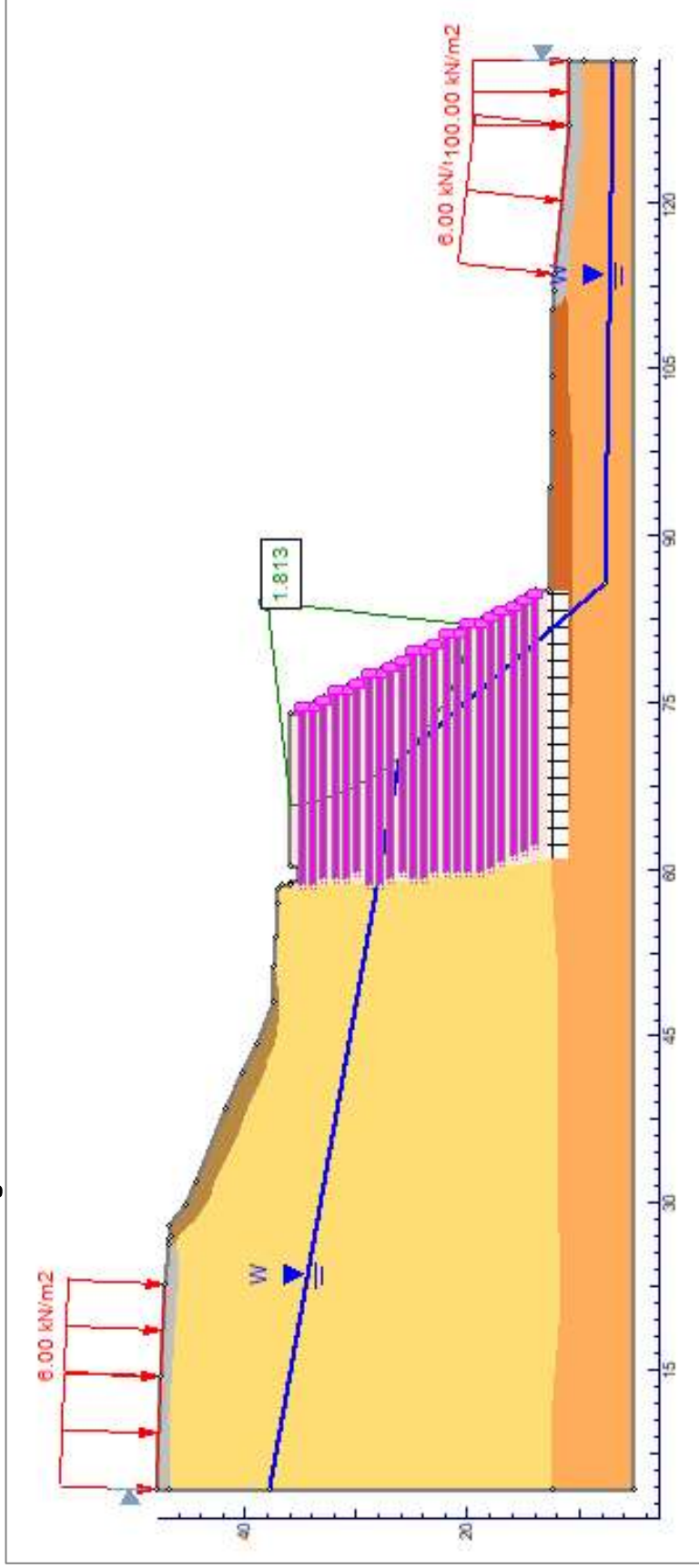


**Figura 209** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 1 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

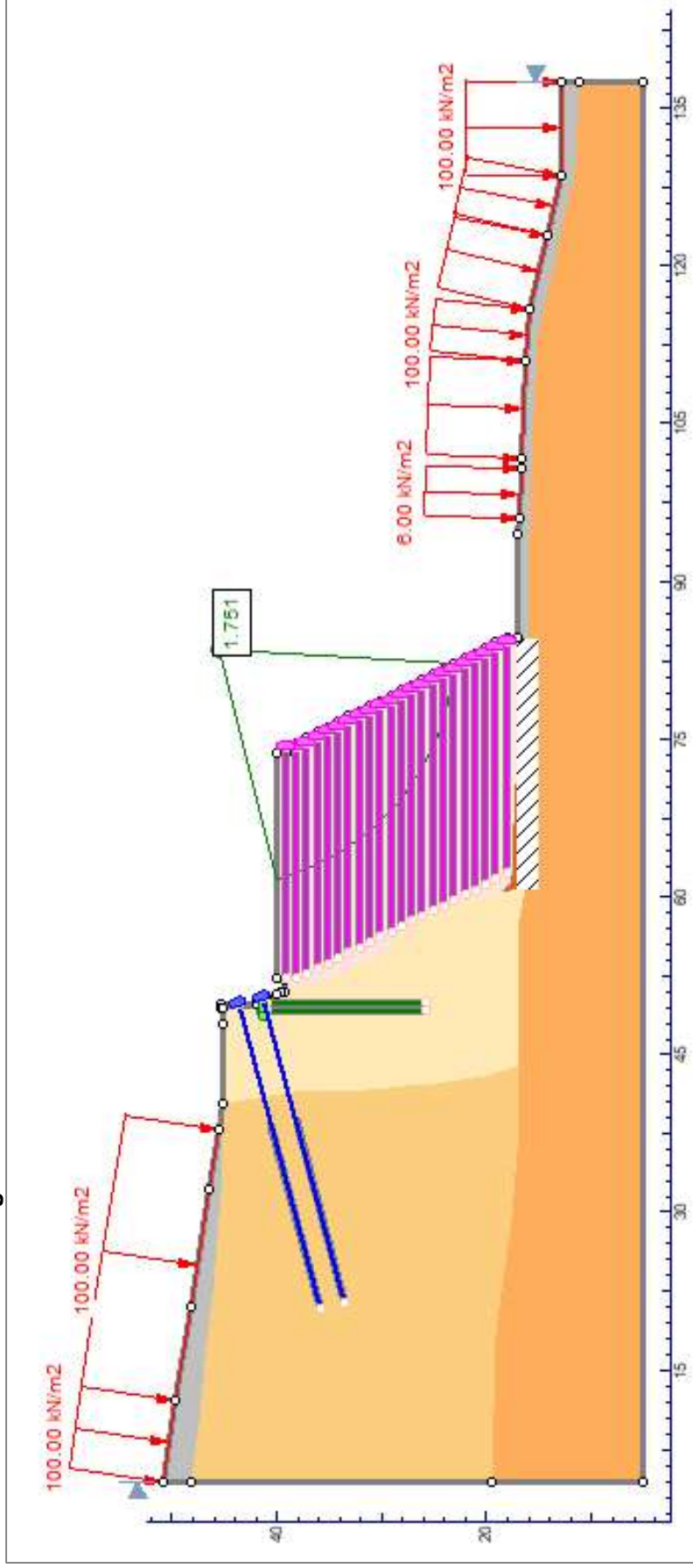
**Figura 210** Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 1 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

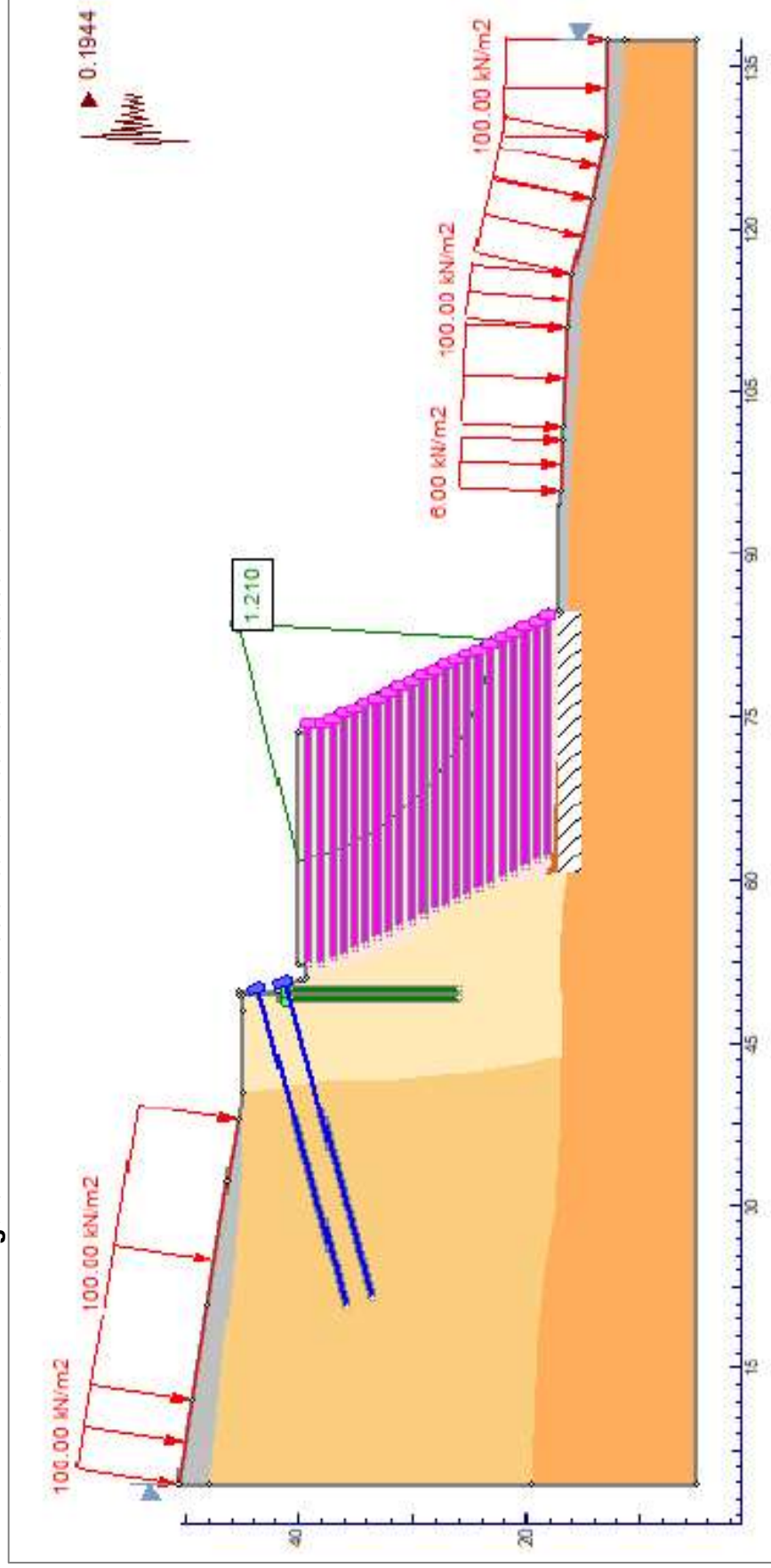
### 6.4.4.2 PERFIL 2

**Figura 211** Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 2 – Alternativa 4



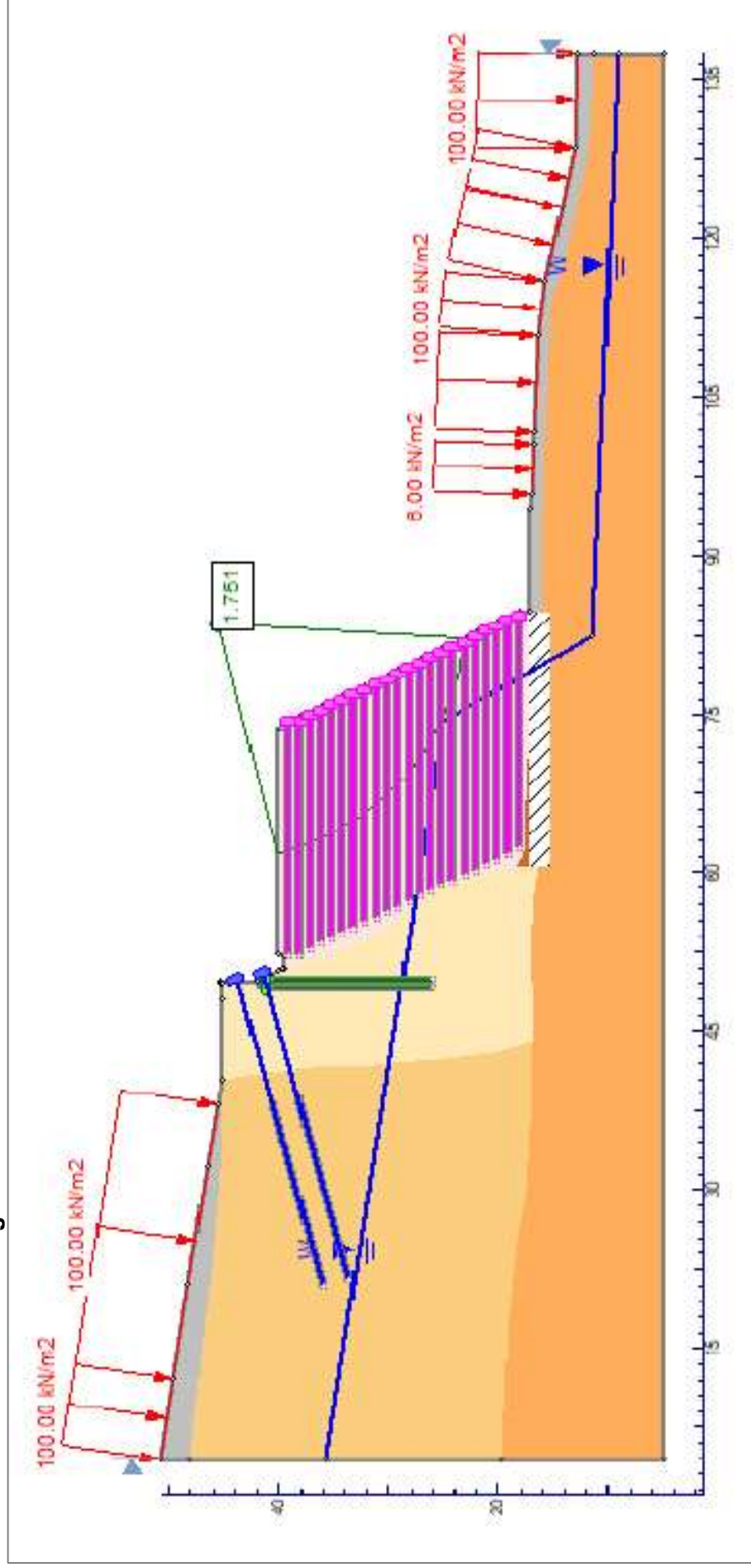
Fuente: Consultor

**Figura 212** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 2 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

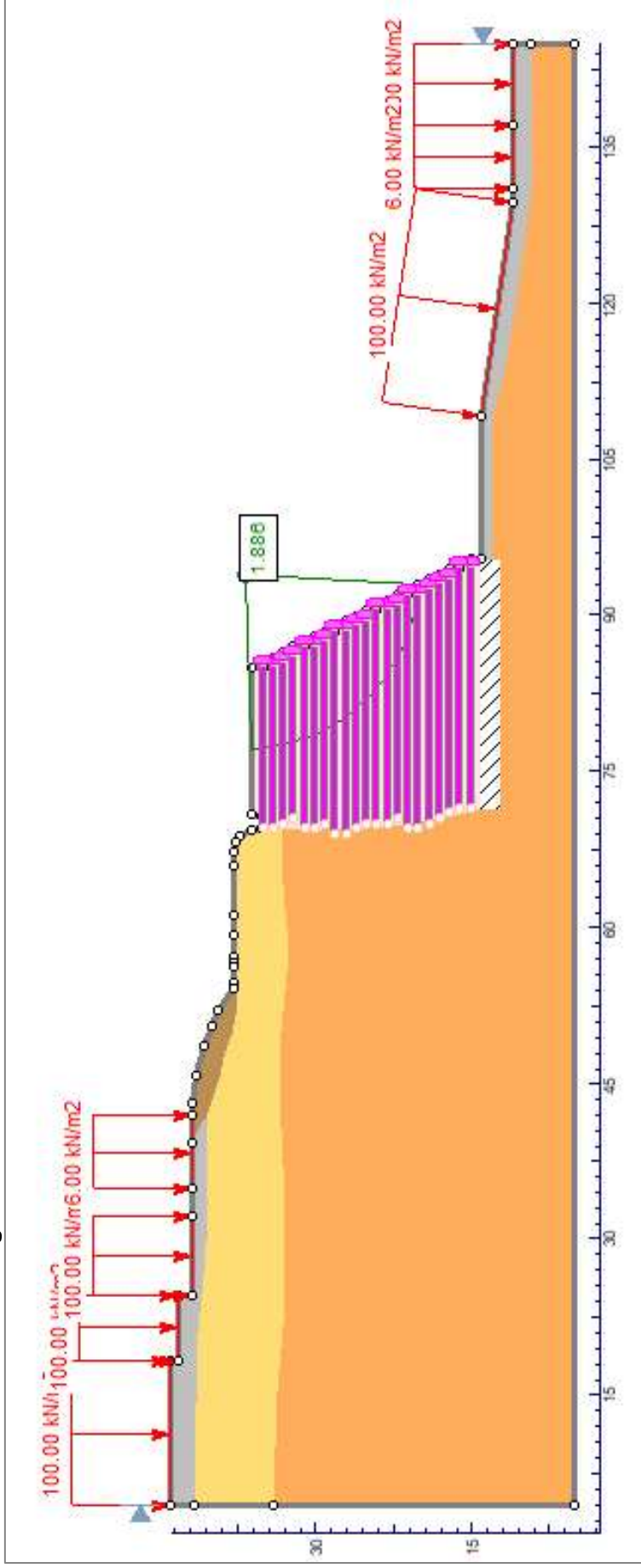
**Figura 213** Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 2 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

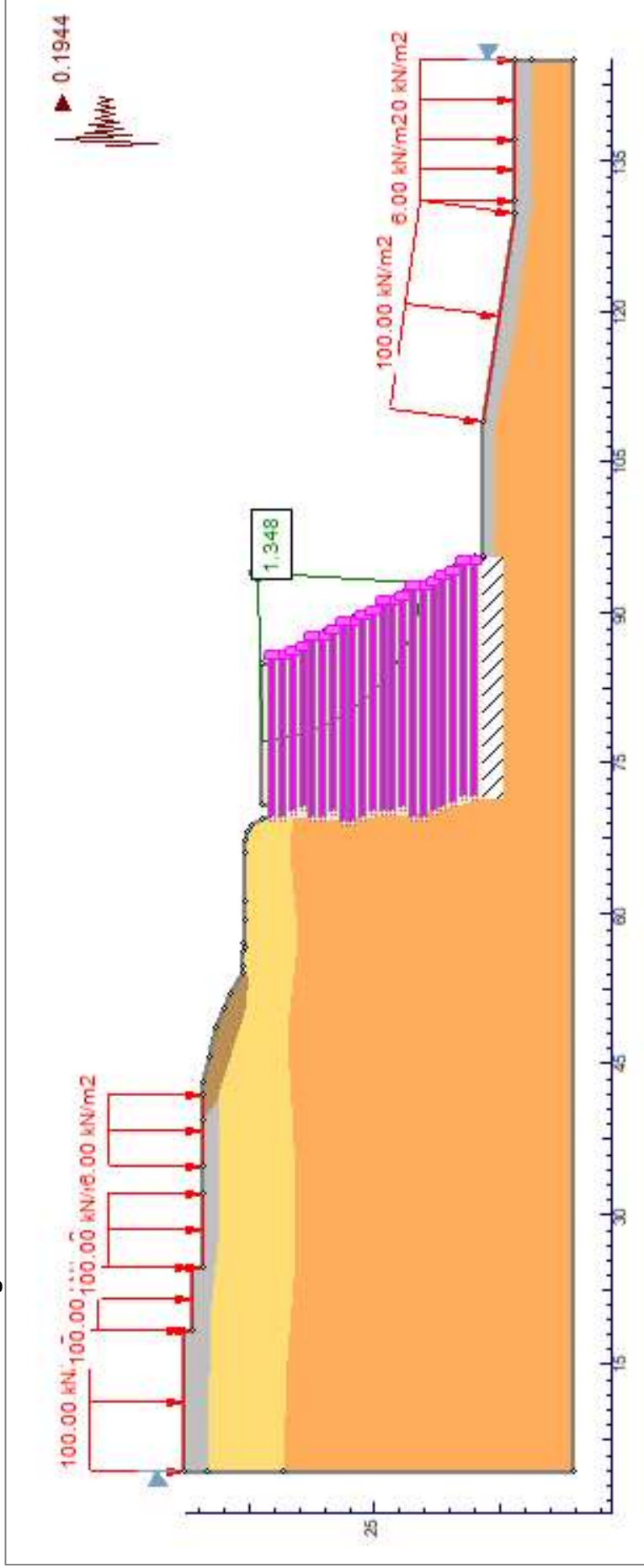
### 6.4.4.3 PERFIL 3

Figura 214 Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 3 – Alternativa 4



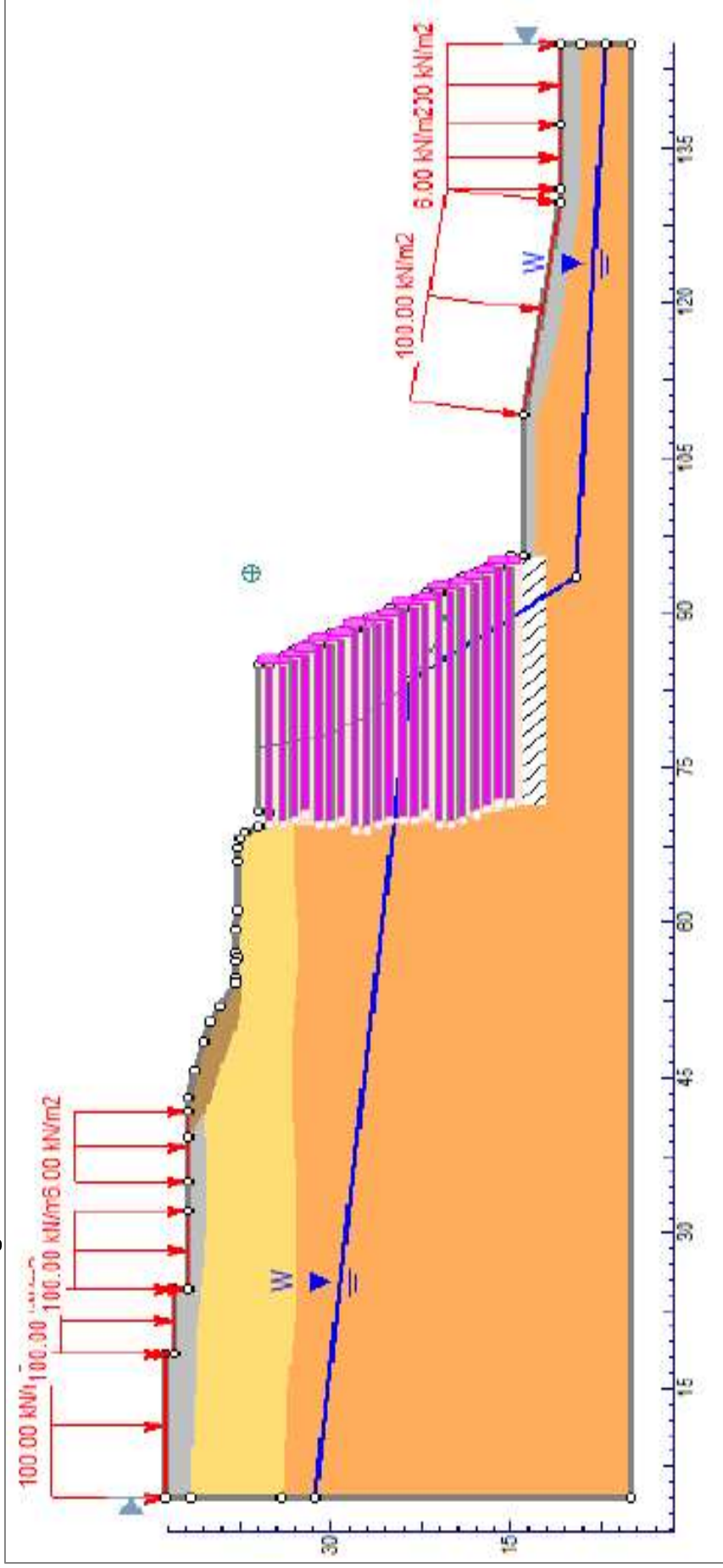
Fuente: Consultor

Figura 215 Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 3 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

Figura 216 Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 3 – Alternativa 4

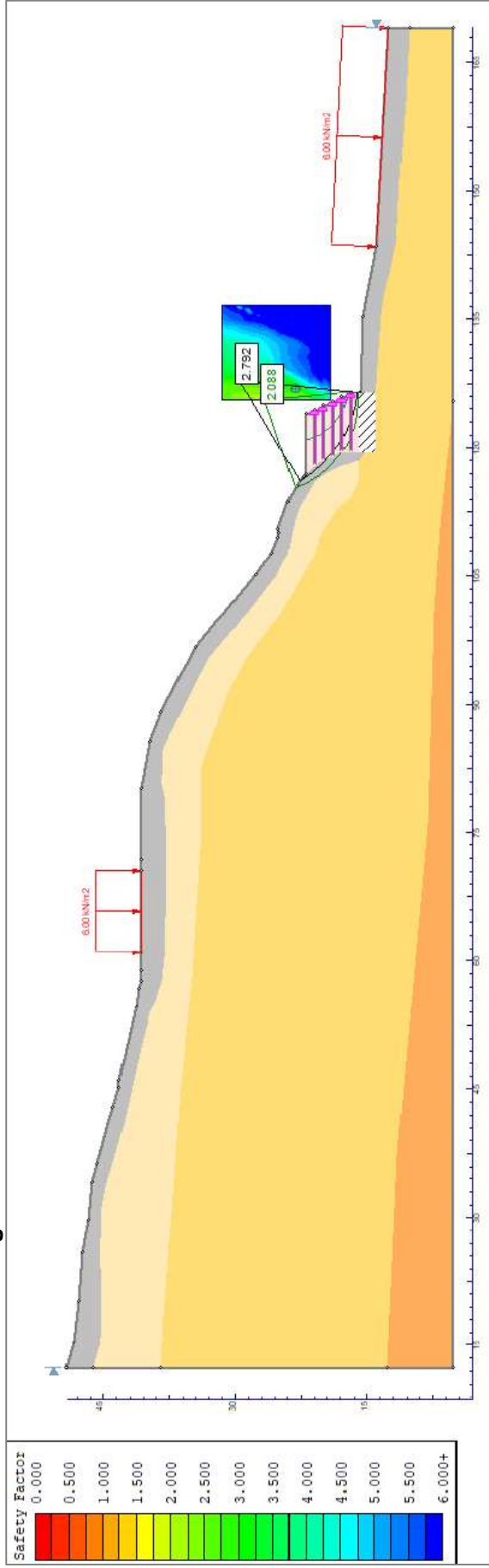


Fuente: Consultor



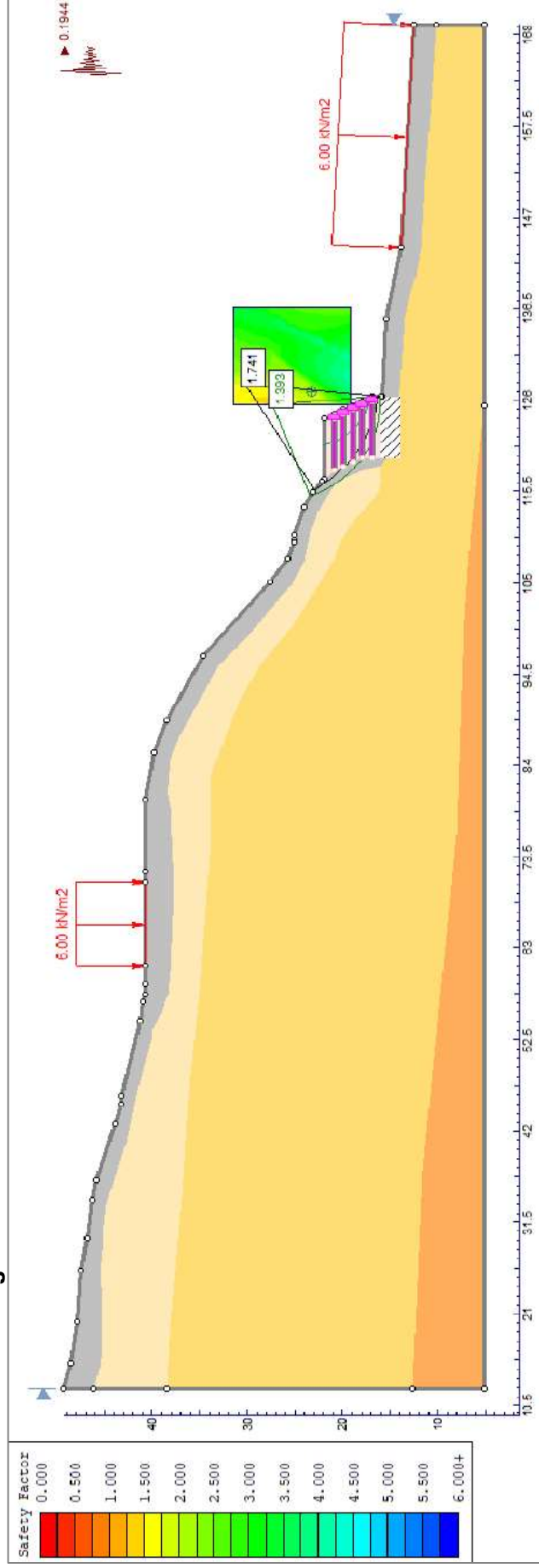
### 6.4.4.4 PERFIL 4

Figura 217 Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 4 – Alternativa 4



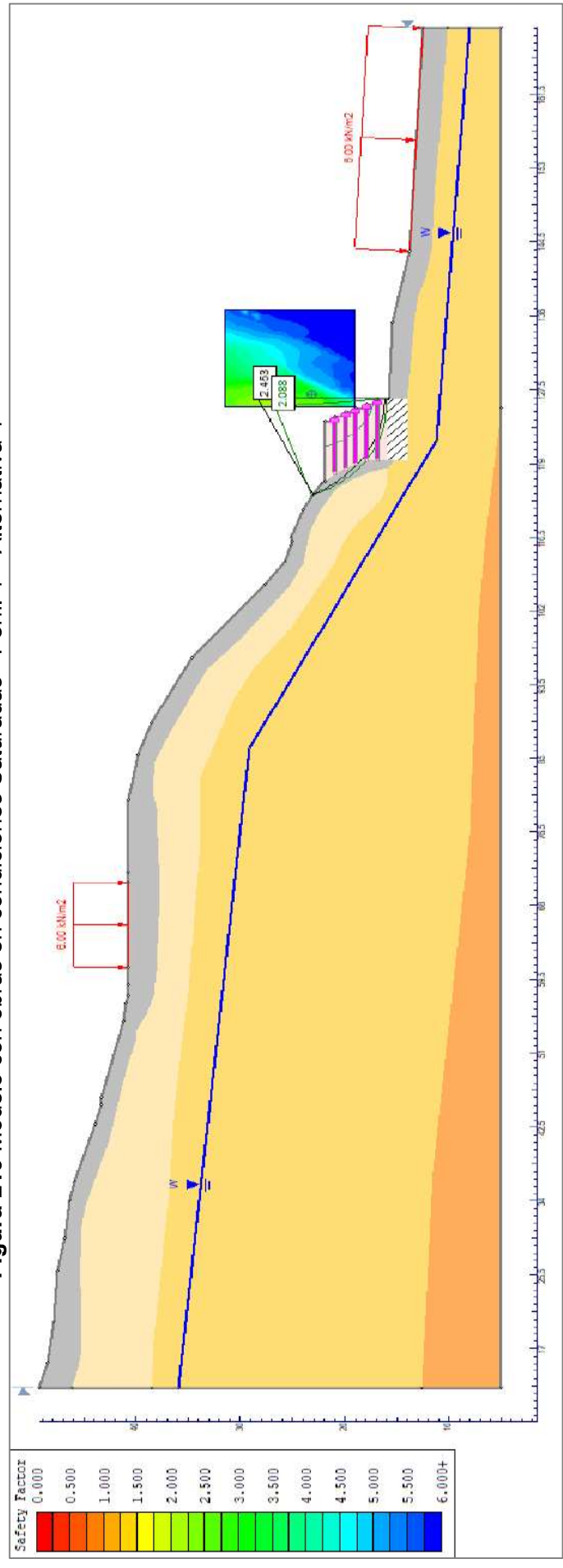
Fuente: Consultor

Figura 218 Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 4 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

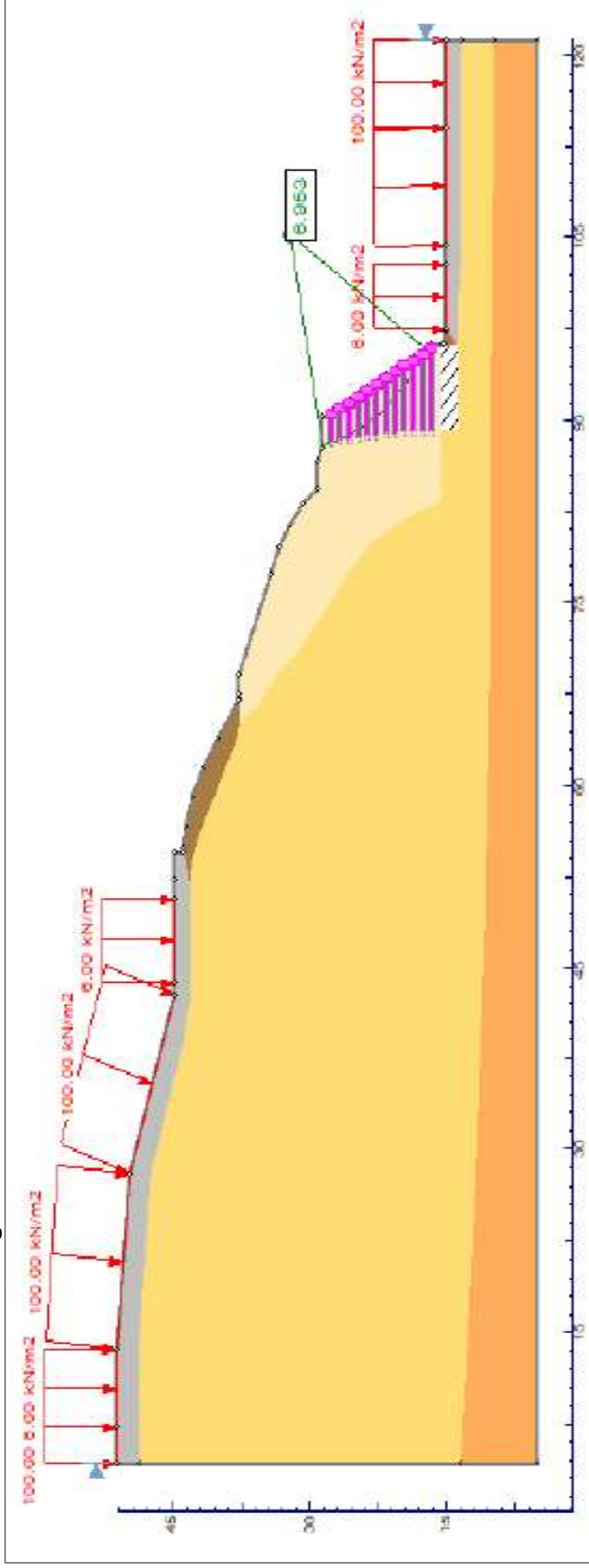
**Figura 219** Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 4 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

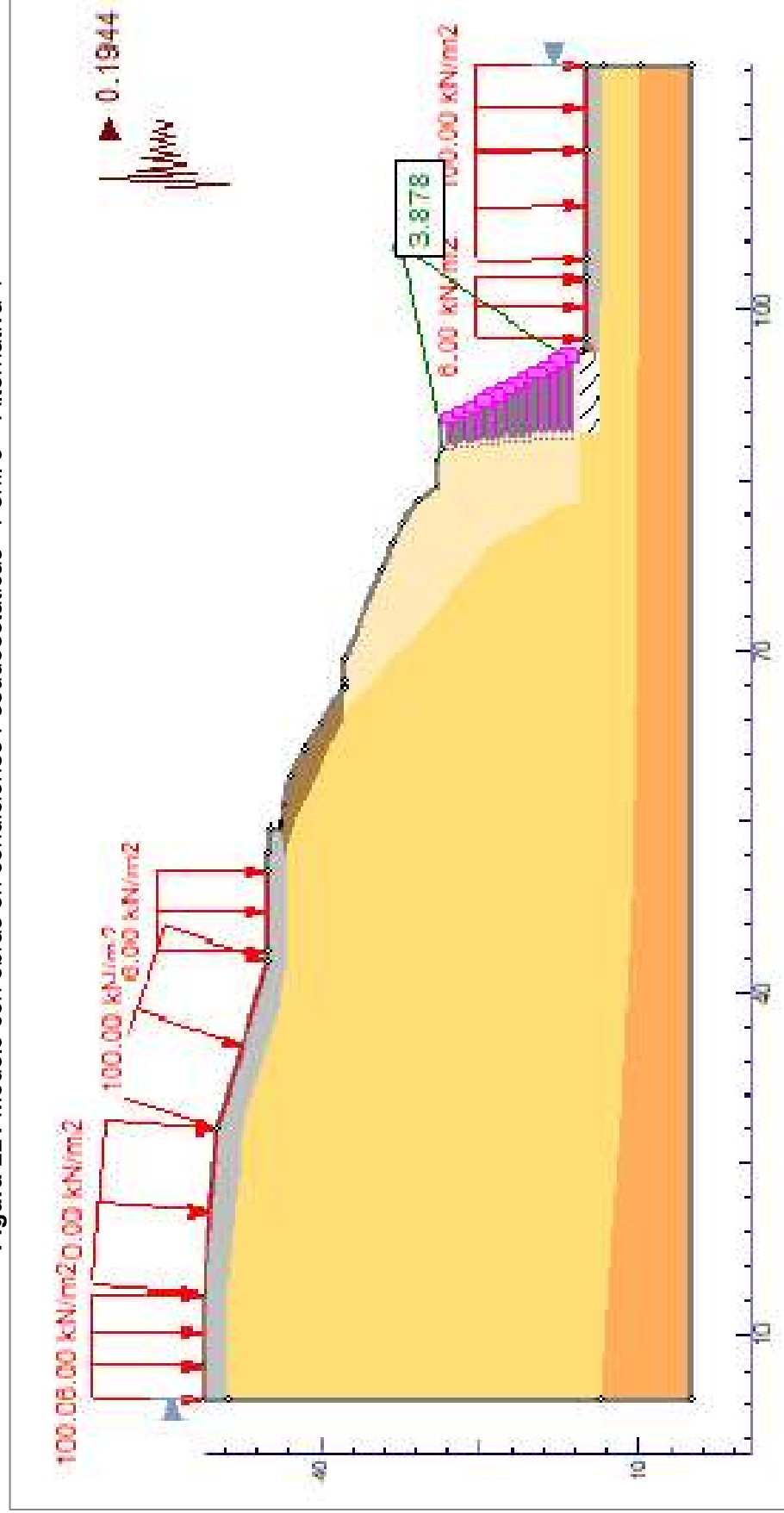
### 6.4.4.5 PERFIL 5

Figura 220 Modelo con obras en condiciones Estáticas - Perfil 5 – Alternativa 4



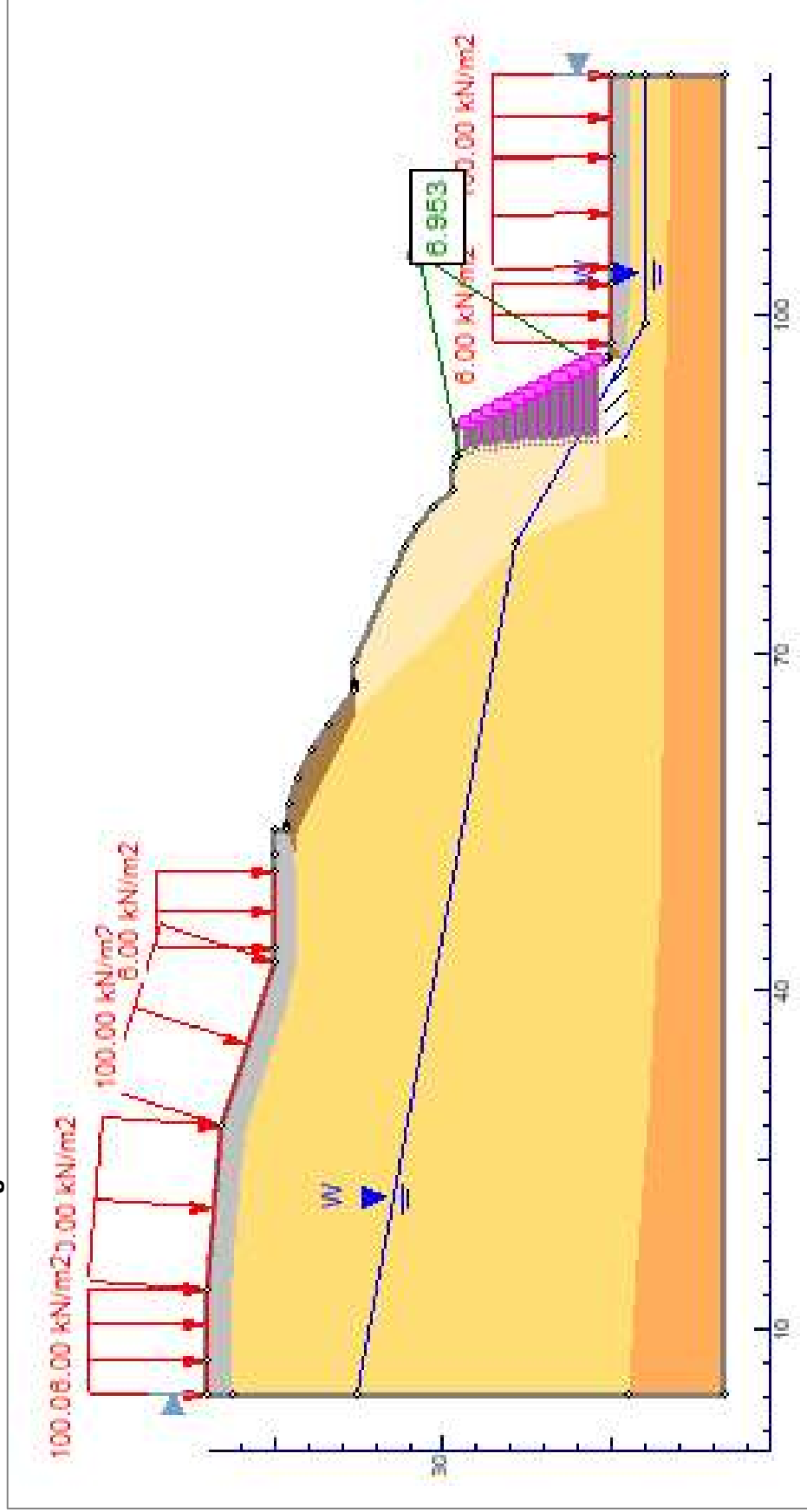
Fuente: Consultor

**Figura 221** Modelo con obras en condiciones Pseudoestáticas - Perfil 5 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

Figura 222 Modelo con obras en condiciones Saturadas - Perfil 5 – Alternativa 4



Fuente: Consultor

Los resultados de los factores de seguridad en el modelo matemático aplicando los métodos ya mencionados para los diferentes escenarios y contemplando las obras propuestas en la alternativa 4 se presentan en la siguiente tabla

Se aprecia que para todos los casos de estudio y en todos los perfiles los factores de seguridad son mayores a los mínimos especificados por la normativa vigente, lo cual indica que las obras propuestas para estabilizar el talud son técnicamente viables.

**Tabla 70** Resultados análisis de estabilidad con obras propuestas Alternativa 4

Método/Escenario		Estático	Pseudoestático	Saturado
PERFIL 1	Ordinary	1,813	1,285	1,813
	Bishop	1,756	1,281	1,756
	Janbu	2,402	1,417	2,042
	Spencer	1,995	1,262	1,995
	GLE / M -P	1,786	1,287	1,786
PERFIL 2	Ordinary	1,751	1,210	1,751
	Bishop	1,721	1,220	1,721
	Janbu	1,867	1,249	1,867
	Spencer	1,782	1,197	1,782
	GLE / M -P	1,741	1,225	1,741
PERFIL 3	Ordinary	1,886	1,349	1,886
	Bishop	1,826	1,349	1,826
	Janbu	3,480	1,825	3,480
	Spencer	1,871	1,496	1,871
	GLE / M -P	1,845	1,348	1,845
PERFIL 4	Ordinary	2,792	1,741	2,088
	Bishop	2,845	1,786	2,201
	Janbu	2,680	1,609	1,963
	Spencer	2,839	2,750	2,196
	GLE / M -P	2,841	3,423	2,196
PERFIL 5	Ordinary	6,953	3,878	6,953
	Bishop	7,072	3,971	7,072
	Janbu	6,045	3,925	6,045
	Spencer	6,490	3,866	6,490
	GLE / M -P	6,830	3,710	6,830

Fuente: Consultor

## 6.5 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta los resultados previamente evidenciados, se identifica que las 4 alternativas proyectadas son técnicamente viables y permiten garantizar la estabilidad global del talud, así como cumplir con el alcance del presente objeto contractual, correspondiente a la estabilización por fenómenos de remoción en masa del sector canteras.

Para la evaluación de las alternativas se realizó el análisis de los costos y la durabilidad que tendrá la construcción de cada una de las alternativas proyectadas, en la siguiente tabla se relacionan los costos analizados para la implementación de cada una de las alternativas proyectadas junto con la vida útil de cada una

**Tabla 71** Comparación de los costos directos

DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
Obras hidráulicas	\$ 295,132,630	\$ 295,132,630	\$ 295,132,630	\$ 475,372,500
Intervención en la superficie del talud	\$ 4,290,034,600	\$ 8,452,166,910	\$ 2,505,812,138	\$ 8,630,548,432
Intervención en el pie del talud	\$ 375,875,420	\$ 1,822,759,563	\$ 1,822,759,563	NA
Obras de contención en la corona del talud (zona de falla)	\$ 571,645,762	\$ 571,645,762	\$ 571,645,762	\$ 571,645,762
Movimientos de tierra adicionales				\$604.322.252
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	\$ 5,532,688,412	\$ 11,141,704,865	\$ 5,195,350,093	\$ 11,761,938,945
<b>VIDA ÚTIL (Aprox)</b>	Mantenimiento a los 5 años	Vida útil 75 años	Mantenimiento a los 10 años	Mantenimiento a los 10 años

Fuente: Consultor

*\*Los precios de referencia empleados para el presente análisis se basan en el análisis de precios unitarios anexo al presente documento, donde se describen las cantidades e ítems tenidos en cuenta.*

Teniendo en cuenta los costos de cada una de las alternativas, se realiza el análisis comparativo de las 4 alternativas analizadas, el mismo se detalla en el siguiente cuadro comparativo.



**Tabla 72** Análisis de alternativas

TIPO DE ALTERNATIVA	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de implementación intermedio.</li> <li>• Presenta una alternativa de bioingeniería en el entorno.</li> <li>• Bajo impacto en el paisajístico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor Vida útil (75 años)</li> <li>• Contempla intervenciones y reforzamientos en el pie del talud.</li> <li>• Fácil disponibilidad de los materiales de construcción.</li> <li>• No requiere mantenimiento periódico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menores Costos</li> <li>• Fácil disponibilidad de los materiales de construcción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta armonía paisajística.</li> <li>• Permite tener una alternativa de recuperación de la geoforma existente previamente a la explotación minera.</li> <li>• Permite ocupar el espacio que generará la demolición de la infraestructura educativa existente</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contempla intervenciones en el pie del talud.</li> <li>• La instalación de la malla HEA Panel demanda de una rigurosidad muy alta al momento de la instalación, la vida útil de este sistema depende en gran medida del cuidado en el proceso constructivo.</li> <li>• Acceso limitado a los materiales de construcción</li> <li>• Requiere mantenimiento periódico ( a los 5 años de construcción)</li> <li>• Presenta una durabilidad intermedia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayores Costos</li> <li>• Menor armonía con el entorno paisajístico</li> <li>• Mayores tiempos en su proceso constructivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta una durabilidad media baja.</li> <li>• Bajo impacto de atracción social debido a que es la alternativa con mayor similitud a las obras existentes</li> <li>• Requiere mantenimiento periódico ( a los 10 años de construcción)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere mayores obras hidráulicas que las alternativas 1,2,3.</li> <li>• Genera un alto movimiento de tierras</li> <li>• Presenta costos medios/altos. Altos.</li> <li>• Requiere la construcción de obras de mitigación provisionales para salvaguardar a los trabajadores durante el proceso constructivo.</li> <li>• Demanda una mano de obra especializada para la construcción del mismo.</li> </ul>

Fuente: Consulto

Como se menciona previamente, de acuerdo a la revisión previa, se identifica que las cuatro alternativas cumplen técnicamente con la estabilidad requerida, lo que lleva al análisis de la escogencia de la alternativa, aquella que genere mayor beneficio, seguridad y menor afectación a la comunidad beneficiada.

A nivel del presupuesto, la alternativa con mayor valor de costos directos corresponde a la alternativa No 4 (Construcción de muro mecánicamente estabilizado) y la alternativa con menores costos directos corresponde a la alternativa 1 correspondiente a la construcción de biomanto y pernos anclados tipo Bulones; la alternativa número 2 y número 3 se encuentran en precios intermedios siendo la mayor entre estas dos la alternativa No. 3 correspondiente a la conformación de anclajes activos y recubrimiento en concreto lanzado.

En cuanto a vida útil de las cuatro alternativas analizadas, la alternativa que presenta mayor vida útil corresponde a la alternativa 2, siendo este tiempo respaldado por el CCP-14, sin que en este tiempo se requieran intervenciones o mantenimiento de las obras proyectadas, las tres alternativas restantes requieren mantenimientos periódicos, en el caso de la alternativa 1 se requiere mantenimiento a los 5 años, esto debido a los requerimientos propios de los geotextiles a empeorar en el recubrimiento del talud, en el caso de la alternativa 4 correspondiente a recubrimiento mediante concreto lanzado y pernos anclados se requiere un mantenimiento cada 10.0 años, basado en la revisión del recubrimiento, empleo de aditivos y limpieza de la superficie del recubrimiento, finalmente la alternativa 4 requiere el mantenimiento y revisión del acabado en biomanto a darle, dando tratamiento de poda y limpieza.

Si bien la alternativa 4 con el desarrollo de los mantenimientos periódicos puede llegar a una vida útil de 75 años, demanda la necesidad de cumplir de manera rigurosa estos procedimientos periódicos, situación que si bien existe un manual de mantenimiento, estas actividades demandan una serie de recursos financieros y humanos los cuales no pueden garantizarse a lo largo del tiempo con la rigurosidad que demanda este tipo de obras.

En cuanto a la afectación predial, las cuatro alternativas analizadas demandan los mismos predios a intervenir por lo que la afectación final requiere la gestión predial los mismos 4 predios, sin embargo, se identifica que a nivel del proceso constructivo, la alternativa que genera mayor traumatismo en la comunidad corresponde a la alternativa No. 4, dada la necesidad de realizar una gran cantidad de movimientos de tierra, así como la movilización de hasta 81.600 m<sup>3</sup>. Para la conformación del muro mecánicamente estabilizado, así mismo, la conformación de esta alternativa demanda la tala de la totalidad de las especies arbóreas del sector, generando así un alto índice de compensación ambiental.

De acuerdo al POT del Distrito, se solicita en el artículo 25 del decreto 555 de 2021 “ Si a partir de los estudios detallados de riesgo se identifica el riesgo como mitigable, se deberá estudiar, diseñar y ejecutar las obras de reducción del riesgo, por parte del urbanizador o constructor desarrollando de forma preferencial soluciones basadas en la naturaleza e híbridas”, salvo que

técnicamente no sea posible y deban usarse otros mecanismos; en el caso particular de las alternativas proyectadas para el sitio crítico de Jerusalen- Canteras, no es posible contemplar soluciones completamente basadas en la naturaleza teniendo en cuenta el alto grado de meteorización del talud así como las afectaciones que este ya ha generado en la zona; dentro de las alternativas proyectadas existen dos tipos de alternativas híbridas correspondientes a la conformación de un muro mecánicamente estabilizado y el recubrimiento mediante biomantos, sin embargo, el mantenimiento requerido para la zona genera altos costos y un plan que debe encabezar la misma comunidad así como la rigurosidad en el desarrollo de los mismos, dada la alta incertidumbre en el desarrollo de estos mantenimientos a lo largo del tiempo, no se hace conveniente la elección de dichas alternativas dada la necesidad de mantener el talud estable durante un largo periodo de tiempo.

Por esta razón, se identifica que la alternativa que genera mayor protección al sitio crítico corresponde a la alternativa No. 2 correspondiente al reforzamiento del talud mediante anclajes activos y recubrimiento en concreto, con el fin de dar alcance al requerimiento **SbN** se propone realizar la siembra de especies nativas en el área aferente al talud, así como proyecciones urbanísticas que complementen las obras de mitigación y estabilización.

## 7. DISEÑO DE OBRAS

### 7.1 OBRAS HIDRÁULICAS PROYECTADAS:

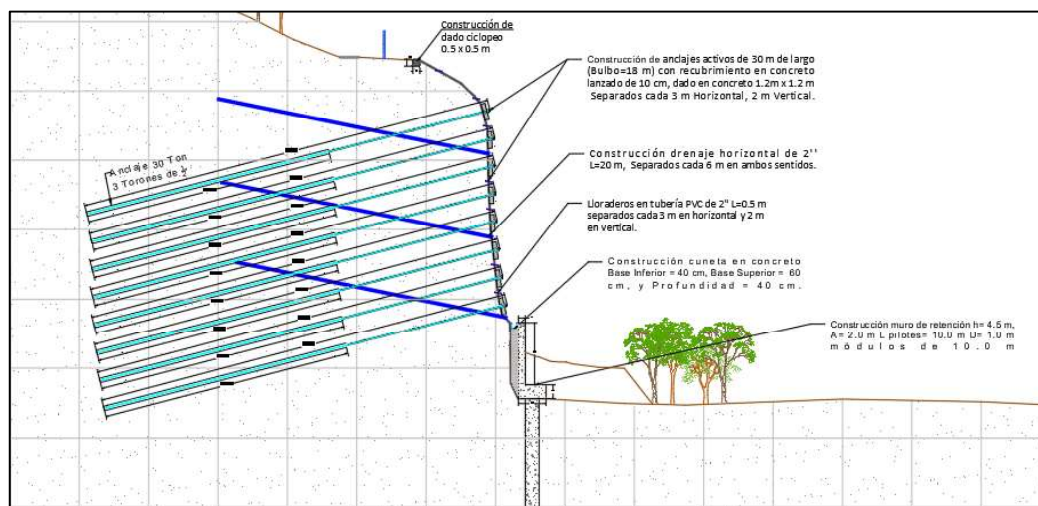
A continuación, se describen las obras hidráulicas proyectadas para el sector, las cuales se consideran necesarias para la adecuada mitigación de los procesos de remoción en masa identificados:

- Construcción de filtro francés en la corona superior del talud, a lo largo de toda el área en estudio.
- Construcción de filtro francés en el pie del talud, a lo largo de toda el área en estudio.
- Construcción de sumideros transversales en vías localizadas sobre el talud superior del área en estudio.
- Construcción y reparación de cunetas en la corona y en el pie del talud.
- Construcción de drenes de penetración en el talud con diámetro de 2", los cuales descolarán en los canales a proyectar en el pie del talud.

Las obras hidráulicas recomendadas previamente garantizan el manejo adecuado de la escorrentía superficial, es por esto que se hace necesaria la construcción de las obras mencionadas indiferente a la alternativa de mitigación que se tome.

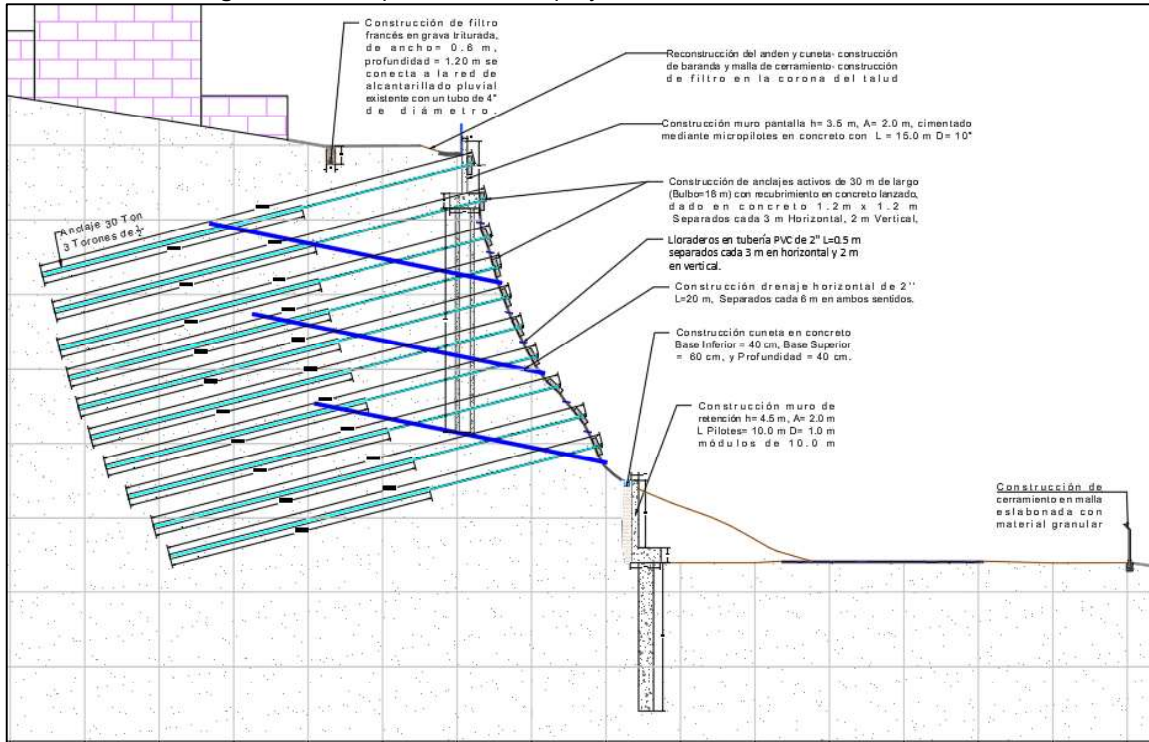
La presente alternativa contempla la construcción de anclajes activos con longitud de 30.0 metros distribuidos sobre el talud a 3.0 m de distancia horizontal y 2.5 m de distancia vertical, se propone que los anclajes cuenten con dados con una base y altura igual a 1.2 m, esto con el fin de aportar mayor rigidez a la superficie del talud, con el fin de controlar los procesos de caídos, se propone demoler el muro en gavión y la malla existente en el pie del talud y construir un muro en concreto reforzado rígido con altura total de 5.5 m entre el vástago y la zarpa, se propone cimentar este muro mediante caissons con diámetro igual a 1.0 m y una longitud de 10.0 m, en las siguientes figuras se presentan los esquemas de las obras proyectadas para la alternativa 2.

**Figura 223** Esquema de obras proyectadas Perfil 1- Alternativa No. 2



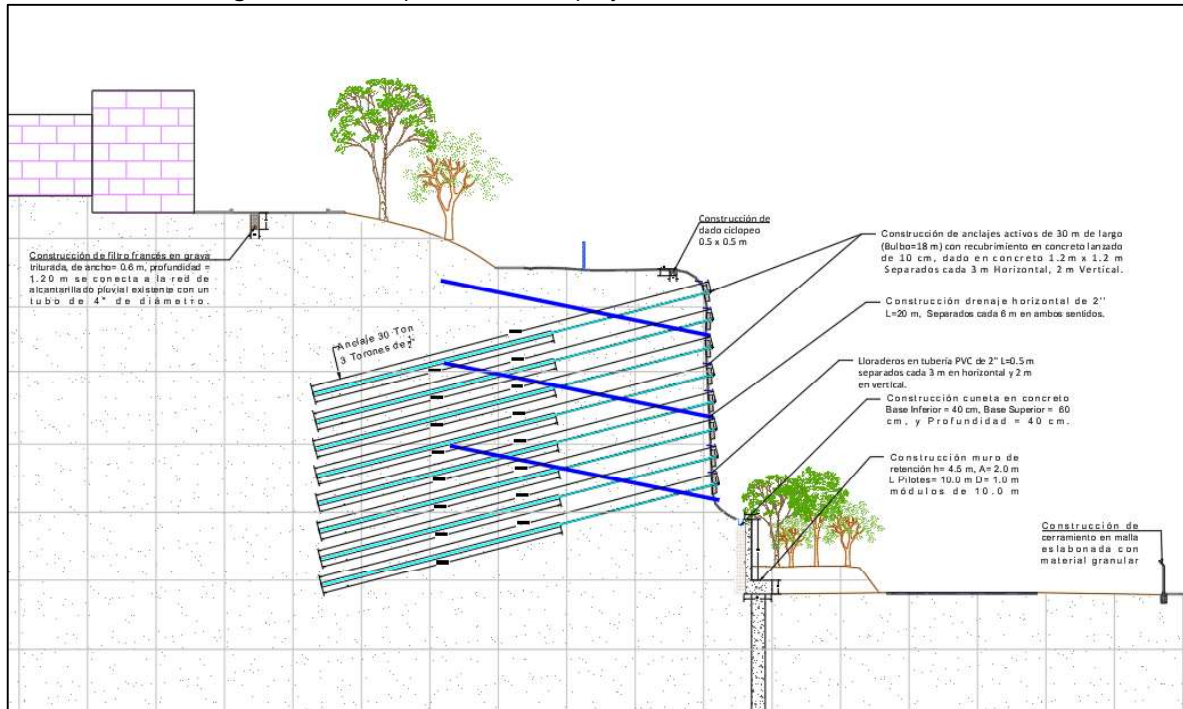
Fuente: Consultor

**Figura 224** Esquema de obras proyectadas Perfil 2- Alternativa No. 2



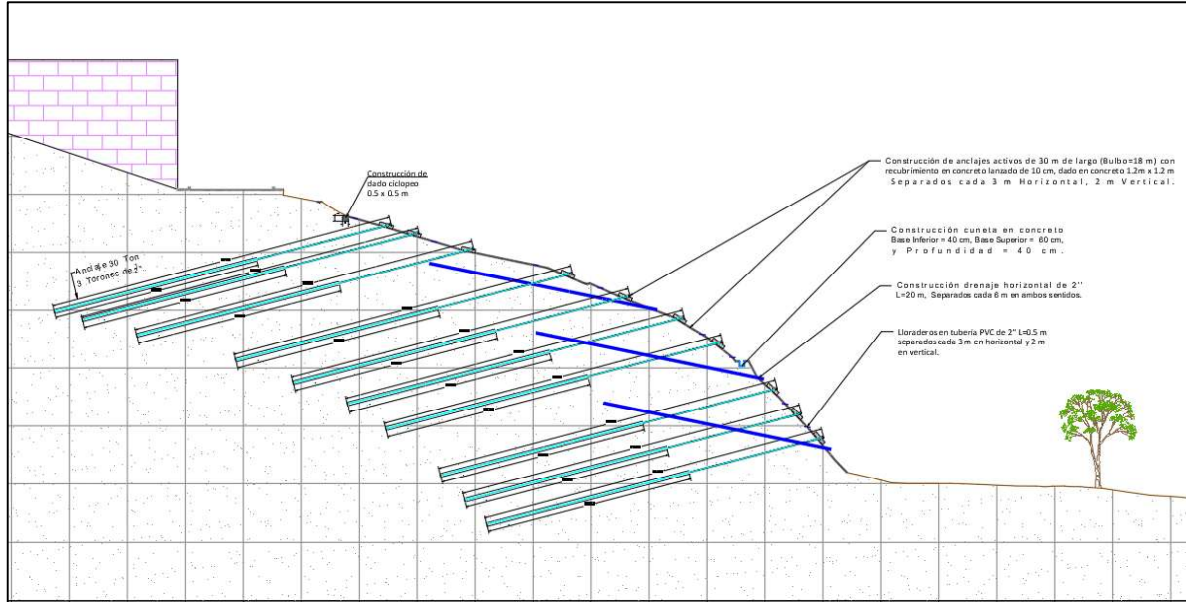
Fuente: Consultor

**Figura 225** Esquema de obras proyectadas Perfil 3- Alternativa No. 2



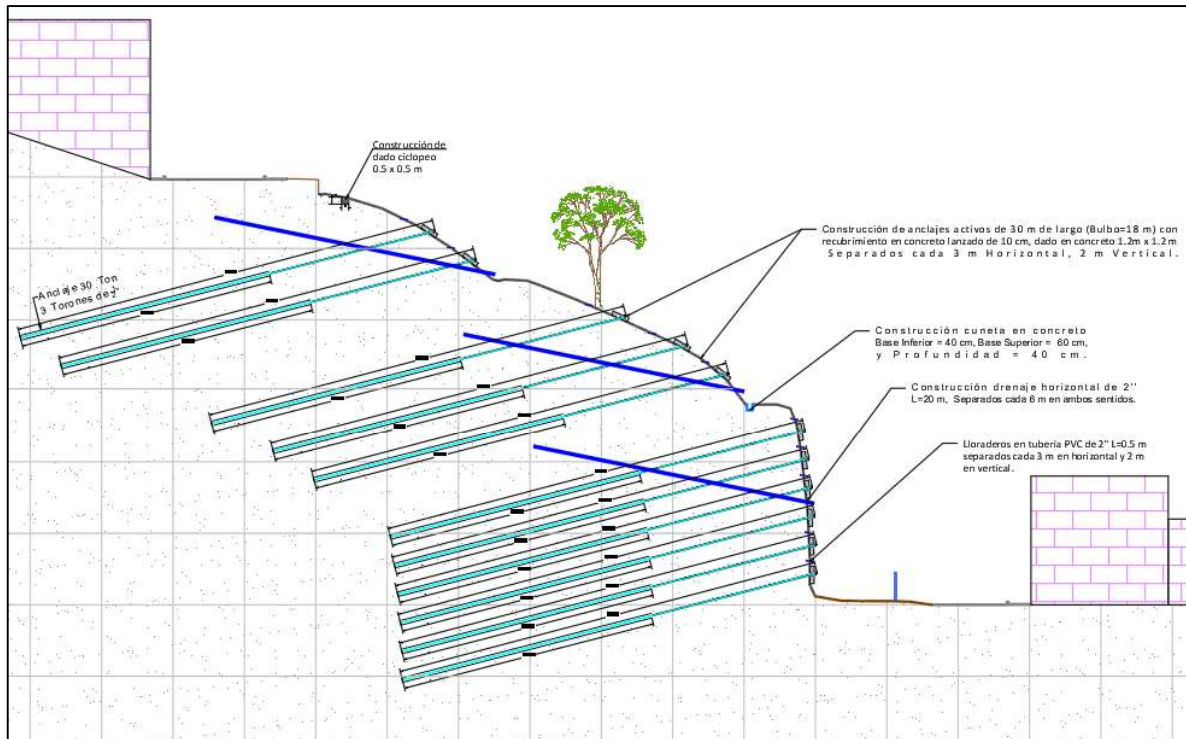
Fuente: Consultor

**Figura 226**      Esquema de obras proyectadas Perfil 4- Alternativa No. 2



Fuente: Consultor

**Figura 227**      Esquema de obras proyectadas Perfil 5- Alternativa No. 2



Fuente: Consultor

Para las obras proyectadas se realizan los planos y diseños que respalden el cumplimiento técnico de los mismos, correspondientes a diseños de tipo geotécnico, diseños estructurales y diseños hidráulicos para la construcción de las obras proyectadas a continuación se presenta el resumen de las actividades desarrolladas dentro de cada uno de estos diseños.

#### **7.1.1 Planos de Obras detalladas:**

Para la proyección de las obras se desarrollaron 13 planos tamaño pliego, donde se identifican las plantas, perfiles, secciones y detalles requeridos para la construcción de las diferentes obras proyectadas a nivel de detalle, estos se encuentran en el Anexo No. 1 Planos de Obras.

#### **7.1.2 Diseño geotécnico:**

En la verificación geotécnica de las obras proyectadas, se analiza, la estabilidad global de las diferentes obras proyectadas, así mismo se analiza la estabilidad interna de estas junto con la evaluación de la capacidad portante de las diferentes obras proyectadas, este diseño se presenta en el Anexo No. 2. Memorias Diseño Geotécnico.

#### **7.1.3 Diseño Hidráulico:**

En los siguientes diseños se evalúa la sección proyectada para cada una de las obras hidráulicas propuestas, tanto obras de drenaje superficial como las obras de sundrenaje propuestas requeridas dentro del proyecto, empleando los lineamientos establecidos en el RAS 2017, así como los lineamientos establecidos en las normas técnicas de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB, para el presnete anexo se incluye adicionalmente el visto bueno definido por esta misma entidad para los diseños generados; el diseño detallado de las obras hidráulicas se presenta en el Anexo No. 3. Memorias de diseño hidráulico.

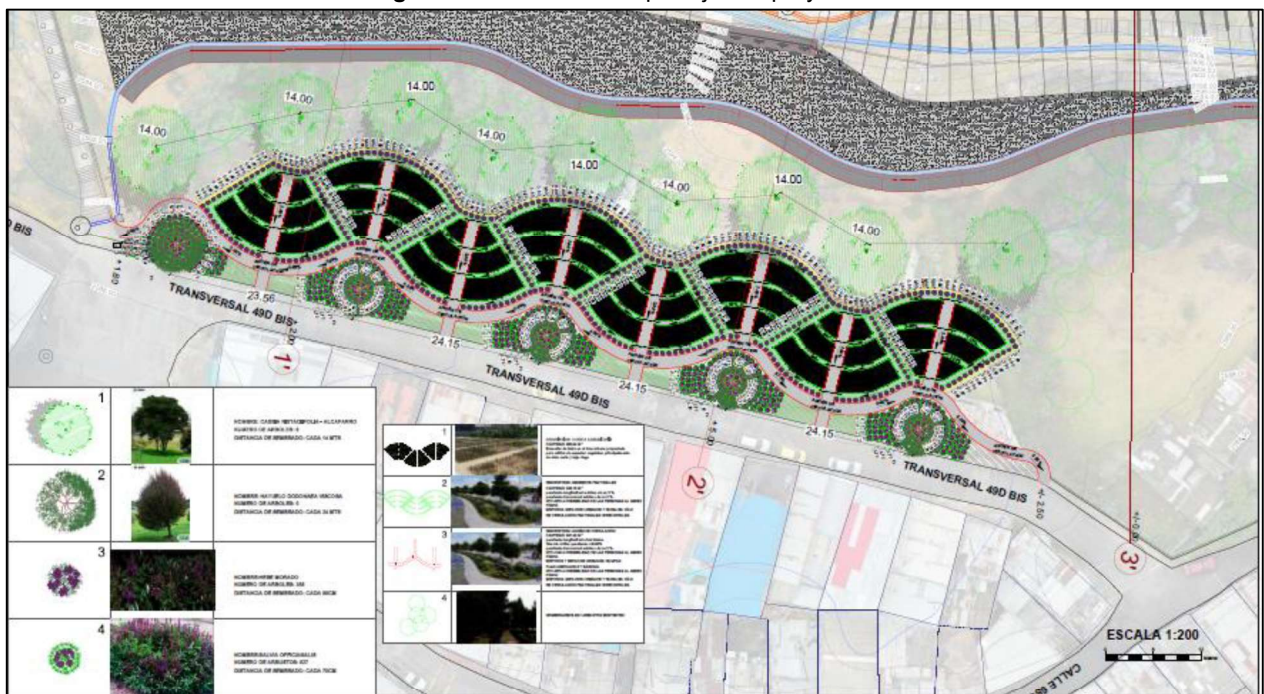
#### **7.1.4 Diseño estructural:**

El diseño estructural se realiza de acuerdo a los requerimientos establecidos en el CCP-14 del INVIAS, en él se relaciona la proyección estructural para la construcción de los muros de contención, cimentaciones y demás estructuras proyectadas en la zona así como las recomendaciones requeridas para la construcción de las obras, los diseños estructurales detallados se presentan en el Anexo 4, correspondiente a Memorias de diseño estructural.

### 7.1.5 Diseño Urbanístico

Teniendo en cuenta que dentro del proyecto, se contempla la demolición de los espacios actualmente ocupados por las antiguas edificaciones del colegio, se proyecta la construcción de obras de urbanismo, las cuales permitan renovar las condiciones del sector y permitir la participación activa de la comunidad en el mantenimiento de estos espacios, para ello, se propone como primera medida la arborización de especies nativas correspondientes a *Cassia Pistaciifolia* (Alcaparro), *Hayuelo Dodonaea Viscosa*, *Hebe Morado* y *Salvia Officianalis*; adicionalmente se contempla la construcción de senderos peatonales y una huerta comunitaria, que incentive la participación ciudadana, en la siguiente imagen se encuentra el planteamiento paisajístico proyectado, el diseño detallado se encuentra en en Anexo 5. Diseño Urbanístico.

**Figura 228** Plantamiento paisajístico proyectado

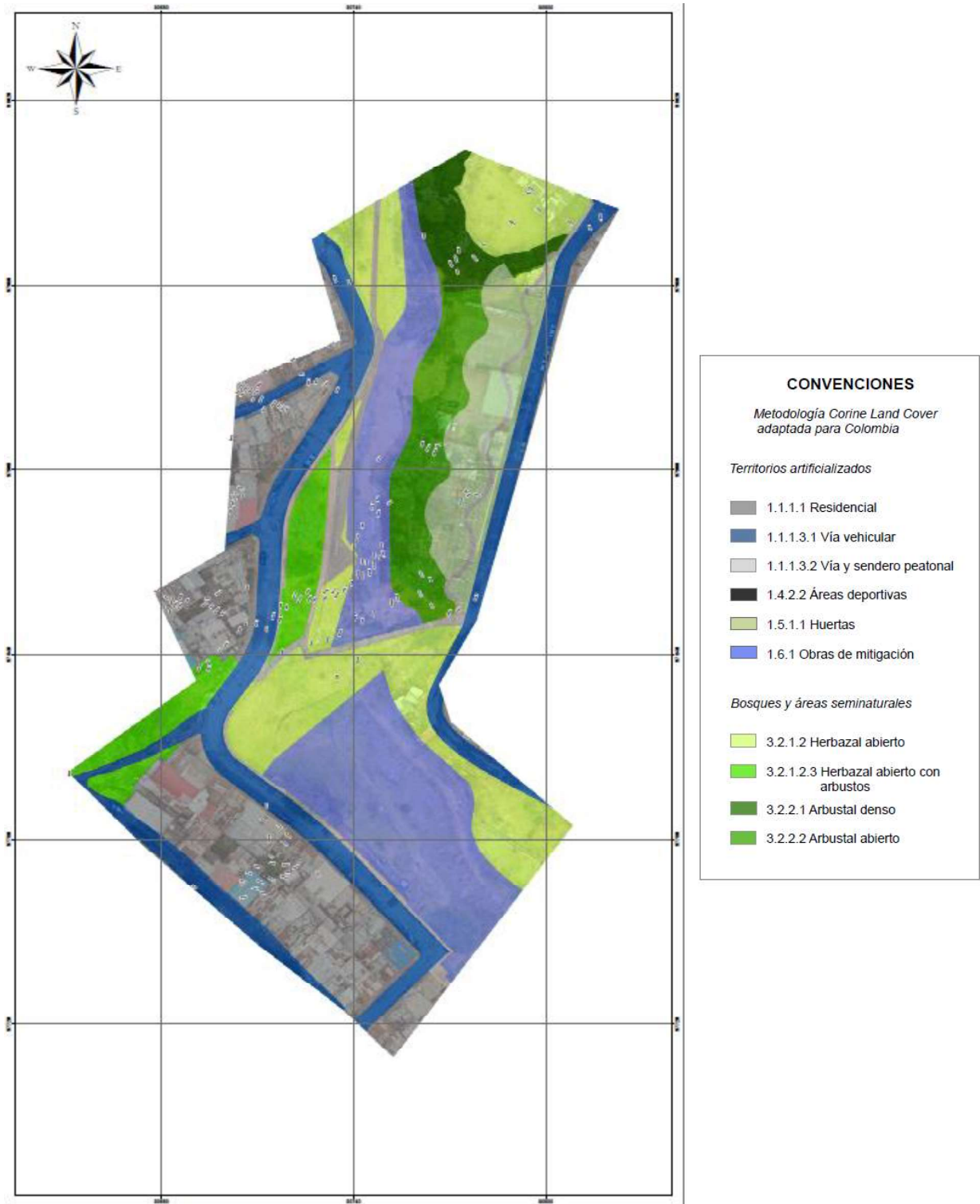


Fuente: Consultor.

Dada la condición proyectada, al finalizar la construcción de las obras, el uso del suelo en el territorio será modificado, dando paso a nuevas coberturas, las cuales se describen en la siguiente figura.



**Figura 229** Cobertura y Uso del suelo Futuro



Fuente: Consultor.

El escenario futuro del uso del suelo en el sector Jerusalén-Canteras, contempla la modificación de áreas con escasa vegetación, correspondiente a afloramientos rocosos y tierras desnudas y degradadas sobre los taludes críticos en estudio, por la construcción de obras de mitigación que establezca y controle eficazmente los procesos erosivos intensos y los movimientos en masa activos y latentes que afectan estos sectores. Así mismo, un área de ocupación de la cobertura de suelos degradados, localizada en la base de los taludes, será recuperada por medio de la implementación y extensión de coberturas de tipo arbustal, regularmente distribuidos de acuerdo a las proyecciones urbanísticas planteadas.

Por otra parte, el uso urbano catalogado como educativo, que corresponde al C.E.D Plan Canteras, será demolido y reemplazado por zonas verdes artificializadas agrícolas. Esta categoría comprende zonas verdes localizadas en las áreas urbanas, sobre las cuáles se desarrollan actividades recreacionales, agrícolas a pequeña escala, de conservación y de amortiguación, y son el resultado de procesos de planificación urbana para el mejoramiento de las condiciones paisajísticas del área.

#### **7.1.6 Inventario Forestal:**

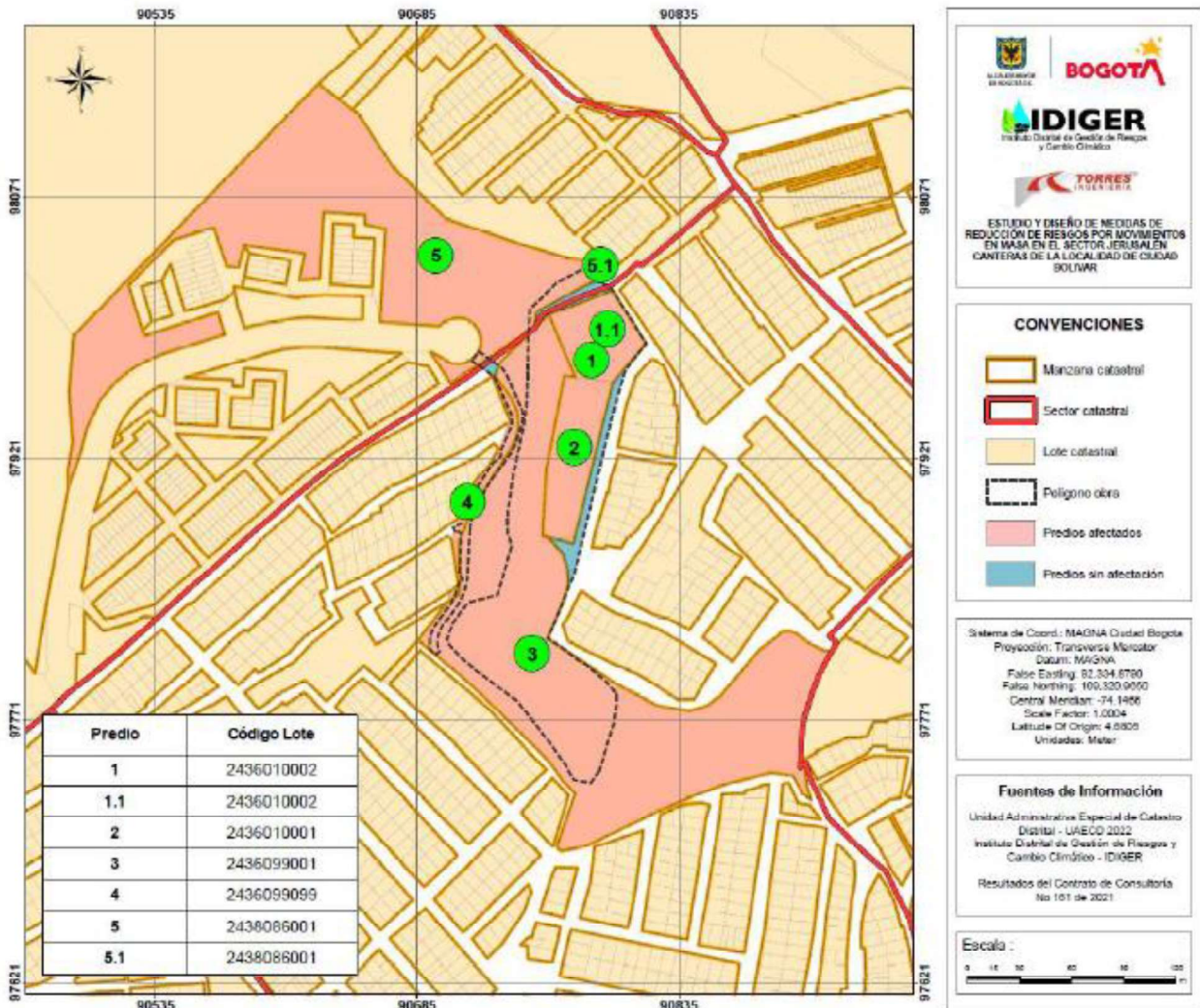
En el inventario forestal del área en estudio, se realizó la identificación de las diferentes especies arbóreas existentes en el área en estudio, siendo en total levantados 181 latizales y 71 Fustales, completando en total 252 individuos, siendo las especies representativas Ciro (*Baccharis bogotensis benth*), Cajeto (*Citharexylum subflavescens*), Acacia negra-gris (*Acacia decurrens*), Guayacan de Manizales (*Lafoensia acuminata*), Higuierillo (*Ricinus communis*) y Arrayan blanco (*Myrcianthes leucoxylla*), el Hayuelo (*Dodonaea viscosa*) la especie predominante en la zona de estudio, seguido de Acacia negra,gris (*Acacia decurrens*) en menor proporción.

Así mismo se identifica que la construcción de las obras proyectadas afectará en total 122 latizales y 30 fustales, a partir de la identificación de las especies levantadas y afectadas, se definen los tratamientos silviculturales para cada una de las mismas siguiendo las recomendaciones expuestas en el *Manual de Silvicultura Urbana para Bogotá*, dentro del presente diseño se desarrolla el plano detallado con la localización de los individuos, el plano de cobertura vegetal, así como el diligenciamiento de la ficha técnica de registro para cada individuo que genera volumen y el diligenciamiento del formulario de solicitud de manejo o aprovechamiento forestal, los documentos y análisis detallado del inventario forestal se encuentran en el Anexo 6 del presente proyecto: Inventario Forestal.

#### **7.1.7 Estudio predial:**

Dentro del presente estudio predial se realiza la identificación de los predios intervenidos por la construcción del proyecto, tanto en los espacios ocupados por las obras de mitigación, como los espacios a ocupar dentro del proceso constructivo, dentro de la evaluación se analiza la intervención de 5 unidades inmobiliarias tal como se presenta en la siguiente figura

**Figura 230** Predios con afectación predial dentro del polígono de obras



Fuente: Consultor.

Así mismo, se realiza la identificación de la malla vía aferente al proyecto y los tramos viales que serán afectados con la construcción de las obras de drenaje superficial proyectados correspondiente a los sumideros, el análisis detallado así como las recomendaciones a seguir durante el proceso de gestión predial en el momento de la construcción, se relacionan en el Anexo 7: Estudio Predial.

### **7.1.8 Plan de Manejo ambiental:**

Dentro del plan de manejo ambiental del proyecto, se evalúan las características del proyecto así como las afectaciones a nivel ambiental que se darán, para el presente proyecto se identifican como los principales impactos bióticos en la Flora del área en estudio así como físicos y socioeconómicos.

A nivel de permisos ambientales en el presente proyecto no se requiere la solicitud de ocupación de cauces, dado que dentro del mismo no se identifica cuerpos de agua que puedan ser afectados.

En cuanto a la compensación ambiental, se evaluó el número total de individuos arbóreos que serán afectados por la construcción del proyecto, de los cuales se calcula la necesidad de compensar 338 unidades de latizales.

Dentro de la documentación ambiental se incluyen los soportes requeridos para realizar la solicitud de excavación para la construcción de los sumideros y de las obras hidráulicas que conectarán con la red de alcantarillado existente.

Finalmente se estable el presupuesto y cronograma ambiental basado en las actividades ambientales propias del proyecto, el estudio ambiental detallado se encuentra en el Anexo 8. Plan de Manejo Ambiental.

### **7.1.9 Presupuesto y Programación de Obra:**

Para la ejecución del presupuesto se desarrolla inicialmente el estudio de mercado propio del sector, con el fin de evaluar los costos, este se realizó basado en precios de cotizaciones y valores de referencia del mercado, así mismo se analizaron las distancias de movilización desde el sitio de suministro hasta el proyecto, así como las distancias desde el proyecto hasta los sitios de disposición de materiales estériles y escombros, el proyecto tiene en total costos directos por valor igual a \$13.069.944.950 distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla 73** Resumen del presupuesto proyectado

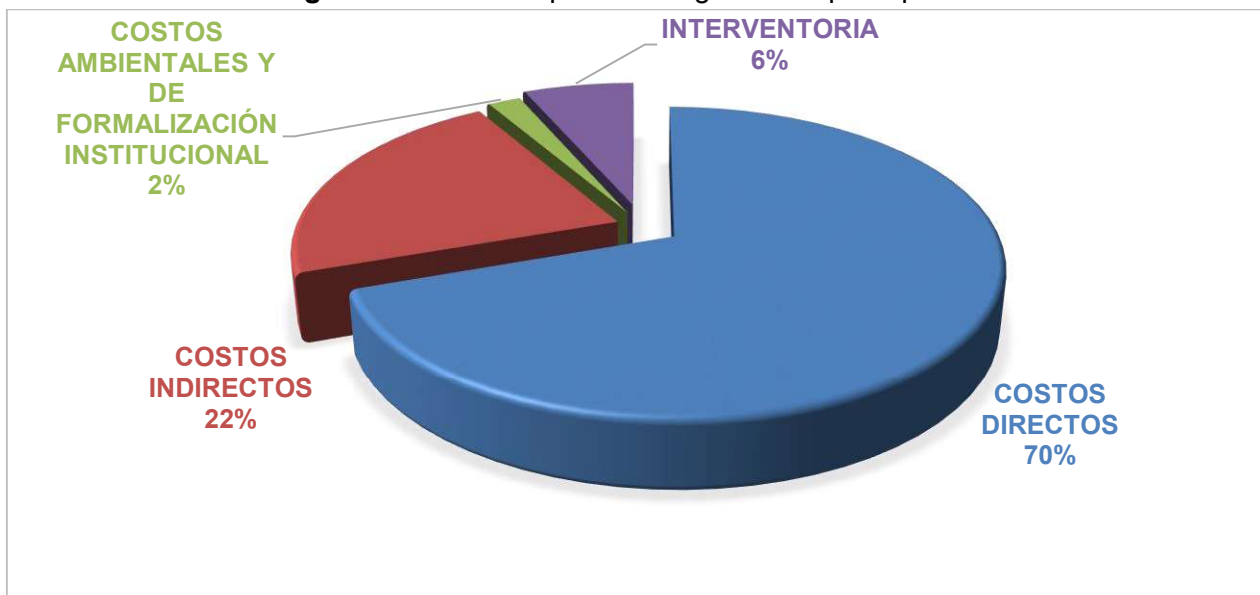
TIPO DE COSTOS	DESCRIPCIÓN	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
COSTOS DIRECTO	PRELIMINARES	\$ 1,091,240,151	\$ 13,069,944,950
	MOVIMIENTOS DE TIERRA	\$ 159,888,157	
	OBRAS DE CONTROL Y ESTABILIZACIÓN SOBRE EL TALUD	\$ 8,716,734,081	
	OBRAS DE CONTROL Y CONTENCIÓN EN EL PIE DEL TALUD	\$ 1,994,961,312	
	OBRAS DE CONTROL Y ESTABILIZACIÓN EN LA CORONA DEL TALUD (CONSTRUCCIÓN DE MURO PANTALLA L=16m)	\$ 174,523,135	
	OBRAS HIDRÁULICAS PARA EL MANEJO DE ESCORRENTÍA EN LA VÍA SOBRE EL TALUD	\$ 50,017,337	
	OBRAS HIDRÁULICAS SOBRE EL TALUD	\$ 363,821,667	
	OBRAS URBANÍSTICAS Y PAISAJÍSTICAS	\$ 317,393,317	
	TRANSPORTES	\$ 201,365,793	
COSTOS INDIRECTOS	ADMINISTRACIÓN	\$ 3,267,486,238	\$ 3,920,983,485
	IMPREVISTOS	\$ 130,699,450	
	UTILIDAD	\$ 522,797,798	
COSTOS AMBIENTALES Y DE FORMALIZACIÓN INSTITUCIONAL	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	\$ 211,651,081	\$ 313,976,612
	PLAN DE MANEJO DE TRÁNSITO	\$ 27,506,536	
	ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS	\$ 65,349,725	
	MANTENIMIENTO JARDINERÍA	\$ 9,469,270	
<b>COSTO TOTAL DE LA OBRA</b>			\$ 17,304,905,047
<b>INTERVENTORÍA</b>			\$ 1,211,343,353
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>			\$ 18,516,248,400

Fuente: Consultor

Incluyendo los costos indirectos del proyecto, se estima que este tendrá un costo total igual a \$18.516.248.400, de acuerdo a la programación, se estima que una duración total de 35 meses de los cuales 21 meses corresponden a la ejecución física del proyecto, los meses restantes corresponden a las actividades precontractuales, pre construcción y liquidación del respectivo contrato.

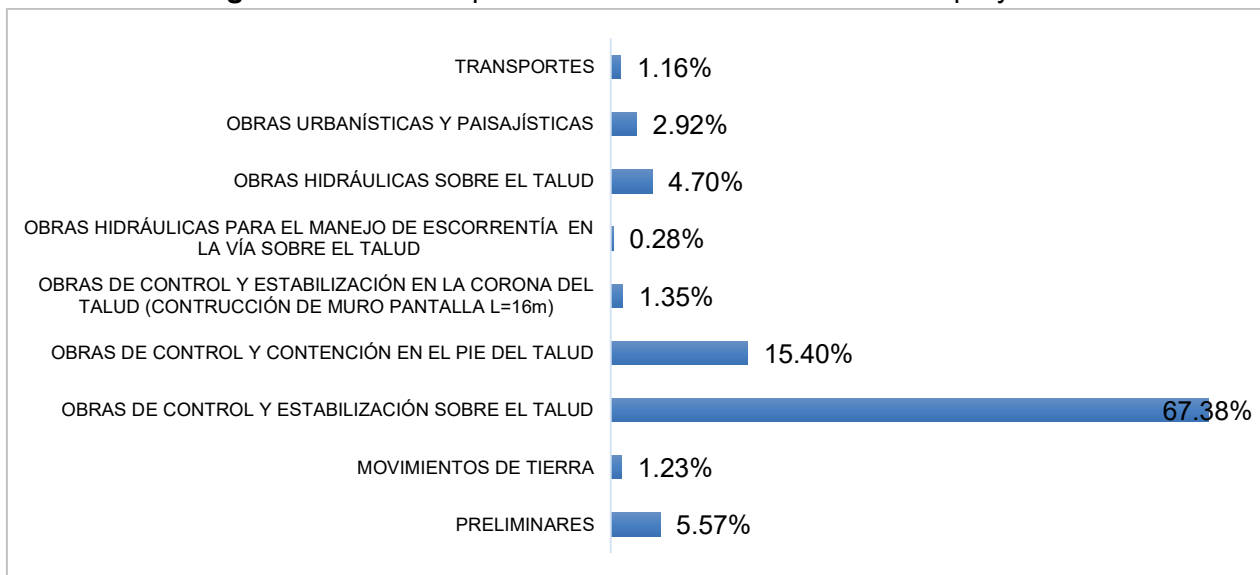
A partir de los valores calculados, se realiza el análisis porcentual del presupuesto

**Figura 231** Análisis porcentual global del presupuesto



Fuente: Consultor

**Figura 232** Análisis porcentual de los costos directos del proyecto



Fuente: Consultor

El volumen de presupuesto esta compuesto por los siguientes anexos:

Anexo 9: Presupuesto.

Anexo 10: Estudio de mercado.

Anexo 11: Proceso Constructivo

Anexo 12: Especificaciones técnicas de construcción.

Anexo 13: PMT

Teniendo en cuenta los altos costos del proyectos, se divide define que a nivel constructivo es posible dividir el proyecto en dos zonas; la zona 1 corresponde al costado con mayor extensión del sitio crítico, en el cual se han presentado las mayores afectaciones, en este sector se proyecta la construcción del muros de corona para el onfinamiento d ela vía, el recubrimiento y reforzamiento del talud expuesto así como la construcción del muro en el pie del talud, las obras proyectadas en esta zona tienen un valor equivalente a \$12.015.172.935, siendo estas obras las que deben tener mayor prioridad en su construcción; la zona 2 corresponde al talud actualmente cubierto mediante biomanto, si bie, actualmente se necuentra estable este talud, se han identificado avances de la erosión de los mismo, situación que puede generar procesos similares a los identificados en el talud descubierto, para esta zona las obras proyectadas cuentan con un valor proyectado correspondiente a \$5.869.075.465, finalmente se proyectan las obras paisajísticas y mantenimiento de las mismas, las cuales, cuentan con un valor total \$632.000.000

#### **7.1.10 Plan de gestión social**

Dentro del plan de gestión social se precisan las medidas sociales a emplear durante la construcción del proyecto de obras de mitigación, entre las cuales se resaltan las actividades correspondientes al desarrollo del diagnóstico de la zona de influencia del proyecto, el levantamiento o censo de inmuebles mediante actas de vecindad, las auditorias y conformación de veedurías ciudadanas durante el proceso de construcción, asi como el desarrollo peridico de reuniones de socialización y la creación de un punto de atención a la comunidad.

Dentro del presente documento también se encuentra el manual de mantenimiento de obras menores, dando principal atención al amntenimiento de las obras hudráulicas proyectadas.

El detalle del plan de gestión social se encuentra en el Anexo 14. Plan de gestión social

El detalle del manual de mantenimiento se presenta en el Anexo 15.Manual de Mantenimiento

#### **7.1.11 Plan de gestión de Riesgo para la ejecución de obra**

Teniendo en cuenta la localización del sector en estudio y el estado actual del talud, dentro del proyecto se hizo necesario analizar la identificación de los impactos en el proyecto junto con el plan de contingencia de los mismos, siendo el análisis principal la evaluación de los riesgos del proyecto hacia el entorno y del entorno hacia el proyecto analizando principalmente los riesgos y la medidas de reducción que se mencionan a continuación:

**Tabla 74** Identificación de los riesgos

RIESGOS DEL PROYECTO HACIA EL ENTORNO	RIESGOS DEL ENTORNO HACIA EL PROYECTO
Condiciones Patógenas	Picaduras
Ruido	Condiciones Patógenas
Vibraciones	Bacterias
Material Particulado	Temperaturas extremas
Gases y vapores	Procesos de remoción en masa
Jerarquía	Sismos
Explotación Laboral	Tormentas eléctricas
Desorden en la asignación de actividades	Secuestros
Movimientos repetitivos	Voladuras de infraestructura
Posturas	Incendios
Esfuerzos	
Equipos en funcionamiento	
Mal tendido de líneas de conducción e incorrecta manipulación de equipos	
Sustancias inflamables	
Incendios	

Fuente: Consultor

El plan de Contingencia detallado se presenta en el Anexo 16:Plan de Gestión de Riesgo para la ejecución de la Obra

### 7.1.1 Trámites Ante las Entidades Distritales

Para la construcción de las obras proyectadas, se requiere como permisos el desarrollo de la compensación ambiental mediante la siembra de 338 unidades, para esta proyección fue necesario contar con el Visto Bueno del Jardín Botánico de Bogotá JBB- Secretaría Distrital de Ambiente, esta aprobación fue emitida mediante el Acta de aprobación de diseños WR 1263-2022, adicionalmente, se realizó la presentación del proyecto de redes correspondiente a las obras hidráulicas a construir junto con la aprobación de conexiones al sistema de alcantarillado existente, el visto bueno de este diseño es emitido por medio del oficio 3433002-S-2022-260413 del 29 de septiembre del 2022, los soportes de los trámites se presentan en el Anexo 17: Soportes de los Trámites ante las entidades Distritales.



## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los antecedentes de estudios, diseños y obras de mitigación datan desde el año 1990 hasta el año 2007, con la incidencia de fenómenos de remoción en masa en años posteriores a los últimos estudios detallados en la zona.
- Los movimientos en masa reportados en el área indican la predominancia de procesos de tipo caída, en los que se incluye caída de roca en niveles inferiores, así como caída de suelos y detritos hacia la zona superior de los taludes, con volúmenes de depositación variables de 7m<sup>3</sup>, 25m<sup>3</sup> y hasta 100 m<sup>3</sup>. En general, los estudios detallados concluyen que las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona, referidos principalmente al grado de meteorización y erosión de los taludes, las pendientes abruptas, junto con la tipología de los materiales (areniscas y arcillolitas) exponen a las instalaciones adyacentes a situaciones de amenaza ante procesos de generación de movimientos en masa si no se cuenta con obras de mitigación favorables con un tiempo adecuado de vida útil.
- Las labores de intervención y construcción de obras de mitigación sobre el talud ubicado en el sector Jerusalén-Canteras incluyeron, de acuerdo a la trazabilidad de los antecedentes, entre otras, una barrera de gaviones de 160 metros de longitud, instalación de concreto lanzado y pernos, instalación de malla mortero, implementación de cunetas y lloraderos, así como recuperación de la arborización y construcción de un parapeto para retener bloques caídos. De acuerdo a las condiciones actuales de la zona, un gran porcentaje de estas obras fallaron, o debieron ser reforzadas e intervenidas con el paso de los años, encontrando un panorama reciente de obras de estabilización parcialmente estables en algunos sectores, así como zonas sin ningún tipo de intervención actual, presentando dichos relictos de obras fallidas por la reactivación de movimientos en masa.
- De acuerdo al análisis multitemporal del área se evalúa el avance de la urbanización en el sector Jerusalén-Canteras y las condiciones de inestabilidad que han presentado los taludes en estudio, a través de imágenes y fotografías aéreas de la ciudad, encontrando una avance drástico de procesos erosivos que afectan las laderas hacia el sector noeste del área desde el año 2004 hasta la actualidad, a diferencia de la mejora de las condiciones del talud suoreste por la implementación de obras de mitigación en años anteriores.
- A partir de la información evaluada en la prefactibilidad catastral del proyecto, se identifican 73 predios incluidos dentro del polígono de estudio que cuenta con un área aproximada de 2.5 ha, de los cuales solo 13 predios se encuentran registrados y cuentan con matrícula, siendo necesario identificar la titularidad de los restantes para los estudios y obras de mitigación a proyectar.
- El área de estudio se incluye dentro de la categoría de suelos urbanos, de acuerdo a la consulta en el sistema geográfico del Instituto de desarrollo Urbano IDU, identificando y delimitando elementos urbanísticos tales como calzadas intermedias y andenes, junto con

circuitos de movilidad correspondientes a las escaleras existentes para descender del talud noreste.

- A partir de la recopilación y análisis de la información existente en la base de datos del Geoportal de la empresa acueducto, agua y alcantarillado de Bogotá, el área de estudio cuenta con alcantarillado sanitario y pluvial, siendo el área donde se ubicaba la canalización de la quebrada Canteras como una posible tubería de red combinada
- A partir de los antecedentes de exploración geotécnica ejecutada en el área, se plantea la realización de cinco (5) perforaciones mecánicas, diez (10) apiques, tres (3) trincheras y columnas, tres (3) tomografías eléctricas, tres (3) líneas de refracción sísmica y MASW, con el fin de complementar y verificar los resultados y el diagnóstico geotécnico difundido en este sitio crítico y emitir nuevos conceptos técnicos que apoyen la resolución de la problemática de movimientos en masa.
- La exploración geológica realizada en el sector Jerusalén Canteras permitió la identificación de dos tipos de roca, clasificada dentro de la Formación sedimentaria Guaduas, en su conjunto medio. La primera, y más dominante corresponde a una roca arenisca de tamaño de grano fino a medio, cuarzosa, que varía en su nivel de compacidad encontrando a lo largo de los afloramientos cartografiados, niveles rocosos muy compactos y diaclasados, mientras en otros sectores rocas muy meteorizada y saprolitos. Por otra parte, se identificaron lentes centimétricos de arcillolita muy meteorizada intercalando a la arenisca, principalmente hacia el medio y el tope de los taludes, y formando depósitos coluviales en la base de los mismos.
- Con referencia a la geología estructural del área, los estudios apoyan la existencia de una estructura local, posiblemente orientada en dirección NE-SW, la cual contribuye a la afectación del macizo rocoso. Se encontraron evidencias de falla en bloques caídos (estrías de falla, alteración de feldespatos). Así mismo, la toma de datos estructurales en campo permitió determinar cuatro direcciones de diaclasamiento preferenciales. Estas familias de diaclasas fueron proyectadas estereográficamente junto a los datos estructurales de estratificación y orientación del talud en análisis, determinando que el macizo presenta dos mecanismos de falla: Rotura planar y en cuña.
- En términos de geomorfología, el área de estudio se encuentra dominada por un ambiente antrópico, principalmente geoformas de explanaciones para la construcción de viviendas, y laderas con morfologías variables producto de la antigua actividad minera en el sector, con pendientes hasta los 70°, afectadas por movimientos en masa y procesos erosivos activos.
- El análisis de morfodinámica realizado en el área identificó el dominio de movimientos en masa tipo caída, específicamente caída de rocas en las zonas donde el macizo presenta bloques compactos y diaclasados y caída de tierras y detritos en las zonas donde existe intercalaciones de arcillolitas y areniscas con alto grado de meteorización. Los procesos

fueron clasificados como activos o reactivados por la ineficiencia de las obras que los controlaban.

- Con respecto a la cobertura y uso actual del suelo en la zona, una gran extensión fue cartografiada con usos de carácter antrópico (uso residencial, vías vehiculares, etc) y con coberturas de tipo herbazal. Son pocas las zonas que presentan una cobertura de vegetación densa, se cartografiaron unos pequeños sectores con arbustales densos o abiertos. Así mismo, los taludes expuestos y los sectores afectados por movimientos en masa presentan escasa o nula vegetación, clasificándose como tierras desnudas y afloramientos rocosos.
- Hidrográficamente el sector de estudio se encuentra ubicado dentro de la microcuenca del Río Tunjuelito, en la subzona hidrográfica del Río Bogotá. A partir del análisis de las series históricas de la Estación climatológica San Jorge Granja, cercana al área de estudio, la precipitación total promedio anual reporta valores superiores a 1003,1 mm/año, resaltando la magnitud de la precipitación registrada en el año 2011, que supera el promedio anual con un valor de 1173,8 mm.
- La evaluación del estado actual de las obras hidráulicas cartografiadas en la zona indica procesos de colmatación debido a la alta torrencialidad y al ineficiente mantenimiento de las mismas; por lo que se recomienda la limpieza y creación de un plan de mantenimiento periódico para las estructuras.
- Según los datos recopilados de zonificación geotécnica y de respuesta sísmica del FOPAE (2010) y los lineamientos del Decreto 523 de 2010 el cuál adopta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, la zona de estudio pertenece a la clasificación cerros-B, y es catalogado como una zona de amenaza sísmica intermedia.
- A escala regional, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) ubica la zona sobre la Formación Guaduas, compuesta en su nivel medio por areniscas de cuarzo, finas a gruesas en capas muy gruesas plano paralelas a onduladas, con intercalaciones de arcillolitas grises y amarillentas.
- El ambiente geomorfológico se encuentra dominado por geoformas de carácter antrópico, con la modificación total del paisaje al tratarse, anteriormente, de una cantera de explotación de materiales de construcción, y posteriormente con un alto crecimiento de urbanización hacia la zona superior e inferior del talud en riesgo, junto con la implementación de obras hidráulicas y obras de mitigación que transformaron el entorno.
- En la exploración de campo realizada para evaluar las condiciones del área de estudio ubicado en el Barrio Jerusalén, sector Canteras, se observa que los taludes expuestos, linderos al CED plan canteras, evidencian procesos de erosión intensos y movimientos en masa activos.

- la UGI predominante en el área de estudio corresponde a suelos de relleno antrópico (Stra), transportados y adecuados para la conformación de estas obras y para la adecuación de vías y viviendas. Por otro lado, los eventos de remoción en masa cartografiados como caídas de tierra y detritos se encuentran asociados al material disgregado y erosionado incluido dentro de la UGI de roca blanda fracturada altamente meteorizada (Rbfam) en afloramiento, los cuales forman grandes acumulaciones de material hacia las bases de las laderas formando suelos de depósito coluvial (Stc); así mismo las caídas de roca competente ocurren en las zonas donde aflora roca dura fracturada moderadamente meteorizada (Rdfmm) sin una formación de depósito en las laderas por el retiro continuo de estos bloques caídos.
- La exploración geotécnica directa (apiques, sondeos a percusión) fue realizada sobre diferentes materiales cartografiados como suelos de relleno antrópico, suelos de antiguos relaves de la cantera, así como suelos mezclados con escombros, desechos, obras de infraestructura, entre otros. Los ensayos de clasificación en las muestras tomadas en cada uno de los apiques de acuerdo al sistema S.U.C.S indican que los materiales analizados son de carácter areno limoso (SM) para los apiques A4 (Stra), A6 (Stbedc) y A9 (Stbedc), limoso de baja plasticidad (ML) para el apique A7 (suelo residual, por fuera del área de trabajo), arcilloso-limoso de baja plasticidad (CL-ML) para los apiques A2 (Stbdc), A5 (Strcc) y A10 (Stra), y arcilloso de baja plasticidad (CL) para los apiques A1 (Strcc), A3 (Stc) y A8 (Strcc).
- De acuerdo con los análisis para suelos granulares, para el sondeo Perf-1, los suelos son sueltos, con una densidad relativa entre 15 a 35% hasta una profundidad de 0.45 metros, luego se presenta un nivel medio, con una densidad relativa de 35 a 65% hasta una profundidad de 0.90 metros, continúa un suelo denso, con una densidad relativa de 65 a 85% hasta los 1.35 metros; finalmente se presenta un nivel muy denso, con una densidad relativa de >85% hasta la profundidad de rechazo de 5 metros. Para el caso de la Perf-2, los suelos son densos, con una densidad relativa de 65 a 85% hasta una profundidad de 0.45 m, luego continúa un perfil de suelo muy denso, con una densidad relativa de >85% hasta los 5 metros en los cuales no se obtuvo rechazo. La Perf-3, clasificada como un suelo cohesivo y arcilloso, presenta un suelo muy firme hasta los 0.45 m, transiciona a un suelo duro hasta 1.35 m, un nuevo nivel de suelo muy firme se presenta hasta los 1.80 m y finaliza con un suelo duro hasta los 5 m, sin rechazo. Los tres sondeos fueron realizados sobre la UGI de relleno antrópico. La Perf-4 presenta un suelo de tipo granular, inicialmente consta de un nivel medio, con densidad relativa de 35 a 65% hasta la profundidad de 1.35 m, luego continúa un perfil de suelo muy denso, con una densidad relativa de >85% hasta los 5 metros en los cuales no se obtuvo rechazo. Finalmente, la Perf-5, presenta un suelo de tipo granular, inicialmente consta de un nivel suelto, con densidad relativa de 15 a 35% hasta una profundidad de 0.45 m; continúa un nivel medio, con densidad relativa de 35 a 65% hasta 1.35 m, y termina con un suelo muy denso, con una densidad relativa de >85% hasta los 5 metros donde se obtuvo rechazo.

- La interpretación del perfil sísmico para la línea de refracción LR-1 demuestra la existencia de 2 materiales. La capa más superficial (Rbfam) con un espesor promedio de 13 metros, y la segunda capa (Rifam) con un espesor promedio de 17 metros. La tomografía permite diferenciar estos dos materiales de acuerdo a sus  $V_p$  y teniendo como precedente el contexto geotécnico de la zona, siendo la roca blanda (Rbfam) una UGI que se comporta como un suelo y que presenta una alta meteorización y una baja compacidad. La interpretación del perfil sísmico para la línea de refracción LR-2 demuestra la existencia de 2 materiales. La capa más superficial (Rifam) con un espesor promedio de 10 metros, y la segunda capa (Rdfmm) con un espesor promedio de 23 metros. La tomografía permite diferenciar estos dos materiales de acuerdo a sus  $V_p$  y teniendo como precedente el contexto geotécnico de la zona, siendo la roca dura (Rdfmm) una UGI con rango mayor de competencia y de densidad que la capa anterior. La interpretación del perfil sísmico para la línea de refracción LR-3 demuestra la existencia de 2 materiales. La capa más superficial (Rifam) con un espesor promedio de 12 metros, y la segunda capa (Rdfmm) con un espesor promedio de 14 metros.
- A partir de los ensayos MASW ejecutados en la zona de estudio, se identificó el perfil del suelo, partiendo de la velocidad de onda cortante promedio a 30 metros y la tabla A-2- 4-1 de la NSR-10 se establece que en los tres ensayos (MASW-1, MASW-2 y MASW-3) el suelo es de tipo C, correspondiendo a un perfil de suelo rígido  $V_s$ -30 variable entre 360 m/s y 760 m/s.
- Los resultados de los ensayos de tomografía eléctrica (TOM-1, TOM-2 y TOM-3) identifican dos zonas, respectivamente, diferenciadas por las magnitudes de resistividad generadas. En los niveles superficiales se interpreta anomalías extendiéndose lateralmente y, ocasionalmente, en profundidad, con resistividades muy bajas en el orden de  $0.021 \Omega \cdot m$ , lo que supone la existencia de materiales con altos grados de humedad, mejorando las condiciones de resistividad gradualmente en profundidad.
- El detonante sísmico para el presente proyecto se empleó mediante la microzonificación sísmica de Bogotá D.C, realizada en 2010, y aprobada en el mismo año por el decreto 523 del 16 de diciembre, a partir del análisis realizado el Kst de análisis presenta una magnitud igual a 0.1944.
- Al realizar la evaluación de la estabilidad actual en el sector en análisis, se identifica que los factores de seguridad obtenidos identifican procesos de inestabilidad actuales y latentes y que los tipos de fallas asociados a estos procesos corresponden a falla de tipo Planar, en cuña y en sectores puntualizados a procesos de caídos de roca.
- Como obras de mitigación se propone la construcción de obras hidráulicas tales como: construcción de filtro francés, Construcción de sumideros en la vía, construcción y reparación de cunetas en la corona y pie del talud, indiferente al tipo de alternativa a emplear, se debe dar la construcción de las obras hidráulicas planteadas dentro del presente documento.

- Debido a la falla existente en el sector de la vía, con una longitud aproximada de 19.0, indiferente a la alternativa a construir, la presente consultoría recomienda la reconstrucción del talud de la vía, mediante la construcción de un muro pantalla cimentado mediante micropilotes con longitud de 15.0 m, la pantalla tendrá una altura total de 4.5 m
- Teniendo en cuenta el uso del suelo del área en estudio y los antecedentes en referencia al riesgo del sector, pese a que la remoción en masa será mitigada con las obras proyectadas, se hace necesario demoler las instituciones educativas existentes y en este espacio realizar la construcción de espacios para el aprovechamiento de la comunidad.
- A nivel de obras de mitigación para el talud expuesto, se proponen 4 alternativas de intervención, la primera alternativa corresponde a la protección del talud expuesto mediante biomanto con malla de triple torsión y pernos – Conservación y mantenimiento de elementos existentes en el pie del talud; la segunda alternativa corresponde a: Construcción de Muro Patero y protección de caídos, en pilotes con voladizo en concreto y construcción de anclajes activos con dados, recubrimiento del talud en concreto lanzado; la alternativa No.3 corresponde a: Construcción de Muro Patero y protección de caídos, construcción de anclajes pasivos tipo bulones con recubrimiento en concreto lanzado y la alternativa No. 4 corresponde a: Construcción de muro mecánicamente estabilizado.
- De acuerdo al análisis de alternativas, y basado en los criterios técnicos, financieros, prediales y sociales, así como la relación costo beneficio y teniendo en cuenta la magnitud de los movimientos en masa identificados, se establece como alternativa definitiva la alternativa No. 2 correspondiente al reforzamiento del talud mediante anclajes activos y recubrimiento en concreto, con el fin de dar alcance al requerimiento **SbN** se propone realizar la siembra de especies nativas en el área aferente al talud, así como proyecciones urbanísticas que complementen las obras de mitigación y estabilización.
- Dentro del estudio se identificó que las obras proyectadas afectará en total 122 latizales y 30 fustales, a partir de la identificación de las especies levantadas y afectadas, se definen los tratamientos silviculturales para cada una de las mismas siguiendo las recomendaciones expuestas en el *Manual de Silvicultura Urbana para Bogotá, debiniendo la necesidad detala*, debido a esto se contempla una compensación ambiental por medio de 338 unidades de latizales.
- Incluyendo los costos indirectos del proyecto, se estima que este tendrá un costo total igual a \$18.516.248.400, de acuerdo a la programación, se estima que una duración total de 35 meses de los cuales 21 meses corresponden a la ejecución física del proyecto, los meses

restantes corresponden a las actividades precontractuales, pre construcción y liquidación del respectivo contrato.

- Se estima como población beneficiada con la construcción del proyecto, el sector correspondiente a Bellavista, localizado en la UPL ISMAEL PERDOMO UPZ JERUSALEN.
- Las hipótesis, resultados y análisis realizados en el presente estudio están sujetas a las condiciones durante la ejecución del mismo, de contar con cambios significativos en el terreno debe realizarse la actualización del mismo, analizando las nuevas condiciones que pueden afectar la estabilidad del sitio en estudio.

## 9. BIBLIOGRAFÍAS

- Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Clasifications. John Wiley and sons, Inc.
- Carvajal, J. H. (2012). Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. Bogotá: INGEOMINAS.
- Consorcio Himec – Consulcons 2019. (2019). Elaboración de estudios y diseños de obras de emergencia en sitios de intervención prioritaria en la ciudad de Bogotá D.C. Estudio Jerualen – Santa Rosita Las Vegas. Contrato de Consultoría No 180 de 2019. Bogotá.
- DPAE. (2002). Diagnóstico técnico no. 1666 del 16 de septiembre de 2002.
- DPAE. (2004). Diagnóstico técnico 1998 del 22 de abril de 2004.
- DPAE. (2004). Diagnóstico técnico 2180 del 27 de octubre de 2004.
- DPAE. (2006). Diagnóstico técnico 3043 del 20 de noviembre de 2006.
- DPAE. (2007). Diagnóstico técnico 3146 del 23 de marzo de 2007.
- DPAE. (2008). Diagnóstico técnico 3866 del 30 de junio de 2008.
- DPAE. (2009). Diagnóstico técnico 4138 del 12 de mayo de 2009.
- Espinosa, A. (1994). Sismicidad histórica de Santa Fe de Bogotá y su área, 1500-1994. INGEOMINAS. Cali. 39 p. (Inédito)
- Espinosa, A. (1996). Sismicidad histórica del área Pereira-Dos Quebradas-Santa Rosa de Cabal. Informe final sismicidad histórica, Proyecto de Mitigación de Riesgo Sísmico de Pereira- Dos Quebradas y Santa Rosa de Cabal. CARDER, Pereira. 40 p. Inédito.
- Fierro-Morales, J y Ángel-Amaya, J (s.f). Tectónica activa y sismicidad en la Sabana de Bogotá (Colombia-Sur América). Bogotá D.C.
- Fondo de prevención y atención de emergencia-FOPAE (2010). Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño Sismo Resistente de edificaciones. Bogotá, D.C.
- IDEAM (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia. Escala 1:100.000.
- IDEAM (2012). Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. Bogotá, D.C.
- Instituto Distrital de Gestión de riesgo y cambio climático IDIGER (2017). Mapa del levantamiento Geológico Urbano a escala 1:50.000 en: IDECA Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital de la Unidad Administrativa Especial de Catastro Digital



Ingeniería y Georriesgos. (2007). Diseños detallados, presupuestos y especificaciones técnicas, de las obras de mantenimiento para proteger la parte superior del talud de las obras de mitigación de riego construidas por el FOPAE, en el CED Jerusalén plan canteras, de la localidad de Ciudad Bolívar. Bogotá D.C.

INGEOMINAS (1988). Zonificación geotécnica de Bogotá a escala 1:25.000. Mapa y documento de soporte. Convenio 200-86

INGEOMINAS. (1995). ESTUDIO GEOTÉCNICO BARRIO JERUSALEN SECTOR CANTERAS FASE II. Santafé de Bogotá D.C.

INGEOMINAS. (1997). Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá. Bogotá D.C

INGEOMINAS (2000). Informe técnico sobre la visita de emergencia al barrio Villa Esperanza del Municipio de Soacha-Cundinamarca.

INGETEC S.A. (1998). Estudios y diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de diferentes sitios de Ciudad Bolívar, Santa Fé de Bogotá - Informe Final sitio 1.3: Barrio Jerusalén- Sector Canteras y Nueva Argentina. Santafé de Bogotá D.C.

Laín Huerta (s.f). Capítulo 9: Rotura plana y rotura en cuña en Ramírez y Alejano (2004). Mecánica de rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Capítulo de libro. Madrid, España.

Moya y García LTDA. (2004). Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras de estabilización, protección y control recomendadas para el escarpe adyacente al ced-plan canteras, de la localidad de Ciudad Bolívar en la. Bogotá D.C.

Romana, M. (1985): New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. En: International Symposium on the role of rock mechanics, ISRM. Proceedings: 49-53.

Servicio Geológico Colombiano (2001). Geología de la plancha 246 Fusagasugá a escala 1:100.000. Memoria explicativa.

Servicio Geológico Colombiano – SGC. (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá.

Servicio Geológico Colombiano SGC (2017). Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Publicaciones especiales geológicas.

Servicio Geológico Colombiano SGC (2018). Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa plancha 246 Fusagasugá.

Vargas M, R., & Díaz-Granados O, M. (1998). Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. XIII Seminario de Hidráulica e Hidrología, Sociedad Colombiana de Ingenieros. Cali, Agosto 1998.